

RODRIGO CABRAL ADRIANO

**EFICIÊNCIA DO FERTIACYL® NA PROTEÇÃO DE PLANTAS DE EUCALIPTO
ATINGIDAS POR DERIVA DE GLYPHOSATE**

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*.

Orientador: Lino Roberto Ferreira

Coorientador: Kassio Ferreira Mendes

VIÇOSA – MINAS GERAIS

2019

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

T

A243e
2019 Adriano, Rodrigo Cabral, 1984-
Eficiência do Fertiactyl® na proteção de plantas de eucalipto atingidas por deriva de glyphosate / Rodrigo Cabral Adriano. - Viçosa, MG, 2019.
75 f. : il. (algumas color.) ; 29 cm.

Orientador: Lino Roberto Ferreira.
Tese (doutorado) - Universidade Federal de Viçosa.
Inclui bibliografia.

1. 5-enolpiruvilshiquimato-3-fosfato. 2. Protetores de herbicidas.
3. Seletividade. 4. Fitotoxicidade. I. Universidade Federal de Viçosa.
Departamento de Fitotecnia. Programa de Pós-Graduação em
Fitotecnia. II. Título.

CDD 22. ed. 632.954

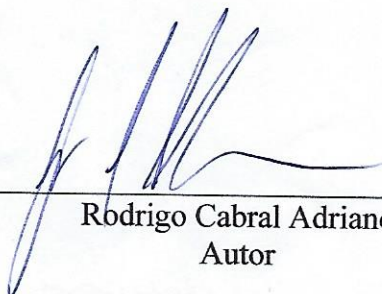
RODRIGO CABRAL ADRIANO

**EFICIÊNCIA DO FERTIACTYL® NA PROTEÇÃO DE PLANTAS DE EUCALIPTO
ATINGIDAS POR DERIVA DE GLYPHOSATE**


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: 01 de novembro de 2019.

Assentimento:



Rodrigo Cabral Adriano
Autor



Lino Roberto Ferreira
Orientador

Ao meu avô, Oades Alves Cabral (in memoriam), pelos valores ensinados que carrego comigo em todos os momentos. Obrigado por me olhar de algum lugar.

OFEREÇO

AGRADECIMENTOS

A Deus, por iluminar o meu caminho durante a realização desta pesquisa.

Aos meus pais, Batista e Helena, e ao meu irmão, Robson, de todo coração, pelo apoio concedido e pelo amor incondicional.

A toda minha família, especialmente, aos meus avós José e Lúcia, vó Maria, tia Claudia e prima Edir, por todo incentivo e carinho.

Ao meu orientador, Lino Roberto Ferreira, pela confiança, pelos ensinamentos e amizade.

Ao professor Francisco Cláudio Lopes de Freitas, por compartilhar sua sabedoria, seu tempo e sua experiência.

Aos funcionários da UFV, em especial, ao técnico Luís, pelos ensinamentos e pelas ajudas incondicionais para a conclusão deste trabalho.

Em especial à Luciane Agazzi, Jefferson Luiz e Ricardo Alcántara.

Aos amigos do MIPD que sempre me ajudaram nos experimentos: Emerson, Rodrigo Farias, Álvaro, Vitor, Hugo, Maria Carolina, Ranielli, Wendel, Ivan, Úrsula, Antônio, Helen, Yanna, Lais, Larissa, Dani, Douglas, Christiano, Alba Rocio, Ana Cecilia, Lucas, Adalin, Elisa, Matheus, Roxana, Mateus, Bruna, Gabriel, Saulo, Mariana, Sara e Cristiane. Pelo companheirismo, apoio e amizade.

Aos amigos e companheiros Josi, Bianca, Mateus, Hermes, Ulisses, Reinaldo, Michel, Rodolfo, Wilkerson e Fabiana, Tim, Marquinhos, Vagner e Tatiane, Rone Patrício.

Ao professor Kassio Ferreira Mendes e ao Laboratório de Ecotoxicologia, do Centro de Energia Nuclear na Agricultura (CENA) da Universidade de São Paulo (USP), pela ótima estrutura, que possibilitou o desenvolvimento de parte deste trabalho.

À Suzano Papel e Celulose e à ArcelorMittal S.A., pelo fornecimento de clones para a condução dessa pesquisa.

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

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) e a Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais (FAPEMIG).

Agradeço imensamente a todos que, de alguma forma, contribuíram e torceram por mim...

MUITO OBRIGADO!!!

RESUMO GERAL

ADRIANO, Rodrigo Cabral, D.Sc., Universidade Federal de Viçosa, novembro de 2019. **Eficiência do Fertiactyl® na proteção de plantas de eucalipto atingidas por deriva de glyphosate.** Orientador: Lino Roberto Ferreira. Coorientador: Kassio Ferreira Mendes

O glyphosate é o herbicida mais utilizado no manejo de plantas daninhas em florestas de eucalipto, por ter um custo mais baixo e utilizar um menor número de mão-de-obra para sua aplicação. Porém, é comum ocorrer deriva e, conseqüentemente, o contato com as outras plantas de eucalipto, podendo proporcionar sintomas de fitotoxicidade afetando a produtividade e a qualidade da madeira. Portanto, torna-se necessário encontrar formas de minimizar os efeitos deletérios do glyphosate nas plantas de eucalipto, seja por melhorias na tecnologia de aplicação ou pelo uso de protetores. O Fertiactyl tem sido relatado com potencial biorreparador na redução da intoxicação causada pela deriva do glyphosate. Considerando que os mecanismos pelos quais a proteção do Fertiactyl contra ação do glyphosate no eucalipto não são conhecidos, buscou-se avaliar, nessa pesquisa, o efeito da associação do boro ao Fertiactyl na redução de mortes do ponteiro provocadas pelo glyphosate, e o efeito do Fertiactyl na absorção e translocação de ^{14}C -glyphosate em plantas de eucalipto na redução da intoxicação de clones de eucalipto. Foram conduzidos dois experimentos em casa de vegetação da Universidade Federal de Viçosa, Viçosa-MG, para avaliar a proteção do Fertiactyl contra a ação do glyphosate em clones de eucalipto, e a resposta da associação do boro ao Fertiactyl sobre a morte de gemas apicais. Outro experimento foi realizado no Laboratório de Ecotoxicologia do Centro de Energia Nuclear na Agricultura (CENA/USP), Piracicaba, SP, para avaliar o efeito do Fertiactyl na absorção e translocação de ^{14}C -glyphosate em plantas jovens de eucalipto. No primeiro experimento, observou-se que há diferenças na sensibilidade de clones de eucalipto ao glyphosate, e que o Fertiactyl protegeu os três clones contra intoxicação por glyphosate. No segundo, notou-se que quando o glyphosate foi aplicado na dose de 720 g ha^{-1} , o Fertiactyl sem o boro reduziu a morte de gemas apicais; todavia, não houve efeito para a dose de 1440 g ha^{-1} do herbicida. Quando o boro foi adicionado à calda juntamente com Fertiactyl, verificou-se que não houve morte das gemas apicais do eucalipto, nas duas doses de glyphosate estudadas. E, no terceiro, o Fertiactyl diminuiu a absorção e a translocação do ^{14}C -glyphosate. Nesta pesquisa mostrou-se que os efeitos danosos do glyphosate ocorrem em diferentes níveis de acordo com a suscetibilidade dos clones de eucalipto ao herbicida. O Fertiactyl apresenta um potencial de proteção em clones de distintas sensibilidades e a combinação Fertiactyl e boro amplia consideravelmente a proteção contra os danos promovidos pelo glyphosate, indicando que o

boro possui potencial para compor a formulação de Fertiactyl para uso no manejo de plantas daninhas na cultura do eucalipto. O efeito protetor do Fertiactyl ocorre quando ele é aplicado com glyphosate em mistura em tanque, pois diminui a absorção e a translocação do glyphosate pelas plantas de eucalipto.

Palavras-chave: EPSPS. Fitotoxicidade. *Safener*. Seletividade.

ABSTRACT

ADRIANO, Rodrigo Cabral, D.Sc., Universidade Federal de Viçosa, November, 2019.
Efficiency of Fertiactyl® in protecting eucalyptus plants affected by glyphosate drift
Advisor: Lino Roberto Ferreira. Co-advisor: Kassio Ferreira Mendes.

Glyphosate is the most widely used herbicide for weed management in eucalyptus forests, as its low cost and occupy less labor for its application. However, it is common to experience glyphosate drift, i.e., the herbicide comes into contact with eucalyptus plants, causing symptoms of phytotoxicity affecting wood productivity and quality. To minimize the deleterious these glyphosate effects, it becomes necessary to find ways either through improvements in application technology or through the use of protectors. Fertiactyl has been reported to have a bioregenerative potential in reducing intoxication caused by glyphosate drift. Considering that the mechanisms by which the protection of Fertiactyl against the action of glyphosate in eucalyptus are not known, we evaluated the effect of the association of boron with Fertiactyl in reducing pointer deaths caused by glyphosate, and the effect of Fertiactyl in the absorption and translocation of ^{14}C -glyphosate in eucalyptus plants to reduce the intoxication of eucalyptus clones. Two experiments were conducted in a greenhouse at the Federal University of Viçosa, Viçosa-MG, to evaluate the protection of Fertiactyl against glyphosate drift on eucalyptus clones, and the response of the association of boron to Fertiactyl on the death of apical buds. Another experiment was carried out at the Ecotoxicology Laboratory of the Center for Nuclear Energy in Agriculture (CENA/USP), Piracicaba, SP, to evaluate the effect of Fertiactyl on the absorption and translocation of ^{14}C -glyphosate in young eucalyptus plants. In the first experiment, differences in the sensitivity of eucalyptus clones to glyphosate were observed, and Fertiactyl protected the three clones against herbicide intoxication by glyphosate drift. In the second experiment, there was no death of the apical buds of the eucalyptus plants when boron was added to the syrups of glyphosate (720 or 1440 g ha^{-1}) + Fertiactyl. However, when plants were treated without boron, the reduction in apical bud death was observed only at the dose of 720 g ha^{-1} glyphosate + Fertiactyl. And in the third, Fertiactyl decreased the absorption and translocation of ^{14}C -glyphosate. In this research it was demonstrated that harmful effects of glyphosate occur at different levels according to the susceptibility of the eucalyptus clones to the herbicide. Fertiactyl has the potential to protect eucalyptus clones, with different sensitivities, from the glyphosate drift. and the addition boron increased the protective action of Fertiactyl against glyphosate drift, suggesting that boron may be a potential

component of Fertiactyl formulation for use in the weed management in eucalyptus plantations. The protective effect of Fertiactyl occurs when it is applied with glyphosate in tank mix, as it reduces the absorption and translocation of glyphosate by eucalyptus plants.

Keywords: EPSPS. Phytotoxicity. Safener. Selectivity.

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO GERAL.....	10
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	15
CAPITULO 1 - Eficiência do Fertiactyl® na proteção de clones de eucalipto contra intoxicação por glyphosate.....	19
1. INTRODUÇÃO	21
2. MATERIAL E MÉTODOS.....	22
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	23
4. CONCLUSÕES.....	34
5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	35
CAPITULO 2 - Efeito da mistura de boro e Fertiactyl® na redução da intoxicação de plantas de eucalipto com glyphosate	39
1. INTRODUÇÃO	41
2. MATERIAL E MÉTODOS.....	42
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	44
4. CONCLUSÃO.....	51
5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	52
CAPITULO 3 – Efeito do Fertiactyl® na absorção e translocação de ¹⁴C-glyphosate em plantas jovens de eucalipto.....	56
1. INTRODUÇÃO	58
2. MATERIAL E MÉTODOS.....	59
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	61
4. CONCLUSÃO.....	70
5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	71
CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	75

INTRODUÇÃO GERAL

No Brasil, o setor florestal contribui com 6,9 % do PIB Industrial e ocupa uma área de 7,83 milhões de hectares, sendo 72,8 % desta área cultivadas com espécies do gênero *Eucalyptus* (IBA, 2019). As florestas de eucalipto brasileiras estão na liderança do ranking global de produtividade de madeira com uma média de 36 m³ ha⁻¹ ao ano (IBA, 2019). Esta cultura apresenta boa adaptação às diferentes condições edafoclimáticas, rápido crescimento e excelente qualidade da madeira para diversos fins (FONSECA et al., 2010; VIERA et al., 2012).

Apesar da boa competitividade da cultura do eucalipto, a interferência das plantas daninhas causa grandes prejuízos, principalmente, no decréscimo da produção de madeira (CASTRO et al., 2016). As plantas daninhas interferem negativamente no crescimento e no desenvolvimento das plantas de eucalipto devido à competição por espaço, luz, água e nutrientes.

A cultura do eucalipto é mais suscetível à competição nas fases iniciais do seu estabelecimento no campo (ADAMS et al., 2003; PEREIRA et al., 2013). Cruz et al. (2010) verificaram reduções da massa da matéria seca do caule e dos ramos (56 %), das folhas (60 %) e da área foliar total (62 %), devido à convivência de clones de eucalipto com capim-colonião até os 90 dias após o transplante. Além disto, a competição durante as demais fases do ciclo pode promover diversas alterações fisiológicas e morfológicas, que resultam em reduções na qualidade da madeira (OSIECKA & MINOGUE, 2015). As perdas causadas pela interferência de plantas daninhas podem atingir 50 % do rendimento de madeira e uma redução de mais de 90 % na rentabilidade do empreendimento florestal (HAKAMADA et al., 2010).

O manejo de plantas daninhas nos cultivos de eucalipto é uma das atividades mais onerosas e de grande importância até que a floresta seja estabelecida. São diversas as formas de controle de plantas daninhas, tais como: práticas preventivas, culturais, mecânicas, físicas, químicas e o controle biológico. Entretanto, o manejo por meio do herbicida glyphosate é o mais utilizado por ter um custo mais baixo e necessitar de um menor uso de mão-de-obra. Este herbicida tem sido amplamente usado nas empresas de reflorestamento, desde operações em pré-plantio, pós-plantio, pré-colheita até a fase de controle de rebrota de eucalipto (HAKAMADA et al., 2010).

O glyphosate tem amplo espectro de ação, controla diversas espécies de plantas daninhas de forma não seletiva e em pós-emergência (GOMES et al., 2014). Após absorvido, o

herbicida é transportado para os meristemas apicais e radiculares inibindo o crescimento de plantas (PETERSEN et al., 2007; BANASZKIEWICZ & WYSOCKI, 2012) devido ao bloqueio formado na rota do ácido chiquímico e consequente inibição da produção de aminoácidos aromáticos essenciais, fenilalanina, tirosina e triptofano. A inibição da biossíntese desses aminoácidos implica em limitação na formação de compostos fenólicos, flavonoides e muitos outros, assim como, reduz o transporte de auxina (DEBSKI et al., 2018) levando a planta à morte.

Nas áreas de eucalipto, o glyphosate é aplicado de forma dirigida para o controle das plantas daninhas através de pulverizadores com barra protegida (tipo conceição) ou costais. No entanto, mesmo com os devidos cuidados durante as aplicações, é comum ocorrer o contato nos ramos baixeiros das plantas, sendo esta a principal causa de intoxicação (TUFFI SANTOS et al., 2005).

Pereira et al. (2011) avaliaram a intoxicação e o desenvolvimento de plantas de *E. grandis* sob aplicação de deriva simulada de glyphosate e a absorção em caule, folhas e planta inteira. Estes pesquisadores observaram que o aumento de doses do herbicida propiciou intoxicações mais intensas, principalmente, nas aplicações realizadas sobre o caule e a planta inteira. Aos 14 dias após aplicação (DAA), a intoxicação atingiu 75 % e, aos 35 DAA, houve reduções em 6 cm no ganho em altura de plantas, 58 % na matéria seca de parte aérea e 56 % na área foliar.

As perdas por intoxicação com glyphosate podem ser causadas devido às diferenças na tolerância entre genótipos de eucalipto (TUFFI SANTOS et al., 2006, 2007; MACHADO et al., 2009). Embora não sejam claros os processos envolvidos nessa tolerância, acredita-se que a diferença de sensibilidade entre genótipos possa ser atribuída às diferenças na absorção, translocação, compartimentalização, exsudação radicular e ao metabolismo do herbicida (VARGAS et al., 1999). A absorção de herbicidas pela planta envolve a penetração inicial através da cutícula e a absorção simplástica, sendo a duração desse processo dependente da espécie envolvida, da idade da planta, das condições ambientais e da concentração do herbicida e do surfactante (SILVA et al., 2007).

As taxas de absorção foliar de herbicidas e, conseqüentemente, sua eficácia estão diretamente relacionadas aos tipos de estrutura foliar e à permeabilidade da cutícula (BAKER, 1982) e dependem da constituição e da polaridade dos componentes cuticulares. O glyphosate possui baixo Kow, portanto, tem pouca afinidade a lipídios (KIRKWOOD et

al., 1999) e as ceras epicuticulares, com grande quantidade de compostos apolares, podem constituir barreira à penetração desse herbicida.

Os estudos de absorção e translocação podem ser aprofundados com o uso de radioisótopos da mesma forma que são utilizados em diversos tipos de pesquisas, tais como: o metabolismo de fármacos e defensivos agrícolas, estudos ambientais, determinação de rotas biológicas e estudos de balanço de massa para compostos orgânicos. Os métodos mais utilizados são por meio do trítio (^3H) e o ^{14}C (MENDES et al., 2017).

Herbicidas radiomarcados podem ser usados em avaliações quantitativas ou qualitativas e permitem associar a resistência à redução na absorção e/ou translocação, e/ou ao metabolismo acelerado em diversas espécies de plantas (MONQUERO et al., 2014). Para isto, são realizadas amostragens destrutivas de plantas tratadas em vários períodos de pós-tratamento, o que permite a caracterização do padrão de absorção na planta, considerando o planejamento e análises estatísticas adequadas (KNISS et al., 2011).

Avaliando dois clones de *Eucalyptus grandis*, Machado et al. (2009), não observaram diferenças entre os genótipos na translocação e exsudação radicular do glyphosate marcado radioativamente. Concluíram que a tolerância diferencial entre genótipos foi devido à absorção superior do clone 2277 em relação ao 531.

O cultivo de eucalipto tem expandido nos últimos anos, principalmente, em regiões de solos altamente intemperizados e de baixa fertilidade. Esses solos, associados a baixos teores de matéria orgânica e longos períodos com deficiência hídrica, podem proporcionar a deficiência de boro no eucalipto (GONÇALVES et al., 2015).

O boro é o micronutriente que proporciona a maior limitação no crescimento e produtividade do eucalipto (GONÇALVES et al., 2015). Sua ausência pode levar à morte de meristemas apicais e proporcionar deformações do tronco (BARROS et al., 1990; GONÇALVES et al., 1997), bifurcações que aumentam a fragilidade e a predisposição a quebra por ventos. Assim sendo, operações que permitem controlar ervas daninhas e fornecer boro ao mesmo tempo podem reduzir os custos de produção e proporcionar melhorias no estabelecimento do eucalipto (BRIGHENTI et al., 2015).

A sensibilidade e a resposta ao boro variam entre os genótipos de eucalipto (BRIGHENTI et al., 2015; PITA-BARBOSA et al., 2016). Em estudos no manejo de plantas daninhas, Brighenti et al. (2015) observaram que a adição de ácido bórico à calda de herbicidas não afetou o controle da *Urochloa decumbens* e que esta combinação é adequada para evitar a seca de ponteiro em plantas de eucalipto.

Os riscos de deriva de glyphosate e a toxicidade causada na cultura do eucalipto evidenciam a necessidade de protetores a fim de evitar possíveis danos. Também conhecidos como *safeners*, os protetores possuem elevado grau de especificidade botânica e química (FERREIRA & CATANEO, 2001) com potencial de minimizar ou mesmo evitar os danos promovidos pelos herbicidas nas culturas (DAVIES & CASELEY, 1999). Podem aumentar a tolerância de determinadas culturas ao uso de herbicidas e viabilizar a seletividade de herbicidas antes considerados letais (GALON et al., 2011).

Existem muitas formas de utilização dos *safeners*. As mais comuns são as usadas nos tratamentos de sementes, e as adicionadas em misturas com herbicidas, como componentes das suas formulações para serem aplicados ao solo ou em pós-emergência (HATZIOS & HOAGLAND, 1989; OLIVEIRA JR. & CONSTANTIN, 2001). Zobiolo et al. (2011) e Serciloto et al. (2014) estudaram a aplicação de produtos à base de aminoácidos em plantas atingidas por glyphosate e demonstraram o potencial de redução de toxicidade por estes produtos.

Alguns autores têm estudado o potencial biorreparador do Fertiactyl na redução da toxicidade causada pela deriva do glyphosate em culturas (SANTOS et al., 2015; CONSTANTIN et al., 2016; MACHADO et al., 2017a; NASCIMENTO, 2018). O Fertiactyl é registrado como um fertilizante foliar pela TIMAC Agro e possui a tecnologia denominada “Complexo GZA”, constituída por uma fração mineral e outra orgânica contendo ácidos húmicos e fúlvicos, aminoácidos e zeatina como precursor hormonal (TIMAC Agro, 2017).

As substâncias húmicas podem interagir com os sítios de absorção da membrana celular e aumentar a absorção de nutrientes pelas plantas (LEE & BARTLETT, 1976; CHEN & SCHNITZER, 1978; MARSCHNER et al., 1986). Além do mais, o uso de aminoácidos pode aumentar a tolerância das plantas a situações estressantes por serem compostos capazes de agir em processos morfofisiológicos do vegetal precursores de hormônios endógenos (CASTRO, 2009). Segundo a TIMAC Agro, (2017) o “Complexo GZA”, presente nas diferentes formulações do Fertiactyl apresenta ação sobre os cloroplastos, promovendo estímulo à produção e à manutenção de clorofila, o que leva ao retardo da senescência.

Santos et al. (2015) relataram redução na toxicidade da soja RR e ganhos em produtividade nas plantas submetidas à aplicação de doses crescentes de Fertiactyl em mistura com glyphosate + lactofen. Na cultura do eucalipto, Machado et al. (2017b) demonstraram proteção da planta de eucalipto contra ação do glyphosate e controle eficiente de braquiária, quando essas duas espécies foram cultivadas consorciadas em vasos. Para isso, foi aplicado 540 g ha⁻¹ de glyphosate e 3 L ha⁻¹ Fertiactyl em mistura no tanque.

Considerando que ainda não são bem conhecidos, os mecanismos de proteção do Fertiactyl contra a toxicidade do glyphosate nos diferentes clones de eucalipto, e que não há informações da associação do boro ao Fertiactyl sobre a prevenção da morte de gemas apicais pelo efeito do glyphosate, realizou-se essa pesquisa cujo objetivo foi o de avaliar o efeito do Fertiactyl na redução da intoxicação de clones de eucalipto, o efeito do Fertiactyl na absorção e na translocação de ^{14}C -glyphosate em plantas jovens de eucalipto, bem como o efeito da associação do boro ao Fertiactyl na redução de mortes de gemas apicais promovidas pelo glyphosate.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ADAMS, P.; BEADLE, C.; MENDHAM, N.; SMETHURST, P. The impact of timing and duration of grass control on growth of young *Eucalyptus globulus* Labill plantation. **New Forests**, v.26, p.147-165, 2003.
- BAKER, E. A. Chemistry and morphology of plant epicuticular waxes. In: CUTLER, D. F.; ALVIN, K. L.; PRICE, C. E. (Eds.). The plant cuticle. **Academic Press**, p.140-161, 1982.
- BANASZKIEWICZ, T.; WYSOCKI, K. Application of white mustard (*Sinapis alba*) biotest in the assessment of environmental contamination by glyphosate. **Polish Journal of Environmental Studies**. v.21, p.1161-1166, 2012.
- BARROS, N. F.; NOVAIS, R. F. NEVES, J. C. L. Fertilização e correção do solo para o plantio de eucalipto. In: BARROS, N. F.; NOVAIS, R. F., eds. Relação solo-eucalipto. **Folha de Viçosa**, 1990. p.127-186.
- BRIGHENTI, A. M.; MULLER, M. D.; OLIVEIRA JR, A.; CASTRO, C. Weed control and boron nutrition on Eucalyptus in silvopastoral system. **Tropical and Subtropical Agroecosystems**. v.18, p.39-46, 2015.
- CASTRO, E. B.; CARBONARI, C. A.; VELINI, E. D.; BELAPART. D.; GOMES, G. L. G. C.; BEN, R. Absorção, translocação e efeitos metabólicos do glyphosate em plantas de eucalipto. **Scientia Forestalis (IPEF)**, v.44, p.719-727, 2016.
- CASTRO, P. R. C. Princípios da adubação foliar. Jaboticabal: **FUNEP**, 42p. 2009.
- CHEN, Y.; SCHNITZER, M. The surface tension of aqueous solution of soil humic substances. **Soil Science**, v.125, p.7-15, 1978.
- CONSTANTIN, J.; OLIVEIRA JR., R. S.; GHENO, E. A.; BIFFE, D. F.; BRAZ, G. B. P.; WEBER, F.; TAKANO, H. K. Prevention of yield losses caused by glyphosate in soybeans with biostimulant. **African Journal of Agricultural Research**, v.11, p.1601-1607, 2016.
- CRUZ, M. B.; ALVES, P. L. C. A.; KARAM, D.; FERRAUDO, A. S. Capim-colonião e seus efeitos sobre o crescimento inicial de clones de *Eucalyptus urograndis*. **Ciência Florestal**, v.20, p.391-401, 2010.
- DEBSKI, H.; WICZKOWSKI, W.; SZAWARA-NOWAK, D.; BĄCZEK, N.; CHRZANOWSKI, G.; HORBOWICZ, M. Effects of glyphosate and fluazifop-p-butyl on flavonoids content and growth of common buckwheat (*Fagopyrum esculentum* moench). **Fresenius Environmental Bulletin**, v.27, p.91-97, 2018.
- DAVIES, J.; CASELEY, J. C. Herbicide *safeners*: a review. **Pesticide Science**, v.55, p.1043-1058, 1999.

- FERREIRA, L. C.; CATANEO, A. C. Aspectos bioquímicos da ação de "safeners". B. Inf. **SBCPD**, v.8, p.5-6, 2001.
- FONSECA, S. M.; RESENDE, M. D. V.; ALFEBAS, A. C.; GUIMARÃES, L. M. S.; ASSIS, T. F.; GRATTAPAGLIA, D. Manual prático de melhoramento genético do eucalipto. **UFV**, 200p., 2010.
- GALON, L.; MACIEL, C. D. G.; AGOSTINETTO, D.; CONCENÇO, G.; MORAES, P. V. D. Seletividade de herbicidas as culturas pelo uso de protetores químicos. **Revista Brasileira de Herbicidas**, v.10, p.291-304, 2011.
- GOMES, M. P.; SMEDBOL, E.; CHALIFOUR, A.; HÉNAULT-ETHIER, L.; LABRECQUE, M.; LEPAGE, L.; LUCOTTE, M.; JUNEAU, P. Alteration of plant physiology by glyphosate and its by product aminomethylphosphonic acid: an overview. **Journal of Experimental Botany**, v.65, p.4691-4703, 2014.
- GONÇALVES, J. L. M.; BARROS, N. F.; NAMBIAR, E. K. S.; NOVAIS, R. F. Soil and stand management for shortrotation plantations. In: NAMBIAR, S.; BROWN, A. G., eds. Management of soil, nutrients and water in tropical plantation forests. **ACIAR**, 1997. p.379-417.
- GONÇALVES, J. L. D. M.; ROCHA, J. H. T.; BAZANI, J. H.; HAKAMADA, R. E. Nutrição e adubação da cultura do eucalipto manejada no sistema de talhadia. In: *48ª Reunião Técnico-Científica do Programa Cooperativo sobre Silvicultura e Manejo "Manejo da brotação de eucalipto para produção de madeira"* eds J. C. ARTHUR JUNIOR, R. E.; HAKAMADA, J. H.; BAZANI, J. H. T.; ROCHA, E. A. S. C.; MELO, J. L. D. M.; GONÇALVES. **IPEF**, 82p. 2015.
- HAKAMADA, R. E.; ARTHUR JUNIOR, J. C.; GONÇALVES, J. L. M.; PULITTO, A. P. Levantamento sobre o manejo de plantas daninhas. In: Reunião técnico-científica do PTSM, 40, 2010, **Campo Grande**. Anais. p.44-64, 2010.
- HATZIOS, K. K.; HOAGLAND, R. E. Crop safeners for herbicides: Development, uses, and metabolisms of action. **Academic Press**, 404p., 1989.
- INDÚSTRIA BRASILEIRA DE ÁRVORES – IBÁ. **Relatório Anual 2019**. Disponível em: <<https://iba.org/datafiles/publicacoes/relatorios/iba-relatorioanual2019.pdf>>. Acesso em: 15 de nov. 2019.
- KNISS, A. R.; VASSIOS, J. D.; NISSEN, S. J.; RITZ, C. Nonlinear regression analysis of herbicide absorption studies. **Weed Science**. v.59, p.601-610, 2011.
- KIRKWOOD, R. C.; HETHERINGTON, R.; REYNOLDS, T. L.; MARSHALL, G. Absorption, localization, translocation and activity of glyphosate in barnyardgrass (*Echinochloa crus-galli* (L) Beauv): influence of herbicide and surfactant concentration. **Pest Management Science**, v.56, p.359-367, 1999.
- LEE, Y. S.; BARTLETT, R. J. Stimulation of plant growth by humic substances. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v.40, p.876-879, 1976.

- MACHADO, A. F. L.; FERREIRA, L. R.; SANTOS, L. D. T.; SANTOS, J. B.; FERREIRA, F. A.; VIANA, R. G. Absorção, translocação e exsudação radicular de glyphosate em clones de eucalipto: clones. **Planta Daninha**, v.27, p.549-554, 2009.
- MACHADO, M. S.; FERREIRA, L. R.; DE PAULA, J. L.; PEREIRA, G. A. M.; GONÇALVES, V. A. Use of liquid fertilizer to reduce the phytotoxic effects of glyphosate on eucalyptus. **Revista Caatinga**, v.30, p.730-737, 2017a.
- MACHADO, M. S.; FERREIRA, L. R.; PEREIRA, G. A. M.; GONÇALVES, V. A.; PAIXÃO, G. P. Protective effect on eucalyptus plants and signal grass control with a tank mixture of glyphosate and liquid fertilizer. **Planta Daninha**, v.35, p.1-8, 2017b.
- MARSCHNER, H.; ROMHELD, V.; KISSEL, M. Different strategies of higher plants in mobilization and uptake of iron. **Journal of Plant Nutrition**, v.9, p.695-714, 1986.
- MENDES, K. F.; SILVEIRA, R. F.; INOUE, M. H.; TORNISIELO, V. L. Procedures for detection of resistant weeds using ¹⁴C-herbicide absorption, translocation, and metabolism. In: Prof. Dr. Zvonko Pacanoski. (Org.). Herbicide Resistance in Weeds and Crops. **In Tech Open**, v.1, p.161-176, 2017.
- MONQUERO, P. A.; CHRISTOFFOLETI, P. J.; OSUNA, M. D.; DE PRADO, R. A. Absorção, translocação e metabolismo do glyphosate por plantas tolerantes e suscetíveis a este herbicida. **Planta Daninha**, v.22, p.445-451, 2004.
- NASCIMENTO, J. L. M. *Efeito do Fertiactyl na proteção de plantas de café atingidas por herbicidas e no controle de plantas daninhas*. 2018. 59 f. **Dissertação - Mestrado em Fitotecnia** – Universidade Federal de Viçosa, UFV, 2018.
- OLIVEIRA JR, R. S.; CONSTANTIN, J. Plantas Daninhas e seu Manejo. Guaíba: **Editora Agropecuária**, 362p., 2001.
- OSIECKA, A; MINOGUE, P. J. Sequential sulfometuron methyl applications in *Eucalyptus benthamii* plantations. **Weed Technology**, v.29, p.243-254, 2015.
- PETERSEN, I. L.; HANSEN, H. C. B.; RAVN, H. W.; SØRENSEN, J. C.; SØRENSEN, H. Metabolic effects in rapeseed (*Brassica napus* L.) seed lings after root exposure to glyphosate. **Pesticide Biochemistry and Physiology**, v.89, p.220- 229, 2007.
- PEREIRA, F. C. M.; ALVES, P. L. C. A.; MARTINS, J. V. F. Interference of grasses on the growth of eucalyptus clones. **Journal of Agricultural Science**, v.5, n.11, p.173-180, 2013.
- PEREIRA, M. R. R.; RODRIGUES, A. C. P.; CAMPOS, C. F.; MELHORANÇA FILHO, A. L.; MARTINS, D. Absorção de subdoses glyphosate aplicadas em diferentes locais de plantas de eucalipto. **Revista Árvore**, v.35, p.589-594, 2011.
- PITA-BARBOSA, A.; HODECKER, B. E. R.; BARROS, N. F. Boron as mitigator of drought damage in *Eucalyptus*: a genotype-dependent mechanism? **Scientia Forestalis**. v.44, p.851-61, 2016.

- SANTOS, A. C. M.; SOUZA, M. A. S.; FREITAS, G. A.; SANTOS, P. S. S.; SILVA, R. R. Substância húmica na redução da fitotoxicidade dos herbicidas Roundup Ready + lactofen na cultura da soja. **Tecnologia Ciência Agropecuária**, v.9, p 35-41, 2015.
- SERCILOTO, C. M.; CARVALHO, M. E. A.; CASTRO, P. R. DE C. E. Mitigation of glyphosate side effects on non-target plants: use of different agrochemicals as protectants in common bean plants. **Ambiência**, v.10, p.615–623, 2014.
- SILVA, J. F.; SILVA, J. F.; FERREIRA, L. R.; FERREIRA, F. A. Herbicida: absorção, translocação, metabolismo, formulação e misturas. In: SILVA, A. A.; SILVA, J. F. **Tópicos em manejo de plantas daninhas**, 367p. 2007.
- TIMAC Agro. Dossiê Fertiactyl Pós® - **Dossiê Técnico-Científico**. Disponível em: <<http://www.br.timacagro.com/timac/Portugues/institucional/index.php?acao=detalhar&cod=25>>. Acesso em: 06 jun. 2017.
- TUFFI SANTOS, L. D.; FERREIRA, F. A.; FERREIRA, L. R.; DUARTE, W. M.; TIBURCIO, R. A. S.; SANTOS, M. V. Intoxicação de espécies de eucalipto submetidas à deriva do glyphosate. **Planta Daninha**, v.24, p.359-364, 2006.
- TUFFI SANTOS, L. D.; FERREIRA, F. A.; FERREIRA, L. R.; DUARTE, W. M.; TIBURCIO, R. A. S.; SANTOS, M. V. Crescimento do eucalipto sob efeito da deriva de glyphosate. **Planta Daninha**, v.25, p.133-137, 2007.
- TUFFI SANTOS, L. D.; FERREIRA, F. A.; MEIRA, R. M. S. A.; BARROS, N. F.; FERREIRA, L. R.; MACHADO, A. F. L. Crescimento e morfoanatomia foliar de eucalipto sob efeito de deriva do glyphosate. **Planta Daninha**, v.23, p.133–142, 2005.
- VARGAS, L.; SILVA, A. A.; BORÉM, A.; REZENDE, S. T.; FERREIRA, F. A.; SEDIYAMA, T. Resistência de plantas daninhas a herbicidas. **Jard Produções Gráficas Ltda**, 131p. 1999.
- VIERA, M.; BONACINA, D. M.; SCHUMACHER, M. V.; CALIL, F. N.; CALDEIRA, M. V. W.; WATZLAWICK, L. F. Biomass and nutrients in *Eucalyptus urograndis* stands in southeastern Mountain Range - RS. **Semina: Ciências Agrárias**, v.33, p.2481- 2490, 2012.
- ZOBIOLE, L. H. S.; OLIVEIRA JR., R. S.; CONSTANTIN, J.; BIFFE, D. F. Prevenção de injúrias causadas por glyphosate em soja RR por meio do uso de aminoácido. **Planta Daninha**, v.29, p.195–205, 2011.

CAPITULO 1 - Eficiência do Fertiactyl® na proteção de clones de eucalipto contra intoxicação por glyphosate

RESUMO – Ocorrem com elevada frequência intoxicações de plantas de eucalipto por ação do glyphosate, e o Fertiactyl foi citado na literatura, com potencial de evitar ou minimizar essa toxicidade do herbicida; porém, existem dúvidas sobre as respostas de clones a esta tecnologia. Objetivou-se, portanto, avaliar a eficiência do Fertiactyl na proteção de clones de eucalipto aos danos provocados pelo glyphosate. Para isto, foram estudadas cinco doses de glyphosate (0, 180, 360, 720 e 1440 g ha⁻¹), três doses de Fertiactyl (0; 2,0 e 4,0 L ha⁻¹) e três clones de eucalipto (Clone 1; 2 e 3) em esquema fatorial 5x3x3. A aplicação do glyphosate foi realizada sobre plantas de eucalipto com aproximadamente 50 cm de altura, 60 dias após o transplântio. Aos 50 dias após a aplicação foram realizadas avaliações visuais de toxicidade, incremento de altura de plantas e diâmetro de caule, área foliar e matéria seca da parte aérea. Observou-se que há diferenças na sensibilidade de clones de eucalipto ao glyphosate e que o clone 2 foi o mais sensível, apresentando maior intoxicação em relação aos demais clones. O Fertiactyl nas doses 2 ou 4 L ha⁻¹ protegeu os três clones contra intoxicação por glyphosate. Conclui-se que o Fertiactyl tem potencial de reduzir a intoxicação do eucalipto por glyphosate nos três clones avaliados.

Palavras-chave: Controle químico. *Safener*. Tecnologia de aplicação. Toxicidade

ABSTRACT – Intoxication of eucalyptus plants by the action of glyphosate occurs with high frequency. Fertiactyl has been related in the literature with the potential to prevent or minimize the toxicity of this herbicide in eucalyptus plants. However, there are doubts about the responses of clones to this product. Therefore, the objective was to evaluate the efficiency of Fertiactyl in protecting eucalyptus clones from damage caused by glyphosate. For this, five doses of glyphosate (0, 180, 360, 720 and 1440 g ha⁻¹), three doses of Fertiactyl (0, 2.0 and 4.0 L ha⁻¹) and three eucalyptus clones (Clone 1, 2 and 3) in a 5x3x3 factorial scheme. The application of glyphosate was carried out on eucalyptus plants at ~50 cm high, 60 days after transplanting. At 50 days after application, visual toxicity, increase in plant height and stem diameter, leaf area and dry matter of the aerial part were evaluated. Differences in the glyphosate sensitivity of eucalyptus clones were observed. The clone 2 was the most sensitive presenting greater intoxication in relation to the other clones. Fertiactyl at doses 2 or 4 L ha⁻¹ protected the three clones against glyphosate intoxication. It was concluded that Fertiactyl has the potential to reduce the glyphosate intoxication in eucalyptus plants of the three clones evaluated.

Keywords: Application technology. Chemical control. Safener. Toxicity.

1. INTRODUÇÃO

Em florestas de eucalipto, o manejo químico, principalmente, o conduzido com glyphosate, é amplamente utilizado devido à eficiência de controle e ao baixo custo. Considerado não seletivo e por ter amplo espectro de ação, este herbicida é aplicado em jato dirigido visando atingir somente as plantas daninhas. Entretanto, apesar dos cuidados na aplicação, é comum ocorrer deriva e, conseqüentemente, contato com a cultura. A deriva é evidente e diagnosticada pelo aparecimento de sintomas característicos como enrolamento das folhas, superbrotações e/ou cloroses seguidas de necroses. O contato com o glyphosate pode provocar intoxicações que refletem na produtividade ou mesmo morte de plantas mais jovens (TUFFI SANTOS et al., 2006, 2007, 2009).

Muitas pesquisas têm sido realizadas com a finalidade de encontrar formas de minimizar os efeitos deletérios do glyphosate nas culturas, tanto para melhorias na tecnologia de aplicação quanto para uso de protetores (JAWORSKI, 1972; GRESSHOFF, 1979; ZOBIOLE et al., 2011; SERCILOTO et al., 2014). Exemplo disso são aplicações de aminoácidos sobre a cultura de interesse, a fim de reduzir a inibição do crescimento causada pelo glyphosate (SANTOS et al., 2005).

Alguns autores mostraram o potencial de uso do Fertiactyl como protetor em diversas culturas (CONSTANTIN et al., 2016; MACHADO et al., 2017a; 2017b; 2017c; FREITAS et al., 2018). Esse produto é um fertilizante foliar, da TIMAC Agro, composto por uma fração mineral e outra orgânica contendo ácidos húmicos e fúlvicos, aminoácidos glicina-betaína e o precursor hormonal, a zeatina (TIMAC Agro, 2017).

Pesquisas prévias evidenciaram que o Fertiactyl, em mistura com glyphosate em deriva simulada sobre o clone de eucalipto GG100, tem potencial de minimizar os danos ao crescimento causados pelo herbicida (MACHADO et al., 2017a). Entretanto, os clones de eucalipto apresentam diferentes níveis de susceptibilidade às doses de glyphosate (CARVALHO et al., 2015), como diferenças na absorção, translocação, compartimentalização, exsudação radicular e no metabolismo da molécula herbicida (VARGAS et al., 1999).

Além disto, não há informações a respeito das respostas de diferentes clones ao efeito protetor do Fertiactyl contra intoxicação das plantas por glyphosate. Portanto, objetivou-se nesta pesquisa compreender melhor a eficiência do Fertiactyl na proteção contra intoxicação de clones de eucalipto com sensibilidade distinta ao glyphosate.

2. MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi realizado no período de dezembro de 2016 a março de 2017, em condição de céu aberto, na Universidade Federal de Viçosa, município de Viçosa - MG. Cada unidade experimental foi composta de uma planta de eucalipto, cultivada em vaso de 10 dm³ preenchido com solo oriundo da região, corrigido e adubado conforme a 5ª aproximação (BARROS & NOVAIS, 1999), segundo a análise de solo.

O ensaio foi conduzido em esquema fatorial 5x3x3, no delineamento inteiramente casualizado e três repetições. Foram avaliadas cinco doses de glyphosate (0, 180, 360, 720 e 1440 g ha⁻¹), três doses de Fertiactyl (0; 2,0 e 4,0 L ha⁻¹) e três clones de eucalipto, sendo dois híbridos de *Eucalyptus urophylla* (Clone 1 e 2) e um híbrido de *Corymbia torelliana* x *C. citriodora* (Clone 3). Os clones 1 e 2 foram fornecidos pela empresa Suzano Papel e Celulose, sendo que, o 1 foi caracterizado a campo como menos suscetível ao glyphosate e o 2 como muito suscetível dentre os materiais genéticos utilizados pela própria empresa. O clone 3, fornecido pela ArcelorMittal S.A., é derivado de materiais muito suscetíveis ao herbicida. O glyphosate utilizado foi o produto comercial Scout® (Glyphosate sal de amônio - 792,5 g Kg⁻¹) e o Fertiactyl utilizado foi a formulação Fertiactyl Sweet® da TIMAC Agro.

O glyphosate e o Fertiactyl foram aplicados em mistura no tanque, de forma a atingirem toda planta de eucalipto (*over the top*), quando completasse aproximadamente 50 cm de altura, 60 dias após o transplântio. A aplicação foi realizada por meio de pulverizador costal pressurizado com CO₂, munido de barra com duas pontas do tipo leque TTI 110 02, espaçadas 0,5 m, regulado para volume de calda de 150 L ha⁻¹. Durante a aplicação a umidade relativa do ar era de 55 %, temperatura 28,9 °C e a velocidade média do vento 3,5 km h⁻¹.

Aos 7, 21 e 50 dias após aplicação (DAA), foram realizadas avaliações visuais de toxicidade nas plantas de eucalipto e, aos 50 DAA, foram avaliados o incremento de altura de plantas, incremento de diâmetro de caule, área foliar e a matéria seca da parte aérea. A avaliação da fitotoxicidade foi realizada atribuindo notas de 0 a 100 %, sendo 0 % corresponde à ausência de injúria e 100 % à morte das plantas (SBCPD, 1995). Para determinação dos incrementos de altura de plantas e de caule, as plantas de eucalipto foram medidas do solo ao ápice, e o diâmetro de caule mensurado com paquímetro a 1 cm do solo, um dia antes da aplicação e aos 50 DAA. A área foliar foi avaliada retirando-se as folhas das plantas e medidas as respectivas áreas, por meio do medidor de área Licor Equipamentos (modelo LI-3100). O caule e as folhas foram separados e colocados em estufa de circulação forçada de ar a 65 ± 3 °C até atingir massa

constante para, em seguida, determinar a massa de matéria seca em balança com precisão de duas casas decimais.

Os dados da fitotoxicidade foram apresentados considerando um intervalo de confiança de 95 % e os demais dados foram submetidos à análise de regressão. Os modelos foram escolhidos baseados na significância dos coeficientes de regressão utilizando-se o teste “t” adotando-se o nível de 5 % de probabilidade, no coeficiente de determinação ($R^2 = \text{SQReg}/\text{SQTrat}$) e no fenômeno biológico em estudo.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A porcentagem de fitotoxicidade foi crescente e proporcional às doses de glyphosate nos tratamentos sem Fertiactyl, com diferenças entre os clones. O clone mais sensível foi o 2 que apresentou 100 % de fitotoxicidade (morte), na dose 720 g ha⁻¹ de glyphosate, seguido pelo clone 1, com 50 % e o clone 3 com 36,67 % (Figura 1) aos 50 DAA. O clone 3 foi o menos sensível ao glyphosate, nem a dose 1440 g ha⁻¹ foi suficiente para matar as plantas, que apresentaram intoxicação de 85 %, ao passo que os clones 1 e 2 apresentaram 100 % de fitotoxicidade nesta dose (Figuras 1, 2, 3 e 4).

Aplicação de 2,0 L ha⁻¹ Fertiactyl foi suficiente para reduzir a fitotoxicidade nos três clones sem haver efeitos visuais até a dose de 720 g ha⁻¹ aos 50 DAA. Na dose 1440 g ha⁻¹ de glyphosate, o clone 2 havia apresentado 27,67 % aos 7 DAA e aos 50 DAA a intoxicação foi reduzida para 15,67 %; evidenciando uma recuperação com uso do Fertiactyl (Figura 1). Na dose de 4 L ha⁻¹ de Fertiactyl, aos 50 DAA, as notas apresentadas pelas plantas de eucalipto foram 13,33; 9,33 e 23,33 % de fitotoxicidade, para os clones 3, 1 e 2, respectivamente (Figuras 1, 2, 3 e 4). A maior tolerância do eucalipto ao glyphosate na presença do Fertiactyl também foi relatada por Machado et al. (2017b).

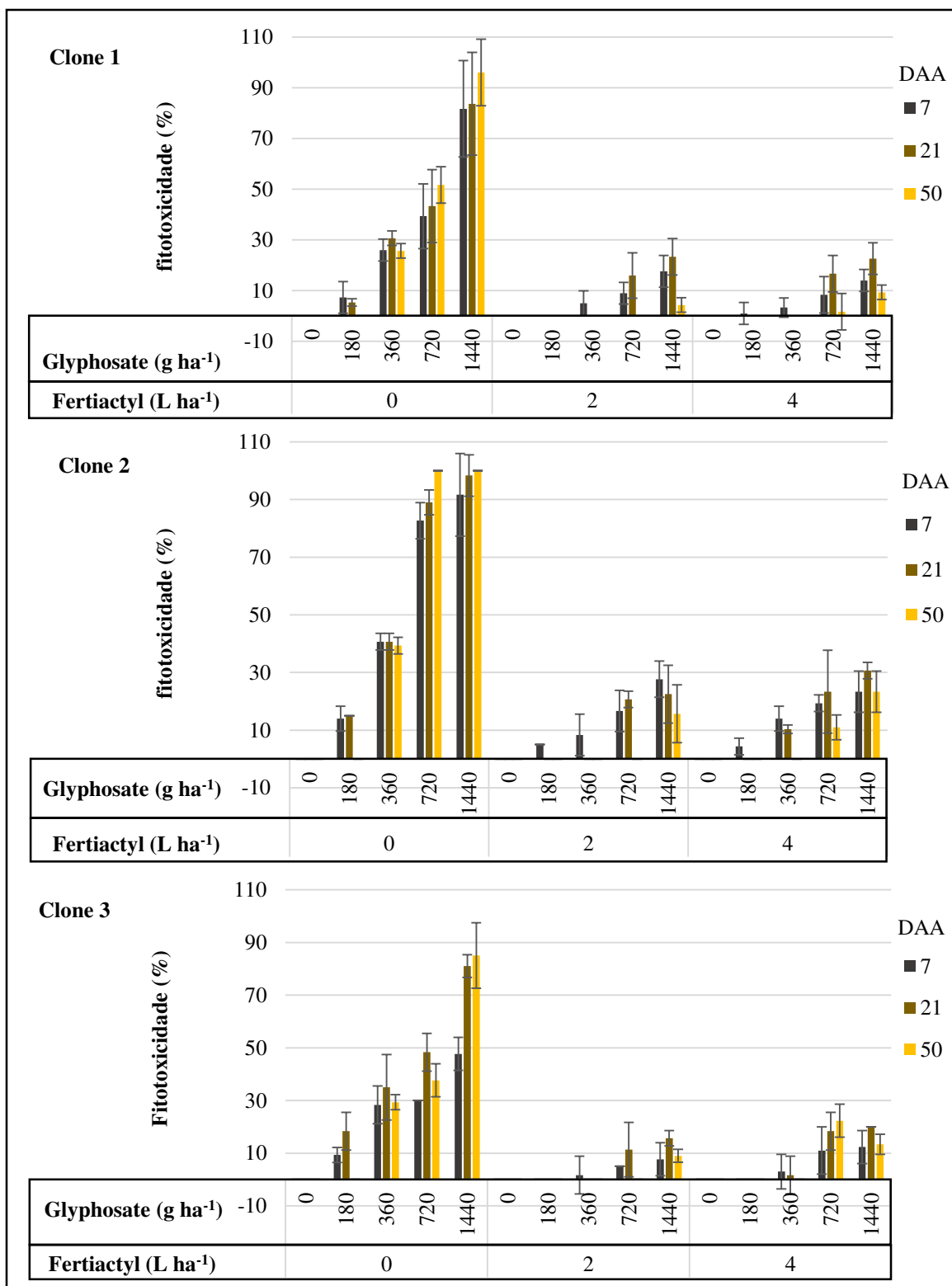


Figura 1 - Estimativa da fitotoxicidade em plantas de eucalipto, clones 1; 2 e 3, submetidos a aplicação do glyphosate em mistura com o Fertiactyl aos 7, 21 e 50 DAA. As barras verticais representam o intervalo de confiança a 95 % de probabilidade.

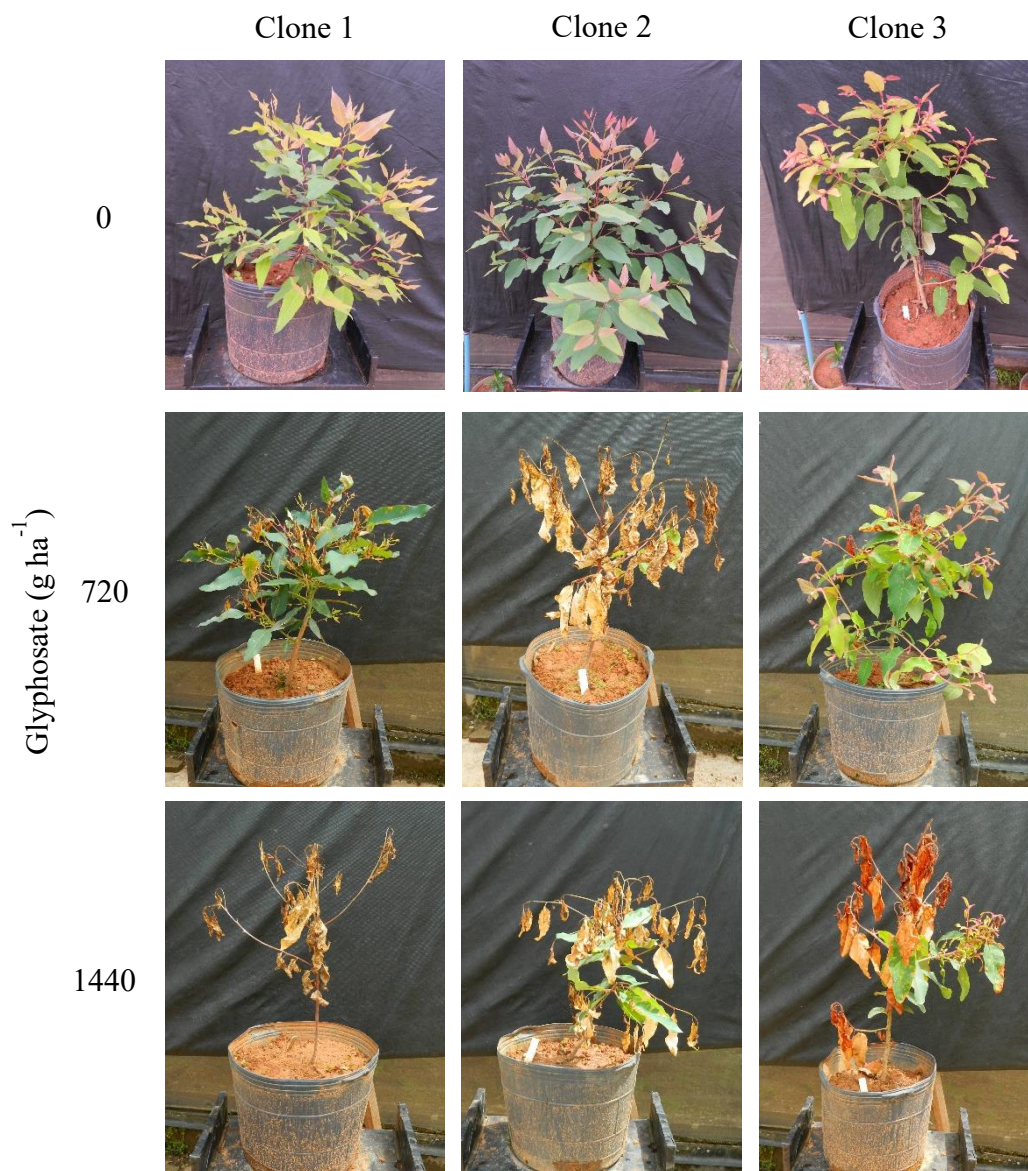


Figura 2 – Plantas de eucalipto, clones 1; 2 e 3 com aplicação de 0; 720 e 1440 g ha⁻¹ de glyphosate e ausência de Fertiactyl.

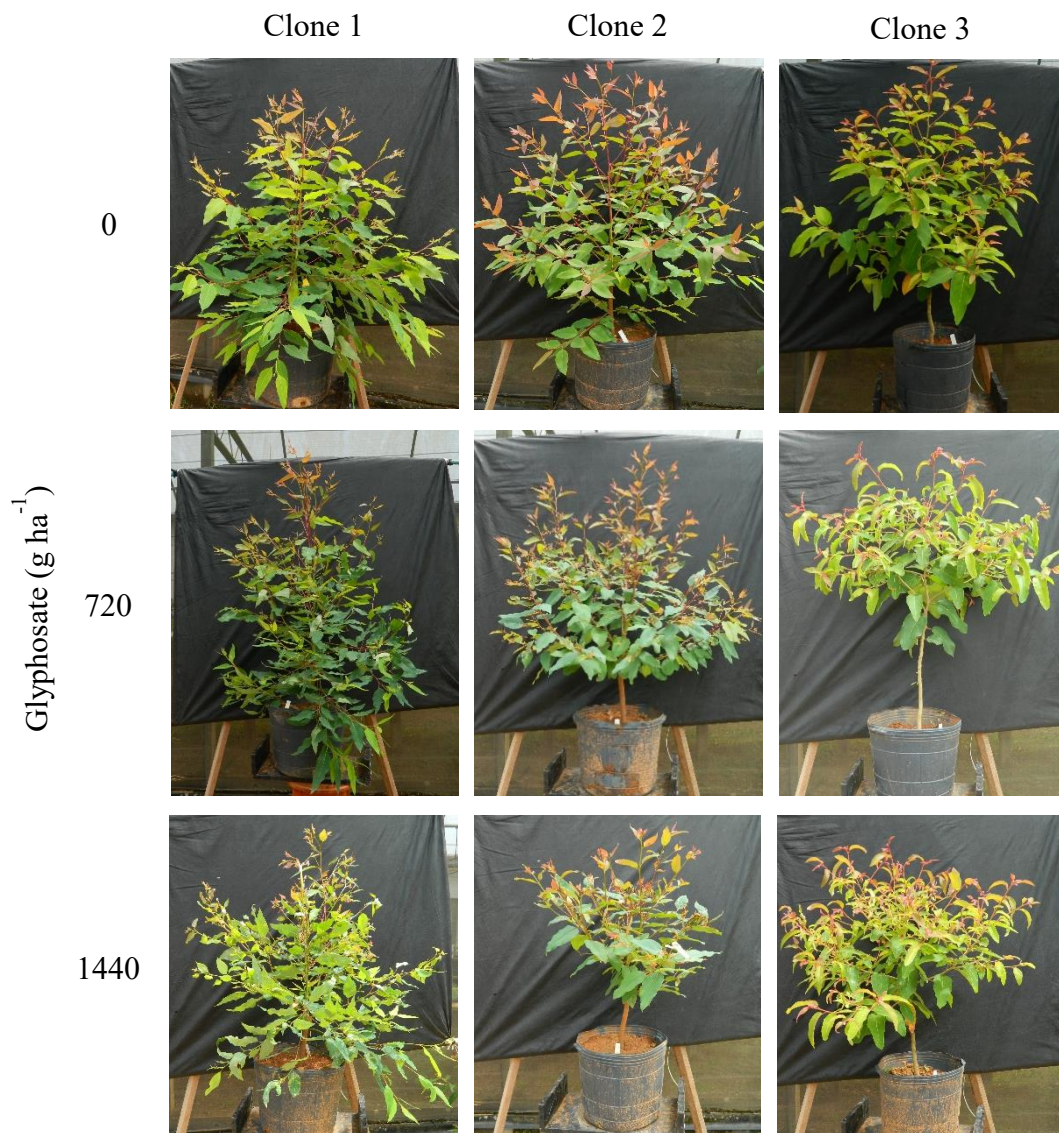


Figura 3 – Plantas de eucalipto, clones 1; 2 e 3 com aplicação de 0; 720 e 1440 g ha⁻¹ de glyphosate e 2 L ha⁻¹ de Fertiactyl em mistura no tanque.

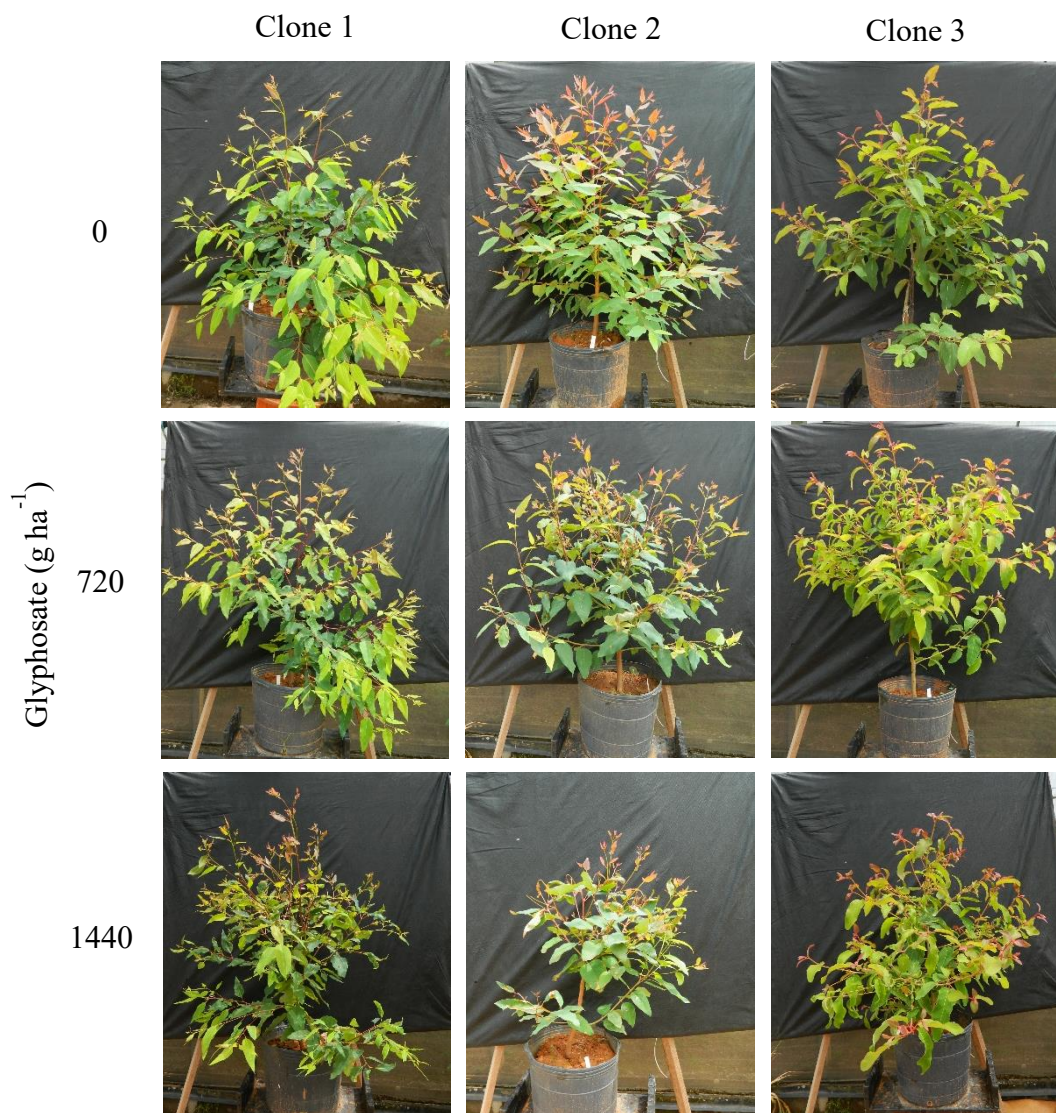


Figura 4 – Plantas de eucalipto, clones 1; 2 e 3 com aplicação de 0; 720 e 1440 g ha⁻¹ de glyphosate e 4 L ha⁻¹ de Fertiactyl em mistura no tanque.

O incremento em altura diminuiu com o aumento das doses de glyphosate em ausência do Fertiactyl. Com a adição de Fertiactyl houve maior incremento de altura nas doses 2,12 e 2,67 L ha⁻¹ para os clones 2 e 3, respectivamente, na ausência de glyphosate. Para o clone 1, o incremento foi linear e maior conforme o aumento da dose do Fertiactyl, de forma que a dose 4 L ha⁻¹ de Fertiactyl em ausência de glyphosate teve 76,9 cm de incremento (Figura 5).

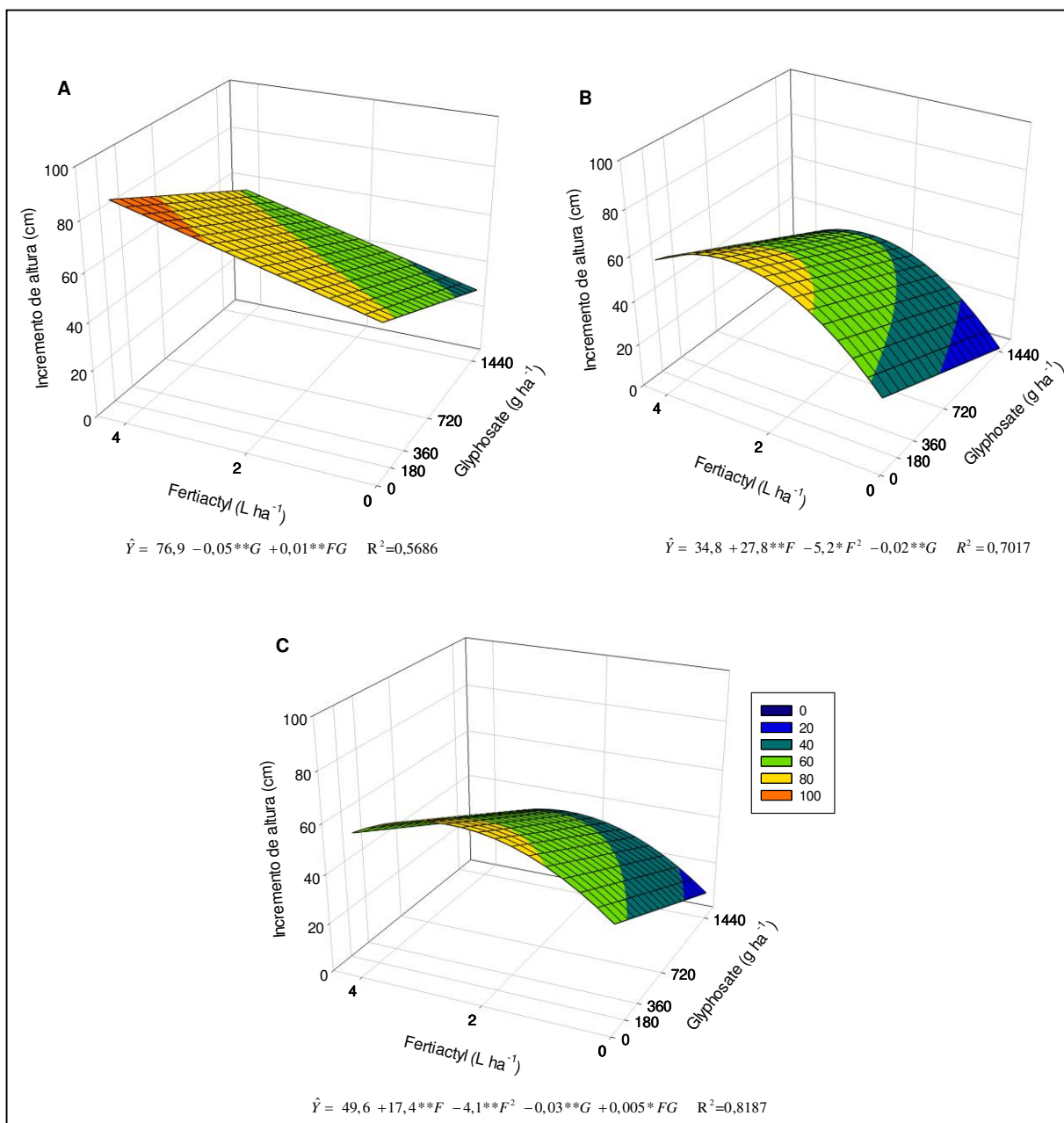


Figura 5 – Estimativa do incremento em altura de plantas de eucalipto, clones 1 (A), 2 (B) e 3 (C), submetidos à aplicação de glyphosate em mistura com Fertiactyl, aos 50 DAA. (* e ** significativo a 1 % e 5 % de probabilidade, respectivamente).

Com aumento das doses de glyphosate, em ausência do Fertiactyl, o incremento no diâmetro foi menor e de forma linear para os clones 2 e 3; enquanto que, para o clone 1, o incremento máximo no diâmetro foi de 8,3 mm, em ausência do glyphosate e Fertiactyl, e menor de acordo com aumento das doses de glyphosate. Com a adição do Fertiactyl à calda houve proteção das plantas de eucalipto e os resultados obtidos foram superiores nesta característica para os clones 1, 2 e 3 (Figura 6).

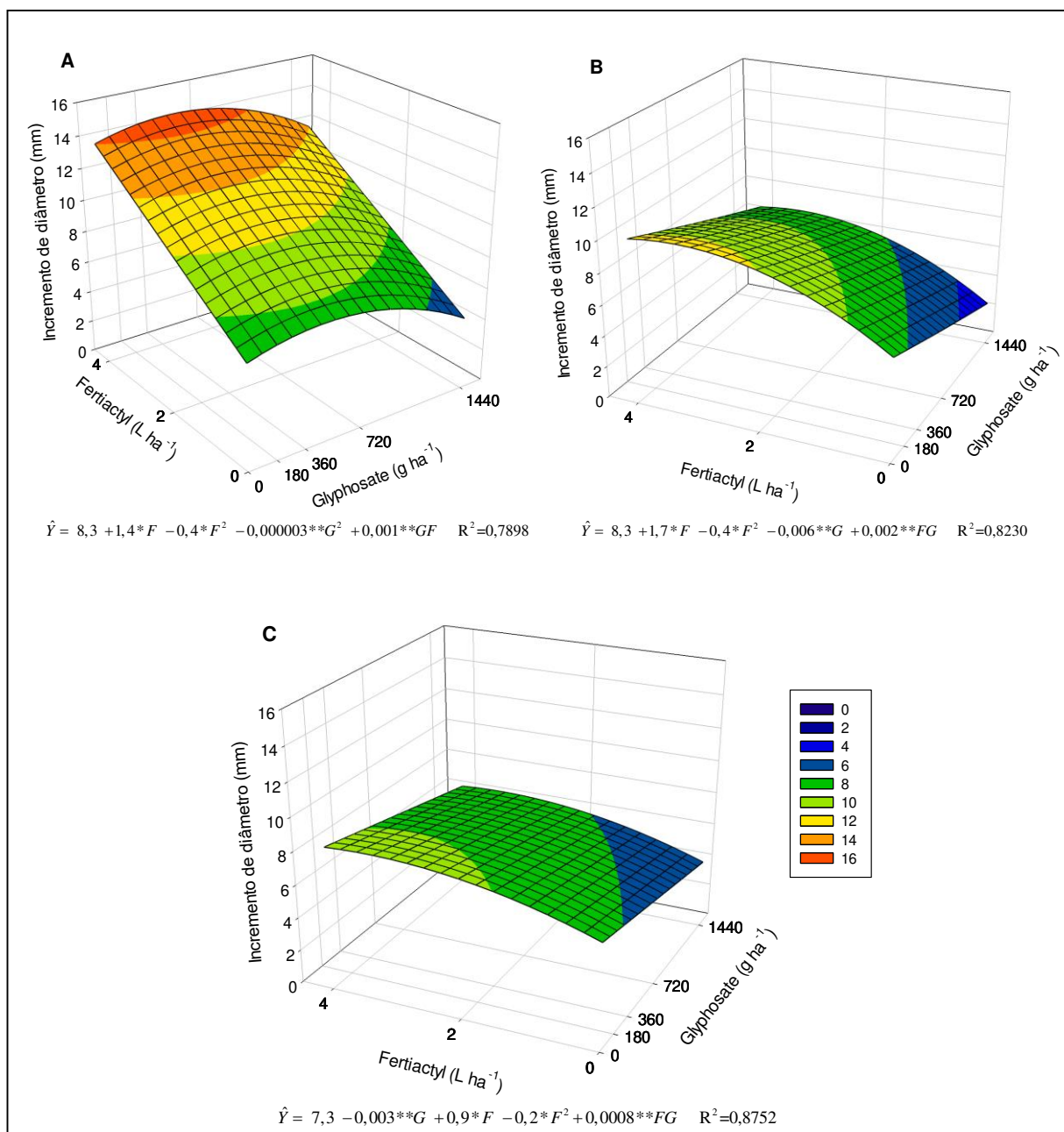


Figura 6 – Estimativa do incremento em diâmetro de caule de eucalipto, clones 1 (A), 2 (B) e 3 (C), submetidos à aplicação de glyphosate em mistura com Fertiactyl, aos 50 DAA. (* e ** significativo a 1 % e 5 % de probabilidade, respectivamente).

A área foliar e a matéria seca da parte aérea seguiram a mesma tendência do incremento de altura e de diâmetro, sendo reduzida de acordo com aumento das doses de glyphosate em ausência do Fertiactyl (Figuras 7 e 8, respectivamente). Vários autores observaram o decréscimo quantitativo no eucalipto devido à deriva de glyphosate aplicado isoladamente (PEREIRA et al., 2011; COSTA et al., 2012; CARVALHO et al., 2015; CASTRO et al., 2016). A adição do Fertiactyl à calda protegeu os três clones estudados e os resultados foram superiores à ausência do Fertiactyl nestas características.

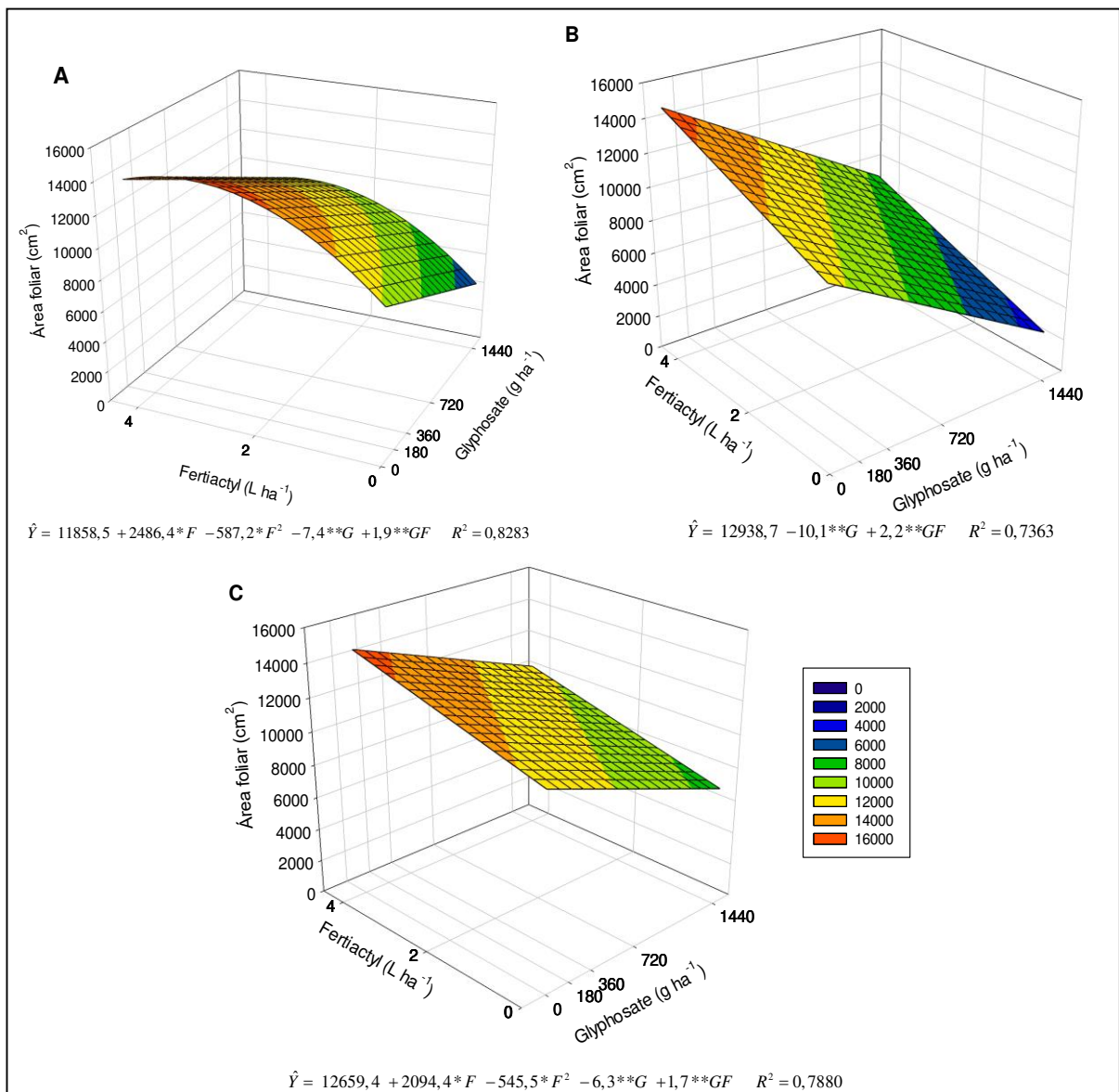


Figura 7 – Estimativa da área foliar de plantas de eucalipto, clones 1 (A), 2 (B) e 3 (C), submetidos à aplicação de glyphosate em mistura com Fertiactyl, aos 50 DAA. (* e ** significativo a 1 % e 5 % de probabilidade, respectivamente).

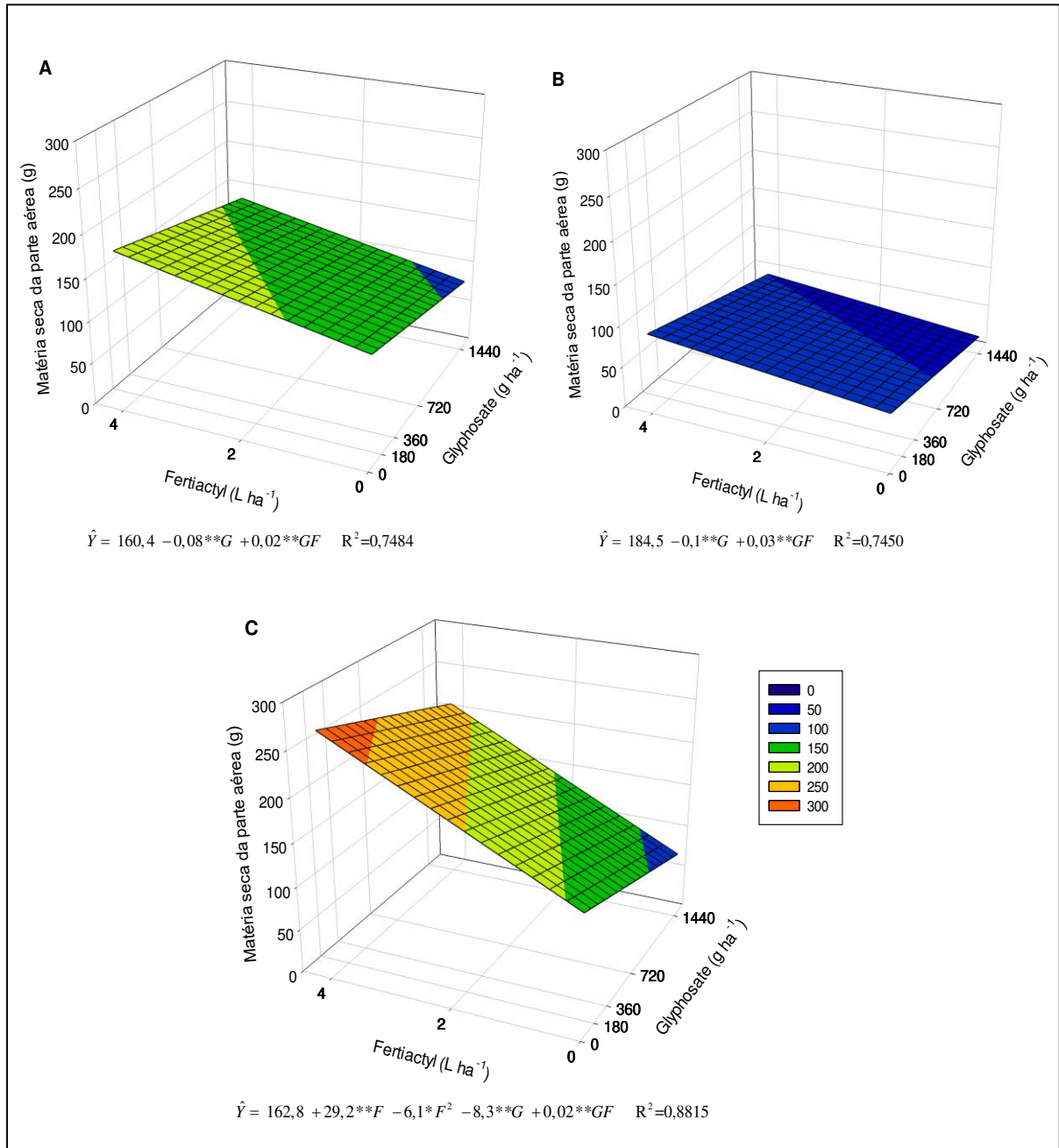


Figura 8 – Estimativa da matéria seca da parte aérea de plantas de eucalipto, clones 1 (A), 2 (B) e 3 (C), submetidos à aplicação de glyphosate em mistura com Fertiactyl, aos 50 DAA. (* e ** significativo a 1 % e 5 % de probabilidade, respectivamente).

Os resultados deste trabalho corroboram com Machado et al. (2017a, 2017b, 2017c), que também encontraram maior tolerância do eucalipto ao glyphosate em presença do Fertiactyl. De modo geral, o glyphosate aplicado de forma isolada promoveu intoxicação nas plantas de eucalipto e foram observados sintomas como cloroses, necroses foliares, enrolamento de folhas e superbrotção, similar ao descrito por Tuffi Santos et al. (2005) e (2007) (Figura 2, 3 e 4). Após absorvido pelas plantas, o glyphosate é translocado através dos

tecidos vasculares até o seu o sítio de ação (SATCHIVI et al., 2000), pois inibe a rota do ácido chiquímico que bloqueia a produção de aminoácidos aromáticos essenciais, fenilalanina, tirosina e triptofano.

A inibição da 5-enolpiruvilshikimate-3-fosfato sintase (EPSPs) pelo glyphosate leva ao acúmulo de altos níveis de chiquimato nos vacúolos, sendo intensificado pela perda de controle do fluxo de carbono na rota (VELINI, 2009). Cerca de 35 % de toda massa das plantas estão relacionadas aos derivados desta rota (KRUSE et al., 2000), podendo ocasionar danos celulares irreversíveis (SILVA et al., 2003) e até mesmo a morte de plantas em poucos dias.

Com aplicação de 180 g ha⁻¹ de glyphosate houve uma pequena injúria nos três clones nas primeiras avaliações, mas que foram totalmente recuperadas aos 50 DAA. Semelhante ao encontrado por Tuffi Santos et al. (2007) que também observaram recuperação de plantas de eucalipto ao receberem a dose 172,8 g ha⁻¹ de glyphosate, aos 45 DAA. Esta recuperação pode ser devido à metabolização do herbicida através de enzimas como a glutamina-s-transferase (FRANÇA et al., 2013). Tal enzima é capaz de conjugar a molécula do glyphosate com glutamina diminuindo o poder de promover toxidez nas plantas (FRANÇA et al., 2013).

As plantas de eucalipto, que receberam o glyphosate, em ausência do Fertiacetyl, apresentaram menor incremento de altura (Figura 5). Este declínio do crescimento pode ser devido à inibição da biossíntese de aminoácidos aromáticos, essenciais à síntese de proteínas e precursores de metabólitos secundários importantes para o crescimento das plantas (JAWORSKI, 1972; HOLLANDER & AMRHEIN, 1980; AMRHEIN et al., 1980; TZIN & GALILI, 2010). A inibição do crescimento pode ser atribuída ao glyphosate uma vez que reduz o transporte de auxina (BAUR, 1979).

Os clones de eucalipto tiveram diferentes níveis de sensibilidade ao glyphosate, conforme relatado por Tuffi Santos et al. (2009). A sensibilidade diferencial pode estar relacionada à absorção mais baixa de glyphosate pelo clone (MACHADO et al., 2009). De acordo com Monquero et al. (2004) e Carvalho et al. (2012) a absorção do glyphosate está relacionada à espessura e à composição das cutículas foliares de cada espécie, o que pode afetar a retenção e a assimilação do herbicida.

A absorção e a duração desse processo dependente da idade da planta, das condições ambientais, da concentração do herbicida em contato com a planta e do surfactante (SILVA et al., 2007). Após absorvido, a translocação do glyphosate está associada ao fluxo de carboidratos de órgãos que atuam como fontes para os demais, tidos como drenos, e ocasiona acúmulo do herbicida nos ápices das partes aéreas e de raízes (MCALLISTER & HADERLIE, 1985).

Em presença do Fertiactyl, os três clones de eucalipto tiveram menor intoxicação de glyphosate similar ao encontrado por Machado et al. (2017a; 2017b; 2017c). Além do mais, mesmo o clone 2, que foi o mais sensível, submetido à dose mais alta de glyphosate (1440 g ha⁻¹), com aplicação de 2 L ha⁻¹ de Fertiactyl em mistura tiveram fitotoxicidade máxima de 15,67 %. Segundo Tuffi Santos et al. (2007), plantas de eucalipto com níveis de intoxicação inferior a 21 %, após submetidas à deriva de glyphosate, não tiveram crescimento volumétrico de madeira comprometido aos 360 AA.

Essa capacidade do Fertiactyl de proteger as plantas contra a ação do glyphosate também foi demonstrada por Nascimento (2018), em plantas jovens de café; todavia, é necessário que estes produtos sejam aplicados em mistura no tanque. Segundo Costa (2017), na aplicação do Fertiactyl em mistura ao glyphosate, as plantas de eucalipto tiveram altura 35,8 % superior às que receberam aplicação separada desses produtos evidenciando, mais uma vez, a importância da mistura em tanque.

Os clones 3 e 1 foram menos sensíveis e tiveram reduções na matéria seca da parte aérea de 78,72 e 77,73 %, respectivamente, com a aplicação de 1440 g ha⁻¹ do glyphosate (Figura 8). Carvalho et al. (2015) avaliaram quatro clones de eucalipto (C219, GG100, I144 e I224 – *E. grandis* x *E. urophylla*) submetidos à exposição de doses de glyphosate. Estes autores concluíram que os clones C219 e I224 foram menos suscetíveis ao glyphosate, e as doses necessárias para reduzir a matéria seca em 50 % foram de 237,5 e 313,5 g ha⁻¹, respectivamente. Para Tuffi Santos et al. (2009) o clone de *E. urophylla* foi mais tolerante que o *E. urograndis* e *E. grandis*, respectivamente. Eles observaram que o glyphosate alterou a espessura e a proporção dos tecidos das lâminas foliares, sendo as maiores alterações observadas no parênquima paliçádico, indicando que essas diferenças morfológicas podem ser a causa da tolerância diferencial aos herbicidas entre os três clones estudados. Outros trabalhos mostraram que a tolerância de biótipos ao glyphosate podem ser devido à penetração ou translocação diferencial (SANDBERG et al., 1980; SATICHIVI et al., 2000; MONQUERO et al., 2004; TUFFI SANTOS et al., 2009).

A proteção do Fertiactyl pode ser interessante no manejo de plantas daninhas da eucaliptocultura uma vez que os danos ocasionados pela deriva de glyphosate podem promover heterogeneidade e acarretar competição intraclonal desfavorável para plantas de eucalipto que tiveram seu crescimento afetado pelo herbicida. Além disto, os programas de melhoramento genético têm buscado qualidade da madeira, que pode ser influenciada de forma indesejada

pelos efeitos do glyphosate, já que pode haver alterações na produção de lignina em plantas tratadas com esse herbicida (RIZZARDI et al., 2003).

4. CONCLUSÕES

Os clones possuem diferentes níveis de suscetibilidade ao glyphosate, sendo a ordem crescente de tolerância clone 2, 1 e 3, respectivamente. O Fertiactyl apresenta-se como promissor para atuar na proteção dos três clones avaliados contra a ação do glyphosate.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AMRHEIN, N.; DEUS, B.; GEHRKE, P.; STEINRÜCKEN, H. C. The site of the inhibition of the shikimate pathway by glyphosate II. Interference of glyphosate with chorismate formation in vivo and in vitro. **Plant Physiology**, v.66, p.830-834, 1980.
- BARROS, N. F.; NOVAIS, R. F. Eucalipto. In: RIBEIRO, A. C.; GUIMARÃES, P. T. G.; ALVAREZ V.; V. H. Recomendações para uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais: **5ª aproximação**. Comissão de Fertilidade do Solo do Estado de Minas Gerais, p.303-305, 1999.
- BAUR, J. R. Effect of glyphosate on auxin transport in corn and cotton tissues. **Plant Physiology**, v.63, p.882-886, 1979.
- CARVALHO, L. B.; ALVES, P. L.; DA C. A.; COSTA, F. R. Differential response of clones of eucalypt to glyphosate. **Revista Árvore**, v.39, p.177-187, 2015.
- CARVALHO, L. B.; ALVES, P. L. C. A.; GONZALEZ-TORRALVA, F.; CRUZ-HIPOLITO, H. E.; ROJANO-DELGADO, A. M.; DE PRADO, R.; GIL-HUMANES, J.; BARRO, F.; DE CASTRO, M. D. L. Pool of resistance mechanisms to glyphosate in *Digitaria insularis*. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v.60, p.615-622, 2012.
- CASTRO, E. B.; CARBONARI, C. A.; VELINI, E. D.; BELAPART. D.; GOMES, G. L. G. C.; BEN, R. Absorção, translocação e efeitos metabólicos do glyphosate em plantas de eucalipto. **Scientia Forestalis (IPEF)**, v.44, p.719-727, 2016.
- CONSTANTIN, J.; OLIVEIRA JR., R. S.; GHENO, E. A.; BIFFE, D. F.; BRAZ, G. B. P.; WEBER, F.; TAKANO, H. K. Prevention of yield losses caused by glyphosate in soybeans with biostimulant. **African Journal of Agricultural Research**, v.11, p.1601-1607, 2016.
- COSTA, A. H. *Elementos de tecnologia de aplicação em efeito protetor do Fertiactyl contra deriva de glyphosate em plantas de eucalipto*. 2017. 19 f. **Trabalho de Conclusão de Curso** - Universidade Federal de Viçosa, UFV, 2018.
- COSTA, A. C. P. R.; COSTA, N. V.; PEREIRA, M. R. R.; MARTINS, D. Efeito da deriva simulada de glyphosate em diferentes partes da planta de *Eucalyptus grandis*. **Ciências Agrárias**, v.33, p.1663-1672, 2012.
- FRANÇA, A. C. CARVALHO, F. P.; FIALHO, C. M. T.; D'ANTONINO, L.; SILVA, A. A.; SANTOS, J. B. I; FERREIRA, L. R. Deriva simulada do glyphosate em cultivares de café Acaia e catucaí. **Planta Daninha**, v.31, p.443-451, 2013.
- FREITAS, G. A.; WEBER, F.; SANTOS, A. C. M.; CARNEIRO, J. S. S.; SILVA, R. R. Substância húmica na redução da fitotoxicidade do herbicida Roundup Ready na cultura da soja. **Revista em Agronegócio e Meio Ambiente**, v.11, p.15-21, 2018.
- GRESSHOFF, P. M. Growth inhibition by glyphosate and reversal of its action by phenylalanine and tyrosine. **Functional Plant Biology**, v.6, p.177-185, 1979.

- HOLLANDER, H., AMRHEIN, N. The site of the inhibition of the shikimate pathway by glyphosate I. Inhibition by glyphosate of phenylpropanoid synthesis in buckwheat (*Fagopyrum esculentum* Moench). **Plant Physiology**, v.66, p.823-829, 1980.
- JAWORSKI, E. G. Mode of action of N-phosphonomethylglycine. Inhibition of aromatic amino acid biosynthesis. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v.20, p.1195-1198, 1972.
- KRUSE, N. D.; MICHELANGELO, M. T.; VIDAL, A. V. Herbicidas Inibidores da EPSPs: Revisão de literatura. **Revista Brasileira de Herbicidas**, v.1, p.139-46, 2000.
- MACHADO, A. F. L.; FERREIRA, L. R.; SANTOS, L. D. T.; SANTOS, J. B.; FERREIRA, F. A.; VIANA, R. G. Absorção, translocação e exsudação radicular de glyphosate em clones de eucalipto. **Planta Daninha**, v.27, p.549-554, 2009.
- MACHADO, M. S.; FERREIRA, L. R. DE PAULA, J. L.; PEREIRA, G. A. M.; GONÇALVES, V. A. Use of liquid fertilizer to reduce the phytotoxic effects of glyphosate on eucalyptus. **Revista Caatinga**, v.30, p.730-737, 2017a.
- MACHADO, M. S.; FERREIRA, L. R.; PEREIRA, G. A. M.; DE PAULA, J. L.; PAIXÃO, G. P.; FREITAS, P. H. M. Fertiactyl Pós® como protetor do eucalipto submetido a aplicação de glyphosate. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias** [en línea], 2017b.
- MACHADO, M. S.; FERREIRA, L. R.; PEREIRA, G. A. M.; GONÇALVES, V. A.; PAIXÃO, G. P. Protective effect on eucalyptus plants and signal grass control with a tank mixture of glyphosate and liquid fertilizer. **Planta Daninha**, v.35, p.1-8, 2017c.
- MCALLISTER, R.; HABERLIE, L. L. Translocation of ¹⁴C-glyphosate and ¹⁴CO₂-labeled photoassimilates in Canada thistle (*Cirsium arvense*). **Weed Science**, v.33, p.153-159, 1985.
- MONQUERO, P. A.; CHRISTOFFOLETI, P. J.; OSUNA, M. D.; DE PRADO, R. A. Absorção, translocação e metabolismo do glyphosate por plantas tolerantes e suscetíveis a este herbicida. **Planta Daninha**, v.22, p.445-451, 2004.
- NASCIMENTO, J. L. M. *Efeito do Fertiactyl na proteção de plantas de café atingidas por herbicidas e no controle de plantas daninhas*. 2018. 59 f. **Dissertação - Mestrado em Fitotecnia** – Universidade Federal de Viçosa, UFV, 2018.
- PEREIRA, M. R. R.; RODRIGUES, A. C. P.; CAMPOS, C. F.; MELHORANÇA FILHO, A. L.; MARTINS, D. Absorção de subdoses glyphosate aplicadas em diferentes locais de plantas de eucalipto. **Revista Árvore**, v.35, p.589-594, 2011.
- RIZZARDI, M. A.; FLECK, N. G.; AGOSTINETTO, D.; BALBINOT JR, A. A. R. Ação dos herbicidas sobre o mecanismo de defesa das plantas aos patógenos. **Ciência Rural**, v.33, p.957-965, 2003.

- SANDBERG, C. L.; MEGGITT, W. F.; PENNER, D. Absorption, translocation and metabolism of ^{14}C -glyphosate in several weed species. **Weed Research**, v.20, p.195-200, 1980.
- SANTOS, J. B.; FERREIRA, E. A.; KASUYAB, M. C.; SILVAA, A. A.; PROCÓPIO, S. O. Tolerance of *Bradyrhizobium* strains to glyphosate formulations. **Crop Protection**, v.24, p.543–547, 2005.
- SATCHIVI, N. M., WAX, L. M., STOLLER, E. W.; BRISKIN, D. P. Absorption and translocation of glyphosate isopropylamine and trimethylsulfonium salts in *Abutilon theophrasti* and *Setaria faberi*. **Weed Science**, v.48, p.675-679, 2000.
- SERCILOTO, C. M.; CARVALHO, M. E. A.; CASTRO, P. R. DE C. E. Mitigation of glyphosate side effects on non-target plants: use of different agrochemicals as protectants in common bean plants. **Ambiência**, v.10, p.615–623, 2014.
- SILVA, M. D.; PERALBA, M. C. R.; MATTOS, M. L. T. Determinação de glifosato e ácido aminometilfosfônico em águas superficiais do Arroio Passo do Pilão. **Pesticidas: Revista Ecotoxicologia e Meio Ambiente**, v.13, p.19-28, 2003.
- SILVA, J. F.; SILVA, J. F.; FERREIRA, L. R. FERREIRA, F. A. Herbicida: absorção, translocação, metabolismo, formulação e misturas. In: SILVA, A. A.; SILVA, J. F. **Tópicos em manejo de plantas daninhas**, 367 p., 2007.
- SOCIEDADE BRASILEIRA DA CIÊNCIA DAS PLANTAS DANINHAS (SBCPD). Procedimentos para instalação, avaliação e análise de experimentos com herbicidas. **Londrina**, 42p., 1995.
- TIMAC Agro. Dossiê Fertiactyl Pós® - **Dossiê Técnico-Científico**. Disponível em: <<http://www.br.timacagro.com/timac/Portugues/institucional/index.php?acao=detalhar&cod=25>>. Acesso em: 06 jun. 2017.
- TUFFI SANTOS, L. D.; FERREIRA, F. A.; FERREIRA, L. R.; DUARTE, W. M.; TIBURCIO, R. A. S.; SANTOS, M. V. Crescimento do eucalipto sob efeito da deriva de glyphosate. **Planta Daninha**, v.25, p.133-137, 2007.
- TUFFI SANTOS, L. D.; FERREIRA, F. A.; FERREIRA, L. R.; DUARTE, W. M.; TIBURCIO, R. A. S.; SANTOS, M. V. Intoxicação de espécies de eucalipto submetidas à deriva do glyphosate. **Planta Daninha**, v.24, p.359-364, 2006.
- TUFFI SANTOS, L. D.; FERREIRA, F. A.; MEIRA, R. M. S. A.; BARROS, N. F.; FERREIRA, L. R.; MACHADO, A. F. L. Crescimento e morfoanatomia foliar de eucalipto sob efeito de deriva do glyphosate. **Planta Daninha**, v.23, p.133–142, 2005.
- TUFFI SANTOS, L. D.; SANT’ANNA-SANTOS, B. F.; MEIRA, R. M. S. A.; FERREIRA, F. A.; TIBURCIO, R. A. S.; MACHADO, A. F. L. Leaf anatomy and morphometry in three eucalypt clones treated with glyphosate. **Brazilian Journal Biology**, v.69, p.129-136, 2009.

- TZIN, V.; GALILI, G.; New Insights into the Shikimate and Aromatic Amino Acids Biosynthesis Pathways in Plants. **Molecular Plant**, v.3, p.956–972, 2010.
- VARGAS, L.; SILVA, A. A; BORÉM, A.; REZENDE, S. T.; FERREIRA, F. A.; SEDIYAMA, T. **Resistência de plantas daninhas a herbicidas**, 131p., 1999.
- VELINI, E. D. Modo de ação do glyphosate. In: VELINI, E. D.; MESCHEDE, D.; CARBONARI, C. A. TRINDADE, M. L. B. Glyphosate. **Fepaf**, 439p., 2009.
- ZOBIOLE, L. H. S.; OLIVEIRA JR., R. S.; CONSTANTIN, J.; BIFFE, D. F. Prevenção de injúrias causadas por glyphosate em soja RR por meio do uso de aminoácido. **Planta Daninha**, v.29, p.195–205, 2011.

CAPITULO 2 - Efeito da mistura de boro e Fertiactyl® na redução da intoxicação de plantas de eucalipto atingidas com glyphosate

RESUMO – A deriva das pulverizações com glyphosate em florestas comerciais de eucalipto frequentemente atingem as mudas e afetam seu desenvolvimento. Existe a hipótese que a adição de boro junto ao Fertiactyl pode reduzir a toxicidade do glyphosate em plantas de eucalipto, principalmente, a morte dos ponteiros. Assim, objetivou-se avaliar o efeito do boro e do Fertiactyl em mistura no tanque com glyphosate na redução da toxicidade de plantas de eucalipto e sobre a morte de gemas apicais provocada por glyphosate. O trabalho foi conduzido em esquema fatorial 3x2x2, com três doses de glyphosate (0; 720 e 1440 g ha⁻¹), presença e ausência de Fertiactyl (3 L ha⁻¹) e ausência e presença de boro (1 kg ha⁻¹). A aplicação foi realizada de modo a atingir dois terços inferiores da copa das plantas com aproximadamente 40 cm de altura. Aos 53 dias após a aplicação foram avaliadas as características morfológicas: fitotoxicidade, altura de planta, diâmetro de caule, matéria seca da parte aérea e porcentagem de plantas com morte da gema apical. Com aplicação do Fertiactyl, sem o boro, houve menor intoxicação e maior altura de plantas de eucalipto em relação às que receberam apenas o glyphosate. Para as características diâmetro de caule e matéria seca da parte aérea o efeito do Fertiactyl, sem o boro, foi significativo apenas na dose 1440 g ha⁻¹ de glyphosate. O boro diminuiu a intoxicação por ação do glyphosate nas plantas de eucalipto, porém, os efeitos do boro ou Fertiactyl isolados, foram insuficientes para o crescimento normal das plantas sob aplicação de glyphosate. Todavia, quando o boro foi adicionado à calda juntamente com Fertiactyl, verificou-se que não houve morte das gemas apicais do eucalipto em ambas as doses glyphosate estudadas. Portanto, conclui-se que a adição de boro ao Fertiactyl diminui a intoxicação em plantas de eucalipto por ação do glyphosate e evita a morte apical dos ponteiros.

Palavras-chave: Bioestimulante. Controle químico. *Safener*.

ABSTRACT - Drift from glyphosate applications in commercial eucalyptus plantations often intoxicates seedlings affecting their development. There is a hypothesis that the addition of boron together with Fertiactyl may reduce the toxicity of glyphosate in eucalyptus plants, mainly, the death of the apical buds. Thus, the objective was to evaluate the effect of boron and Fertiactyl mixed in tank with glyphosate in reducing the toxicity of eucalyptus plants and on the death of apical buds caused by glyphosate. The work was conducted in a 3x2x2 factorial scheme, with three doses of glyphosate (0, 720 and 1440 g ha⁻¹), presence and absence of Fertiactyl (3 L ha⁻¹) and absence and presence of boron (1 kg ha⁻¹). The application was carried out in order to reach the lower two thirds of the canopy of the plants, approximately at 40 cm high. At 53 days after application, the morphological characteristics phytotoxicity, plant height, stem diameter, shoot dry matter and percentage of plants with apical bud death were evaluated. In the application of glyphosate + Fertiactyl, without boron, there was less intoxication and greater height of eucalyptus plants compared to those that received only glyphosate. For the stem diameter and shoot dry matter characteristics, the effect of Fertiactyl, without boron, was significant only at the 1440 g ha⁻¹ dose of glyphosate. Boron reduced glyphosate intoxication in eucalyptus plants; however, the effects of boron or isolated Fertiactyl were insufficient to protect eucalyptus plants from the glyphosate drift. However, when boron was added to the syrup together with Fertiactyl, it was found that there was no death of the apical buds of the eucalyptus in both studied glyphosate doses. In conclusion, the addition of boron to Fertiactyl decreases the intoxication caused by glyphosate drift in eucalyptus plants preventing death of the apical buds.

Keywords: Biostimulant. Chemical control. Safener.

1. INTRODUÇÃO

As áreas de florestas de eucalipto cultivadas para fins industriais no Brasil totalizaram 5,7 milhões de hectares, localizados, principalmente, nos Estados de Minas Gerais (24,0 %), São Paulo (17,0 %) e Mato Grosso do Sul (16,0 %) (IBA, 2019). Estimativas da Organização das Nações Unidas para Agricultura e Alimentação (FAO) indicam aumento superior à 40 % na demanda por madeira para uso industrial nos próximos 35 anos, o que exigiria aumento de cerca de 210 milhões de hectares nas áreas de eucalipto considerando os atuais níveis de produtividade (IBA, 2015). Esta ampliação da demanda implica em diversos desafios, dentre eles, manutenção e incremento da produtividade em áreas atuais de cultivo.

O manejo de plantas daninhas é de vital importância na eucaliptocultura e apresenta reflexos diretos no rendimento produtivo e custos de produção (MACHADO et al., 2010), sendo esta uma medida de fundamental importância para evitar ou minimizar as perdas por competição com plantas daninhas.

O manejo químico por meio do glyphosate é amplamente utilizado devido à eficiência de controle e menor custo. Considerado não seletivo e por ter amplo espectro de ação, esse herbicida é aplicado com jato dirigido, visando atingir somente plantas daninhas. Entretanto, é comum ocorrer deriva e, conseqüentemente, contato com a cultura do eucalipto, o que proporciona sintomas de intoxicação caracterizados por enrolamento das folhas, superbrotações, e/ou cloroses seguidas de necrose. O contato com o glyphosate pode provocar morte de plantas mais jovens, ou causar intoxicações que afetam a produtividade (TUFFI SANTOS et al., 2006, 2007, 2009).

Vários pesquisadores têm estudado o potencial uso do Fertiactyl como protetor a fim de minimizar ou evitar os danos promovidos pelo glyphosate (SANTOS et al., 2015; CONSTANTIN et al., 2016; MACHADO et al., 2017a; MACHADO et al., 2017b; FREITAS et al., 2018). Este produto é um fertilizante foliar da TIMAC Agro, composto por uma fração mineral e outra orgânica contendo ácidos húmicos e fúlvicos, aminoácidos glicina-betaína e o precursor hormonal zeatina (TIMAC AGRO, 2017). Segundo Machado et al. (2017a, 2017b, 2017c) o uso do Fertiactyl em mistura ao glyphosate nas doses corretas tem potencial de minimizar os danos causados pela deriva de glyphosate em plantações de eucalipto.

Outro fator a ser considerado é o aspecto nutricional, que pode ser limitante ao desenvolvimento do eucalipto, sobretudo, o boro. É o micronutriente que proporciona a maior limitação na produtividade do eucalipto (GONÇALVES et al., 2015). Segundo estes autores, solos intemperizados e com baixo teor de matéria orgânica, sob longos períodos com deficiência

hídrica, são os fatores que predispõem à deficiência de boro. A seca de ponteiro é o sintoma mais comum da deficiência deste nutriente e, posterior à necrose na porção apical dos galhos, pode ocorrer morte dos ramos das árvores (RAMOS et al., 2009).

No solo, o principal mecanismo de transporte do boro é por fluxo de massa. No entanto, durante os períodos de seca, devido ao baixo fluxo de transpiração da planta, a absorção do boro pelo eucalipto é severamente afetada (MATTIELLO et al., 2009). Pode ocorrer necrose do meristema apical, assim como, desenvolvimento excessivo dos meristemas laterais em plantas de eucalipto com deficiência de boro (ALTHOFF et al., 1991). Além disso, há evidências de que a deficiência pode prejudicar funções estomáticas (WIMMER & EICHERT, 2013), que agrava o estresse induzido pela seca.

A adição de ácido bórico na solução contendo os herbicidas foi estudada por Brighenti et al. (2015) e concluíram que a aplicação de ácido bórico junto com herbicidas é adequada para evitar a secagem do ponteiro em plantas de eucalipto.

Considerando que um dos principais problemas da intoxicação de plantas de eucalipto por glyphosate é a perda da dominância apical devido à morte dos ponteiros e que o boro tem efeito preventivo nesse tipo de anomalia, lançou-se a hipótese de que adição do boro ao Fertiactyl poderia minimizar esse efeito do glyphosate nos ponteiros de plantas jovens de eucalipto. Portanto, objetivou-se avaliar o efeito de boro associado ao Fertiactyl na redução da toxicidade de glyphosate em plantas de eucalipto.

2. MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi realizado em condição de céu aberto, na Universidade Federal de Viçosa, usando plantas de eucalipto cultivadas em vasos de 10 dm³ preenchidos com solo proveniente da região de Viçosa-MG, corrigido e adubado conforme a 5^a aproximação (BARROS & NOVAIS, 1999), segundo a análise de solo (Quadro 1).

Quadro 1 - Características químicas e físicas do solo usado no experimento em Viçosa-MG

Análise química									
pH	P	K	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Al ³⁺	H+Al	SB	CTC (t)	CTC (T)
<i>H₂O</i>		<i>mg dm⁻³</i>							
6,53	5	73	4	0,5	0	1,2	4,69	4,69	5,89
V	m	MO	P-rem	Zn	Fe	Mn	Cu	B	
<i>%</i>		<i>dag kg⁻¹</i>	<i>mg L⁻¹</i>	<i>mg dm⁻³</i>					
79,6	0	2,02	15,5	29,28	67,9	41,5	3,23	0,2	
Análise física									
Argila		Silte		Areia		Classificação textural			
<i>%</i>						Muito argiloso			
61,2		6,4		32,4					

Análise realizada no Laboratório de análises de solos no Departamento de Solos da Universidade Federal de Viçosa. pH em água, KCl e CaCl - Relação 1:2,5. P - K - Fe - Zn - Mn - Cu - Extrator Mehlich 1. Ca²⁺ - Mg²⁺ - Al³⁺ - Extrator: KCl - 1 mol/L. H + Al - Extrator Acetato de Cálcio 0,5 mol/L – 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 por Bases m = Índice de Saturação por Alumínio. MO (Matéria Orgânica) = C. Org x 1,724 - Walkley-Black. P-rem = Fósforo Remanescente. B - Extrator água quente.

Foi utilizado o esquema fatorial 3x2x2, no delineamento inteiramente casualizado e três repetições. Foram avaliadas três doses de glyphosate (0, 720 e 1440 g ha⁻¹) na ausência e na presença de Fertiactyl (3 L ha⁻¹) na ausência e na presença de boro (1 kg ha⁻¹). Cada unidade experimental foi composta por um vaso com uma planta de eucalipto (híbrido de *Eucalyptus urophylla*), de aproximadamente 40 cm de altura. O clone fornecido pela empresa Suzano Papel e Celulose, por ser cultivado em grandes quantidades de áreas é tido como pouco suscetível ao glyphosate em relação aos clones usados pela empresa. O glyphosate utilizado foi o produto comercial Scout® (Glyphosate sal de amônio - 792,5 g Kg⁻¹), o Fertiactyl foi a formulação Fertiactyl Sweet® e ácido bórico (17 %, pH 4,5).

Os produtos foram aplicados, em mistura no tanque, por meio de um pulverizador costal, pressurizado a CO₂, pressão constante de 250 kpa, barra com duas pontas tipo leque TTI 11002 espaçadas de 0,5 m, calibrado para aplicar 150 L ha⁻¹, com jato direcionado de modo a evitar o contato da calda com o terço superior das plantas. A temperatura, umidade relativa do ar e velocidade do vento no momento da aplicação foram 29,9 °C, 40 % e 1,5 km h⁻¹, respectivamente. Após a aplicação dos tratamentos, as plantas ficaram sem o contato com água nas folhas por 24 horas, a fim de evitar a lavagem da calda aderida às folhas.

Aos 53 dias após aplicação (DAA) fez-se uma avaliação visual do nível de fitotoxicidade e determinou-se, também, altura de plantas, diâmetro de caule e matéria seca da parte aérea e porcentagem de plantas com morte da gema apical. A avaliação da fitotoxicidade foi realizada atribuindo notas de 0 a 100 %, sendo que 0 % corresponde a ausência de injúrias e 100 % à morte das plantas (SBCPD, 1995). A determinação da altura foi mensurada do solo até o ápice da planta e o diâmetro de caule (mm) medido com paquímetro a 1 cm do solo. O efeito dos tratamentos sobre a gema apical das plantas de eucalipto foi avaliado pela contagem do número de plantas que tiveram morte da gema apical para, em seguida, ser calculada a porcentagem de plantas com morte apical em relação a cada tratamento. Após essas avaliações, as plantas foram cortadas, acondicionadas em sacos de papel e levadas em estufa de circulação forçada de ar a 65 ± 3 °C até atingir massa constante para determinação da massa de matéria seca da parte aérea, em balança com precisão de duas casas decimais.

Os dados da porcentagem de morte apical foram analisados descritivamente e os demais foram submetidos à análise de variância a 5 % de probabilidade e, quando significativos, as médias foram comparadas pelo teste de Tukey ao nível de 5 % de significância.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Para todas as características analisadas houve efeito do glyphosate, Fertiactyl e da interação glyphosate x Fertiactyl. A interação glyphosate e boro foi significativa apenas para fitotoxicidade e diâmetro de caule, sendo o efeito do boro encontrado somente na característica fitotoxicidade. Não se observou efeito significativo para a interação Fertiactyl x boro (Tabela 1).

Tabela 1 - Resumo da análise de variância para as variáveis fitotoxicidade (Fito), altura de plantas (AP), diâmetro de caule (DC) e matéria seca da parte aérea (MSPA) em plantas de eucalipto em função das combinações de glyphosate, Fertiactyl e boro e os respectivos coeficientes de variação

FV	GL	Fito	AP	DC	MSPA
Glyphosate	2	8967,4 **	1469,2 **	28,5 **	6822,4 **
Fertiactyl	1	9344,4 **	1885,0 **	16,8**	2103,0 **
Boro	1	469,4 **	4,3 ns	0,1 ns	11,1 ns
Glyphosate x Fertiactyl	2	3254,9 **	693,2 **	21,7 **	1738,2 **
Glyphosate x boro	2	325,7**	21,7 ns	13,1**	100,1 ns
Fertiactyl x boro	1	177,8 ns	166,8 ns	0,2 ns	90,5 ns
Glyphosate x Fertiactyl x boro	2	63,2 ns	60,0 ns	3,9 ns	44,4 ns
Resíduo	24	56,9	47,0	1,2	75,0
CV (%)		28,6	8,6	7,8	11,7

Conforme o aumento da dose do glyphosate aplicado isoladamente ou em mistura ao Fertiactyl verifica-se uma intoxicação crescente nas plantas de eucalipto (Tabela 2). A presença do Fertiactyl diminuiu a fitotoxicidade de modo que a dose 720 g ha⁻¹ de glyphosate não obteve diferença em relação à testemunha. A dose 1440 g ha⁻¹ de glyphosate teve toxicidade superior em relação às doses 0 e 720 g ha⁻¹ na presença do Fertiactyl. Entretanto, a intoxicação foi inferior à aplicação desta mesma dose do herbicida de forma isolada, evidenciando o efeito protetor do Fertiactyl para as plantas de eucalipto, como citado por Machado et al. (2017b).

Tabela 2 – Valores médios de fitotoxicidade (%) do eucalipto aos 53 dias após aplicação dos tratamentos para as respectivas combinações de glyphosate e Fertiactyl

Glyphosate (g ha ⁻¹)	Fertiactyl			
	Ausência		Presença	
0	0,0	Ca	0,0	Ba
720	40,0	Ba	9,2	Bb
1440	87,5	Aa	21,7	Ab

Médias seguidas pelas mesmas letras maiúsculas nas colunas e minúsculas nas linhas não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5 % de probabilidade.

As plantas que receberam as doses de glyphosate, 720 e 1440 g ha⁻¹ em ausência do Fertiactyl tiveram altura de plantas inferiores às testemunhas; ao passo que, quando aplicado em mistura no tanque com o Fertiactyl a diferença não foi significativa (Tabela 3).

Tabela 3 – Valores médios de altura de plantas, diâmetro de caule e matéria seca da parte aérea de plantas eucalipto aos 53 dias após aplicação dos tratamentos para as respectivas combinações de glyphosate e Fertiactyl

Glyphosate (g ha ⁻¹)	Altura de plantas (cm)				Diâmetro de caule (mm)				Matéria seca da parte aérea (g)			
	Fertiactyl				Fertiactyl				Fertiactyl			
	Ausência		Presença		Ausência		Presença		Ausência		Presença	
0	93,7	Aa	90,7	Aa	15,5	Aa	15,2	Aa	99,7	Aa	98,9	Aa
720	62,2	Bb	86,8	Aa	14,9	Aa	14,8	Aa	68,1	Ba	71,8	Ba
1440	60,9	Bb	82,7	Aa	10,2	Bb	14,7	Aa	30,6	Cb	73,6	Ba

Médias seguidas pelas mesmas letras maiúsculas nas colunas e minúsculas nas linhas não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5 % de probabilidade.

O diâmetro de caule das plantas de eucalipto foi influenciado negativamente apenas na dose 1440 g ha⁻¹ de glyphosate em ausência do Fertiactyl (Tabela 3), sem efeito do boro (Tabela 1). O acúmulo de matéria seca da parte aérea das plantas de eucalipto foi menor com o aumento da dose de glyphosate aplicado isoladamente (Tabela 3) bem como encontrado por Castro et al. (2016). A adição do Fertiactyl à calda, embora tenha proporcionado menor redução nessa característica, não foi suficiente para eliminar o efeito do herbicida nas doses avaliadas. O boro não afetou essa característica (Tabela 1).

Analisando a interação glyphosate x boro, verificou-se que na presença de boro a intoxicação do herbicida na maior dose (1440 g ha⁻¹) foi menor; porém, insuficiente para o desenvolvimento normal da planta, o que pode ser observado também para o diâmetro do caule. Apesar do boro ter um efeito protetor, este efeito isolado é pequeno quando comparado ao Fertiactyl (Tabela 4).

Tabela 4 – Valores médios de fitotoxicidade e diâmetro de caule de plantas eucalipto aos 53 dias após aplicação dos tratamentos para as respectivas combinações de glyphosate e boro

Glyphosate (g ha ⁻¹)	Fitotoxicidade (%)				Diâmetro de caule (mm)			
	Boro				Boro			
	Ausência		Presença		Ausência		Presença	
0	0,0	Ca	0,0	Ca	16,5	Aa	14,3	ABb
720	25,8	Ba	23,3	Ba	14,6	Ba	15,1	Aa
1440	64,2	Aa	45,0	Ab	11,5	Cb	13,5	Ba

Médias seguidas pelas mesmas letras maiúsculas nas colunas e minúsculas nas linhas não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5 % de probabilidade.

As plantas que receberam aplicação de glyphosate em ausência do Fertiactyl tiveram morte de ponteiros independente da aplicação do boro (Tabela 5). Com a adição do Fertiactyl em mistura, foi menor a porcentagem de plantas de eucalipto com morte da gema apical promovido pelo glyphosate na dose de 720 g ha⁻¹. Todavia, na dose 1440 g ha⁻¹ o efeito protetor do Fertiactyl não foi suficiente para impedir a morte apical (Tabela 5). Essa proteção dos ponteiros do eucalipto aumentou consideravelmente quando o boro foi adicionado à calda juntamente com o Fertiactyl, indicando que a presença do boro é importante para essa proteção dos ponteiros contra ação do glyphosate; porém, ele não atua sozinho e faz-se necessária a combinação com Fertiactyl.

Tabela 5 – Porcentagem de plantas de eucalipto com morte da gema apical aos 53 dias após aplicação dos tratamentos para as respectivas combinações de glyphosate, Fertiactyl e boro

Boro	Glyphosate (g ha⁻¹)	Fertiactyl	% de plantas com morte da gema apical
Ausência	0	Ausência	0
		Presença	0
	720	Ausência	100
		Presença	33,33
	1440	Ausência	100
		Presença	100
Presença	0	Ausência	0
		Presença	0
	720	Ausência	100
		Presença	0
	1440	Ausência	100
		Presença	0

No presente trabalho, foram observadas intoxicações em todas as partes das plantas de eucalipto, inclusive a morte de meristema apical mesmo sem ter sido aplicado glyphosate no terço superior das plantas. Com base no exposto, é possível afirmar que houve a translocação do glyphosate para a seção superior das plantas de eucalipto em conformidade com a literatura (TUFFI SANTOS et al., 2009; MACHADO et al., 2010; CASTRO et al., 2016). O glyphosate é um produto sistêmico de alta mobilidade nas plantas e, depois de aplicado às folhas, de forma intencional ou não (deriva), é distribuído por toda a planta (BROMILOW & CHAMBERLAIN, 2000) e tende a se acumular principalmente nas regiões meristemáticas de crescimento (DUKE & POWLES, 2008).

O maior nível de toxidez com cloroses e necroses foliares foi observado com a aplicação de 1440 g ha⁻¹ de glyphosate na ausência do Fertiactyl. A formação de necroses pode ter ocorrido devido à degeneração dos cloroplastos (TUFFI SANTOS et al., 2005), pois este herbicida pode afetar a formação de clorofila (COLE et al., 1983) e causar desorganização do aparato fotossintético (MARÍA et al., 2005). A fitotoxicidade causada pelo glyphosate depende da quantidade desse produto que atinge e é absorvida pelo eucalipto (TUFFI SANTOS et al., 2009).

A redução no crescimento do eucalipto exposto ao glyphosate (Tabela 3) corrobora com os resultados encontrados por Tuffi Santos et al. (2005). Além das cloroses, ocorre, também, a

redução do crescimento das plantas e prejudica, principalmente, tecidos metabolicamente ativos, tais como: folhas imaturas, brotos, botões florais e raiz (CARVALHO et al., 2015). Castro et al. (2016) avaliaram a absorção e a translocação do glyphosate aplicado em diferentes posições em plantas de eucalipto (clone de *Eucalyptus urograndis*) e observaram redução na massa de matéria seca total de plantas concomitante ao aumento da porcentagem de intoxicação promovida pelo glyphosate, o que causa distúrbios nas principais rotas metabólicas das plantas levando à inanição (HESS, 2003, apud TUFFI SANTOS et al., 2007).

A presença do Fertiactyl diminuiu a fitotoxicidade por glyphosate (Tabela 2) similar ao encontrado por Machado et al. (2017a; 2017 b; 2017c). Os mecanismos pelos quais o Fertiactyl exerceu a proteção contra intoxicação causada pelo glyphosate não estão bem elucidados. Santos et al. (2015) relatam que o Fertiactyl possui em sua composição ácidos húmicos e fúlvicos, bem como o complexo GZA (glicina-betaína e zeatina). Existe a hipótese de que alguma interação em calda das substâncias húmicas pode adsorver moléculas do glyphosate em suas superestruturas (PICCOLO & CELANO, 1994; PICCOLO et al., 1996; CAMPOS & VIERA, 2002; MAZZEI & PICCOLO, 2012). Outra hipótese seria uma possível recuperação da planta devido à presença do complexo GZA que proporciona a manutenção e a 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, 2004).

Contudo, a aplicação somente do Fertiactyl não foi suficiente para impedir a morte de ponteiros pela ação do glyphosate uma vez que o Fertiactyl não possui boro em sua formulação (TIMAC Agro, 2017). A importância deste nutriente para as plantas é tamanha que sua deficiência em plantas de eucalipto pode causar a morte dos meristemas apicais (SÃO JOSÉ et al., 2009), podendo também acarretar a inibição da alongação das raízes, em razão de distúrbios que ocorrem na divisão celular (MARSCHNER, 1995), e reduzir a absorção de alguns nutrientes (POLLARD et al., 1977; SCHON et al., 1990; HAJIBOLAND & FARHANGI, 2011).

O boro desempenha um importante papel estrutural e está associado à parede celular (MATOH et al., 1992). Historicamente, é considerado um nutriente com baixa mobilidade no floema (OERTLI & RICHARDSON, 1971; EPSTEIN, 1972; RAVEN 1980); entretanto, determinadas espécies e alguns genótipos dentre as espécies são menos sensíveis à sua deficiência por serem capazes de retranslocá-lo dos tecidos mais maduros para os mais jovens (SHELP et al., 1995; BROWN & SHELP, 1997; PERICA et al., 2001; SÃO JOSÉ et al., 2009).

Segundo Mattiello et al. (2009), o boro aplicado na parte inferior da copa é capaz de se translocar para o ápice; para De Souza et al. (2012), isto se deve à formação de complexos do boro com açúcares como sorbitol, manitol e dulcitol. Apesar disso, seu uso sem o Fertiactyl, não protegeu as plantas da morte de ponteiros causada pelo herbicida (Tabela 5).

Brighenti et al. (2015) observaram que a adição de glyphosate e ácido bórico em mistura no tanque reduziu o pH da solução de pulverização de 6,6 para 4,5 na média de dois experimentos. Segundo estes autores, desta forma o glyphosate fica na forma não-iônica, o que permite passar mais rápido através da membrana plasmática das células. Sabe-se que a eficácia do glyphosate é influenciada por mudanças no pH da solução de pulverização (TURNER & LOADER, 1978). Quanto mais alcalina for a solução de pulverização, menor será a atividade do glyphosate (STAHLMAN & PHILLIPS, 1979), por diminuir sua penetração através da dupla camada fosfolipídica das membranas celulares (THELEN et al., 1995).

Neste trabalho, foi verificado o efeito positivo da interação do glyphosate com Fertiactyl e boro (Tabela 1), em que, a mistura evitou a morte de ponteiro nas plantas tratadas (Tabela 5). Este efeito protetor da associação do boro ao Fertiactyl foi evidente, principalmente, na maior dose de glyphosate (1440 g ha⁻¹), sem haver morte da gema apical. Hodecker et al. (2014) relataram que a aplicação foliar de boro a um clone de *E. urophylla*, tolerante à seca, favoreceu a alocação de carbono para as raízes e intensificou seu crescimento, o que permitiu uma melhor absorção de água e hidratação da planta durante o período de estresse hídrico.

A morte da gema apical poderia ocasionar a perda de dominância apical e proporcionar plantas bifurcadas e tortuosas posteriormente. Supõe-se que esses pontos de bifurcação e tortuosidade podem afetar o crescimento das plantas, levando a uma redução na produtividade ao final do ciclo e comprometer o rendimento operacional da colheita mecanizada. Plantas bifurcadas são mais propensas à quebra pelo vento; portanto, deve-se realizar podas corretivas, o que onera o custo de formação florestal (MAFIA et al., 2013).

É evidente que a deficiência de boro torna as plantas mais suscetíveis a estresses abióticos, como os proporcionados pelo glyphosate, mas podem ser melhorados por uma maior oferta de boro que tem grande potencial para compor uma nova formulação do Fertiactyl para uso na cultura do eucalipto e evitar que o desenvolvimento (altura, diâmetro e matéria seca de parte aérea) das plantas sejam severamente afetados. No entanto, o uso apenas de Fertiactyl, não evita a morte de ponteiro, sobretudo, nas dosagens de glyphosate mais elevadas (1440 g ha⁻¹).

4. CONCLUSÃO

A adição de boro ao Fertiactyl diminui a intoxicação em plantas de eucalipto por ação do glyphosate e evita a morte apical dos ponteiros.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALTHOFF, P.; OLIVEIRA, A. C.; MORAIS, E. J.; FONSECA, S. Eucalypt dieback in "Cerrado" areas in north northwest of Minas Gerais. En: SCHÖNAU, A. P. G. Intensive forestry: the role of eucalypts. **Pretoria: Southern African Institute of Forestry**, p.598-609, 1991.
- BARROS, N. F.; NOVAIS, R. F. Eucalipto. In: RIBEIRO, A. C.; GUIMARÃES, P. T. G.; ALVAREZ V.; V. H. Recomendações para uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais: **5ª aproximação**. Comissão de Fertilidade do Solo do Estado de Minas Gerais, p.303-305, 1999.
- BRIGHENTI, A. M.; MULLER, M. D.; OLIVEIRA JR, A.; CASTRO, C. Weed control and boron nutrition on Eucalyptus in silvopastoral system. **Tropical and Subtropical Agroecosystems**, v.18, p.39-46, 2015.
- BROMILOW, R. H.; CHAMBERLAIN, K. The herbicide glyphosate and related molecules: physicochemical and structural factors determining their mobility in phloem. **Pest Management Science**, v.56, p.368-373, 2000.
- BROWN, P. H.; SHELP, B. J. Boron mobility in plants. **Plant Soil**, v.193, p.85-101, 1997.
- 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**, v.25, p.529-532, 2002.
- CARVALHO, L. B.; ALVES, P. L. DA C. A.; COSTA, F. R. Differential response of clones of eucalypt to glyphosate. **Revista Árvore**, v.39, p.177-187, 2015.
- CASTRO, E. B.; CARBONARI, C. A.; VELINI, E. D.; BELAPART. D.; GOMES, G. L. G. C.; BEN, R. Absorção, translocação e efeitos metabólicos do glyphosate em plantas de eucalipto. **Scientia Forestalis (IPEF)**, v.44, p.719-727, 2016.
- COLE, D. J.; CASELEY, J. C.; DODGE, A. D. Influence of glyphosate on selected plant processes. **Weed Research**, v.23, p.173-183, 1983.
- CONSTANTIN, J.; OLIVEIRA JR., R. S.; GHENO, E. A.; BIFFE, D. F.; BRAZ, G. B. P.; WEBER, F.; TAKANO, H. K. Prevention of yield losses caused by glyphosate in soybeans with biostimulant. **African Journal of Agricultural Research**, v.11, p.1601-1607, 2016.
- DE SOUZA, J. A.; CANESIN, R. C. F. S.; BUZETTI, S. Mobilidade de boro em mudas de pessegueiro. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v.34, p.930-935, 2012.
- DUKE, S. O.; POWLES, S. B. Glyphosate: a once-in-a-century herbicide. **Pest Management Science**, v.64, p.319-325, 2008.
- EPSTEIN, E. Mineral nutrition of plants: Principles and perspectives. **New York: Wiley**; 412p., 1972.

- FREITAS, G. A.; WEBER, F.; SANTOS, A. C. M.; CARNEIRO, J. S. S.; SILVA, R. R. Substância húmica na redução da fitotoxidez do herbicida Roundup Ready na cultura da soja. **Revista em Agronegócio e Meio Ambiente**, v.11, p.15-21, 2018.
- GIRI, J. Glycine-betaine and abiotic stress tolerance in plants. **Plant Signaling & Behavior**. v.6, p.1746-1751, 2011.
- GONÇALVES, J. L. M.; ALVARES, C. A.; SOUZA, A. H. B. N.; JUNIOR, J. C. A. Caracterização edafoclimática e manejo de solos das áreas com plantações de eucalipto. In: SCHUMACHER, M. V.; VIERA, M. (Org.). *Silvicultura do eucalipto no Brasil*. Santa Maria: **Ed. da Universidade Federal de Santa Maria**, p.111-154, 2015.
- INDÚSTRIA BRASILEIRA DE ÁRVORES – IBÁ. **Relatório Anual 2019**. Disponível em: <<https://iba.org/datafiles/publicacoes/relatorios/iba-relatorioanual2019.pdf>>. Acesso em: 15 de nov. 2019.
- INDÚSTRIA BRASILEIRA DE ÁRVORES – IBÁ. **Relatório Anual 2015**. Disponível em: <http://iba.org/images/shared/Biblioteca/IBA_RelatorioAnual2016_.pdf>. Acesso em: 06 de jul. 2017.
- Hajiboland, R.; Farhanghi, F. Effect of low boron supply in turnip plants under drought stress. **Biologia Plantarum**, v.55, p.775-778, 2011.
- HODECKER, B. E. R.; BARROS, N. F.; SILVA, I. R.; DIOLA, V.; SARKIS, J. E. S.; LOUREIRO, M. E. Boron delays dehydration and stimulates root growth in *Eucalyptus urophylla* (Blake, S. T.) under osmotic stress. **Plant and Soil**, v.384, p.185-199, 2014.
- MACHADO, A. F. L.; FERREIRA, L. R.; SANTOS, L. D. T.; FERREIRA, F. A.; VIANA, R. G.; MACHADO, M. S.; FREITAS, F. C. L. Eficiência fotossintética e uso da água em plantas de eucalipto pulverizadas com glyphosate. **Planta Daninha**, v.28, p.319-327, 2010.
- MACHADO, M. S.; FERREIRA, L. R. DE PAULA, J. L.; PEREIRA, G. A. M.; GONÇALVES, V. A. use of liquid fertilizer to reduce the phytotoxic effects of glyphosate on eucalyptus. **Revista Caatinga**, v.30, p.730-737, 2017a.
- MACHADO, M. S.; FERREIRA, L. R.; PEREIRA, G. A. M.; PAULA, J.; PAIXÃO, G. P. FREITAS, P. H. M. Fertiactyl Pós® como protetor do eucalipto submetido à aplicação de glyphosate. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v.12, p.194–201, 2017b.
- MACHADO, M. S.; FERREIRA, L. R.; PEREIRA, G. A. M.; GONÇALVES, V. A.; PAIXÃO, G. P. Protective effect on eucalyptus plants and signal grass control with a tank mixture of glyphosate and liquid fertilizer. **Planta Daninha**, v.35, p.1-8, 2017c.
- MAFIA, R. G.; SILVA, J. B.; RAMOS, J. F. Caracterização dos danos causados por *Heilipodus naevulus* em plantios de eucalipto no Espírito Santo, Brasil. **Ciência Rural**, v.43, p.258-261, 2013.

- MARÍA, N.; FELIPE, M. R.; FERNÁNDEZ-PASCUAL, M. Alterations induced by glyphosate on lupin photosynthetic apparatus and nodule ultrastructure and some oxygen diffusion related proteins. **Plant Physiology and Biochemistry**, v.43, p.985-996, 2005.
- MARSCHNER, H. Mineral nutritional of higher plants. **London: Academic**, 889p., 1995.
- MATOH, T.; ISHIGAKI, K.; MIZUTANI, M.; MATSUNAGA, T.; TAKABE, K. Boron nutrition of cultured tobacco BY-2 cells. I. Requirement for and intracellular localization of boron and selection of cells that tolerate low levels of boron. **Plant Cell Physiology**, v.33, p.1135-1141, 1992.
- MATTIELLO, E. M.; RUIZ, H. A.; RIBEIRO DA SILVA, I.; BARROS, N. F.; LIMA NEVES, J. C.; BEHLING, M. Transporte de boro no solo e sua absorção por eucalipto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo** [en linea], 2009.
- MAZZEI, P.; PICCOLO, A. Quantitative evaluation of noncovalent interactions between glyphosate and dissolved humic substances by NMR spectroscopy. **Environmental Science & Technology**, v.46, p.5939–5946, 2012.
- OERTLI, J. J.; RICHARDSON, W. F. The mechanism of boron immobility in plants. **Physiologia Plantarum**, v.23, p.108-116, 1971.
- PERICA, S.; BELLALLOUI, N.; GREVE, C.; HU, H.; BROWN, P. H. Boron transport and soluble carbohydrate concentrations in olive. **Journal of the American Society for Horticultural Science**, v.126, p.291-296, 2001.
- PICCOLO, A.; CELANO, G. Hydrogen-bonding interactions between the herbicide glyphosate and water-soluble humic substances. **Environmental Toxicology and Chemistry**, v.13, p.1737-1741, 1994.
- PICCOLO, A.; CELANO, G.; CONTE, P. Adsorption of glyphosate by humic substance. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v.44, p.2441-2446, 1996.
- POLLARD, A. S.; PARR, A. J.; LOUGHMAN, B. C. Boron in relation to membrane function in higher plants. **Journal of Experimental Botany**, v.28, p.831–839, 1977.
- RAMOS, S. J.; FAQUIN, V.; FERREIRA, R. M. A.; ARAUJO, J. L.; CARVALHO, J. G. Crescimento e teores de boro em plantas de eucalipto (*Eucalyptus citriodora*) cultivadas em dois latossolos sob influência de doses de boro e disponibilidade de água. **Revista Árvore**, v.33, p.57-65, 2009.
- RAVEN, J. A. Short-and long distance transport of boric acid in plants. **New Phytologist**, v.84, p.231-249, 1980.
- SANTOS, A. C. M.; SOUZA, M. A. S.; FREITAS, G. A.; SANTOS, P. S. S.; SILVA, R. R. Substância húmica na redução da fitotoxicidade dos herbicidas Roundup Ready + lactofen na cultura da soja. **Tecnologia Ciência Agropecuária**, v.9, p.35-41, 2015.

- SÃO JOSÉ, J. F. B. de S.; SILVA, I. R.; BARROS, N. F.; NOVAIS, R. F.; SILVA, E. F.; SMYTH, T. J.; LEITE, F. P.; NUNES, F. N.; GEBRIM, F. O. Boron mobility in eucalyptus clones. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.33, p.1733-1744, 2009.
- SCHON, M. K.; NOVACKY, A.; BLEVINS, D. G. Boron induces hyperpolarization of sunflower root cell membranes and increases membrane permeability to K⁺. **Plant Physiology**, v.93, p.566-571, 1990.
- SHELP, B. J.; MARENTES, E.; KITHEKA, A. M.; VIVEKANANDAN, P. Boron mobility in plants. **Physiologia Plantarum**, v.94, p.356-361, 1995.
- SOCIEDADE BRASILEIRA DA CIÊNCIA DAS PLANTAS DANINHAS (SBCPD). Procedimentos para instalação, avaliação e análise de experimentos com herbicidas. **Londrina**, 42p., 1995.
- STAHLMAN, P. W.; PHILLIPS, W. M. Effects of water quality and spray volume on glyphosate phytotoxicity. **Weed Science**, v.27, p.38-41, 1979.
- TAIZ, L.; ZEIGER, E. Fisiologia vegetal. 3.ed. **São Paulo: Artmed**, 719p. 2004.
- THELEN, K. D.; JACKSON, E. P.; PENNER, D. The basis for the hard-water antagonism of glyphosate activity. **Weed Science**, v.43, p.541-548, 1995.
- TIMAC Agro. Dossiê Fertiactyl Pós® - **Dossiê Técnico-Científico**. Disponível em: <http://www.br.timacagro.com/timac/Portugues/institucional/index.php?acao=detalhar&cod=25>. Acesso em: 06 jun. 2017.
- TUFFI SANTOS, L. D.; FERREIRA, F. A.; FERREIRA, L. R.; DUARTE, W. M.; TIBURCIO, R. A. S.; SANTOS, M. V. Crescimento do eucalipto sob efeito da deriva de glyphosate. **Planta Daninha**, v.25, p.133-137, 2007.
- TUFFI SANTOS, L. D.; FERREIRA, F. A.; FERREIRA, L. R.; DUARTE, W. M.; TIBURCIO, R. A. S.; SANTOS, M. V. Intoxicação de espécies de eucalipto submetidas à deriva do glyphosate. **Planta Daninha**, v.24, p.359-364, 2006.
- TUFFI SANTOS, L. D.; FERREIRA, F. A.; MEIRA, R. M. S. A.; BARROS, N. F.; FERREIRA, L. R.; MACHADO, A. F. L. Crescimento e morfoanatomia foliar de eucalipto sob efeito de deriva do glyphosate. **Planta Daninha**, v.23, p.133-142, 2005.
- TUFFI SANTOS, L. D.; SANT'ANNA-SANTOS, B. F.; MEIRA, R. M. S. A.; FERREIRA, F. A.; TIBURCIO, R. A. S.; MACHADO, A. F. L. Leaf anatomy and morphometry in three eucalypt clones treated with glyphosate. **Brazilian Journal Biology**, v.69, p.129-136, 2009.
- TURNER, D. J.; LOADER, M. P. C. Complexing agents as herbicides additives. **Weed Research**, v.18, p.199-207, 1978.
- WIMMER, M. A.; EICHERT, T. Review: mechanisms for boron deficiency-mediated changes in plant water relations. **Plant Science**, v.203-204, p.25-32, 2013.

CAPITULO 3 – Efeito do Fertiactyl® na absorção e translocação de ¹⁴C-glyphosate em plantas jovens de eucalipto

RESUMO - Fertiactyl é um fertilizante foliar com potencial de minimizar os efeitos de fitotoxicidade ocasionados por glyphosate em plantas de eucalipto. Por ainda não serem conhecidas as interações da mistura em tanque do glyphosate e do Fertiactyl no comportamento em plantas, objetivou-se avaliar a absorção e a translocação do ¹⁴C-glyphosate, aplicado isolado e misturado em tanque com Fertiactyl, em plantas jovens de eucalipto. As plantas de eucalipto foram pulverizadas com glyphosate comercial (1.080 g ha⁻¹) não radiomarcado e Fertiactyl (2 L ha⁻¹), exceto nas terceiras folhas de cada planta, que ficaram protegidas. Nestas folhas foi aplicado o ¹⁴C-glyphosate com e sem Fertiactyl, na dose comercial, por meio de uma microseringa, totalizando 2188,17 Bq de radioatividade por planta. A absorção e a translocação de ¹⁴C-glyphosate foram avaliadas as 6, 12, 24, 48, 96 e 144 horas após aplicação. Para isto, a folha tratada foi lavada com água destilada e realizada uma autorradiografia da planta. Em seguida, as plantas foram cortadas e separadas as partes em: folhas tratadas, folhas acima das folhas tratadas, folhas abaixo, caule e raiz. Posteriormente, as partes de cada planta foram levadas ao oxidador biológico para a captura do ¹⁴CO₂ proveniente da combustão do ¹⁴C-glyphosate, e mensurada a radioatividade juntamente com o líquido de lavagem no espectrômetro de cintilação líquida. A aplicação do Fertiactyl em mistura com ¹⁴C-glyphosate reduziu a absorção em 94,3 % em relação ao total absorvido no final da avaliação, evidenciando uma possível ligação sortiva em calda do glyphosate com Fertiactyl. A mistura aumentou a retenção do herbicida na folha tratada de forma que a translocação para as demais partes das plantas foi também reduzida. Conclui-se que o Fertiactyl em mistura na solução com glyphosate reduz a absorção e a translocação do herbicida em plantas jovens de eucalipto.

Palavras-chave: Fitotoxicidade. Mistura em tanque. Planta daninha. *Safener*.

ABSTRACT - Fertiactyl is a foliar fertilizer with the potential to minimize the phytotoxicity effects caused by glyphosate drift in eucalyptus plants. As the interactions of the glyphosate and Fertiactyl tank mix on plant behavior are not yet known, the objective was to evaluate the absorption and translocation of ^{14}C -glyphosate, applied isolated and mixed in tank with Fertiactyl, in young eucalyptus plants. The eucalyptus plants were sprayed with non radiolabeled commercial glyphosate ($1,080 \text{ g ha}^{-1}$) and Fertiactyl (2 L ha^{-1}), except on the third leaves of each plant, which were protected with paper bags. In the protected leaves, ^{14}C -glyphosate was applied with and without Fertiactyl, in the commercial dose using a microsyringe, totaling 2188.17 Bq of radioactivity per plant. The absorption and translocation of ^{14}C -glyphosate were evaluated at 6, 12, 24, 48, 96 and 144 hours after application. For this, the treated leaf was washed with distilled water and an autoradiography of the plant was performed. Then, the plants were cut and separated into: treated leaves with ^{14}C -glyphosate, leaves above treated leaves, leaves below, stem and root. Subsequently, the parts of each plant were taken to the biological oxidizer to capture $^{14}\text{CO}_2$ from the combustion of ^{14}C -glyphosate, and the radioactivity was measured together with the washing liquid in the liquid scintillation spectrometer. The application of Fertiactyl to the mixture of ^{14}C -glyphosate reduced the absorption by 94.3 % in relation to the total absorbed at the end of the evaluation, showing a possible type of binding in glyphosate syrup with Fertiactyl. The mixture increased the retention of the herbicide in the treated leaf reducing the translocation of glyphosate to other parts of the plants. It is concluded that the Fertiactyl mixed in the solution with glyphosate reduces the absorption and translocation of the herbicide in young eucalyptus plants.

Keywords: Phytointoxication. Safener. Tank mix. Weed.

1. INTRODUÇÃO

O glyphosate é o herbicida mais utilizado no manejo de plantas daninhas em cultivo do eucalipto. Seu mecanismo de ação consiste em inibir a enzima 5-enolpiruvilshikimate-3-fosfato sintase (EPSPs) limitando a produção de aminoácidos aromáticos, essenciais, fenilalanina, tirosina e triptofano (SAMMONS & GAINES, 2014; DUKE, 2018; HEAP & DUKE, 2018). O glyphosate, considerado não seletivo e sistêmico, é aplicado de forma dirigida nas áreas de eucalipto para evitar o contato do mesmo com a cultura. Geralmente, utilizam-se pulverizadores tratorizados com barra protegida (tipo conceição) (MACHADO et al., 2017a) ou costais com “chapéu de napoleão”. No entanto, mesmo com os devidos cuidados nas aplicações, é comum ocorrer contato com a cultura não alvo, em quantidades variadas do herbicida, dependendo da tecnologia de aplicação utilizada (SCHRÜBBERS et al., 2014; SILVA et al., 2014).

Uma vez em contato com as plantas, por deriva ou por aplicação direta, o glyphosate pode ser absorvido. A quantidade desta absorção está relacionada à espessura e composição das cutículas foliares de cada espécie (MONQUERO et al., 2004; CARVALHO et al., 2012). A duração desse processo depende da idade da planta, das condições ambientais e da concentração do herbicida em contato com a planta e do surfactante (SILVA et al., 2007). Seu movimento está associado ao fluxo de carboidratos de órgãos que atuam como fontes para os demais, tidos como drenos metabólicos, e ocasiona acúmulo do herbicida nos ápices das partes aéreas e de raízes (MCALLISTER & HADERLIE, 1985).

Tendo em vista o risco de deriva e os efeitos danosos dos herbicidas para as culturas, podem ser usados protetores, também conhecidos como *safeners* que são produtos com potencial de prevenir ou de amenizar as intoxicações das plantas não alvos (DAVIES & CASELEY, 1999). Diversos autores relataram o potencial do fertilizante foliar Fertiactyl em prevenir a toxicidade de culturas por deriva de glyphosate (SANTOS et al., 2015; CONSTATIN et al., 2016; MACHADO et al., 2017b).

O Fertiactyl, da TIMAC Agro é composto por uma fração nutricional e outra de substâncias húmicas e fúlvicas, aminoácidos glicina-betaína e o precursor hormonal, zeatina (SANTOS et al., 2015). As substâncias húmicas induzem diversos processos metabólicos nas plantas, tais como: respiração, fotossíntese, síntese de ácidos nucléicos e absorção de íons. Além disso, aumentam a atividade antioxidante nas plantas aumentando a resistência, principalmente, ao estresse hídrico, temperaturas severas e ação de herbicidas (HAMZA & SUGGARS, 2001). A glicina-betaína e zeatina podem favorecer a recuperação das plantas intoxicadas por herbicidas devido à proteção do aparato fotossintético que, por inibir a

senescência de folhas, exerce indução de genes envolvidos na tolerância a estresse, redução dos níveis de espécies reativas de oxigênio e proteção da membrana celular (ASHRAF & FOOLAD, 2007; WANG et al., 2008; GIRI, 2011).

Os estudos de absorção e translocação podem ser aprofundados com o uso de radioisótopos, que são utilizados em diversos tipos de pesquisas, tais como: o metabolismo de fármacos e defensivos agrícolas, estudos ambientais, determinação de rotas biológicas e estudos de balanço de massa para compostos orgânicos. Os métodos mais utilizados são por meio do trítio (^3H) e o ^{14}C (MENDES et al., 2017). Herbicidas marcados com ^{14}C , compõem a ferramenta mais utilizada para estudar a absorção e translocação em plantas (BEFFA et al., 2012).

O método para o uso de herbicidas radiomarcados pode ser quantitativo ou qualitativo, permitindo associar a resistência à absorção e/ou translocação reduzida e/ou ao metabolismo acelerado em várias espécies de plantas daninhas com grande precisão (MONQUERO et al., 2004). Para isto, são utilizadas amostragens destrutivas de plantas tratadas em vários períodos de pós-tratamento, o que permite a caracterização do padrão de absorção na planta, considerando o planejamento e análises estatísticas adequadas (KNISS et al., 2011).

Pesquisas têm evidenciado que o Fertiactyl forneceu proteção contra a toxicidade por glyphosate em plantas de eucalipto (MACHADO et al., 2017a; 2017b; 2017c). Entretanto, o mecanismo de proteção do Fertiactyl ainda não é conhecido, sabendo-se apenas que o produto age quando aplicado em mistura no tanque com o herbicida (NASCIMENTO, 2018). Assim, objetivou-se avaliar o efeito do Fertiactyl na absorção e na translocação do ^{14}C -glyphosate em plantas jovens de eucalipto.

2. MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi realizado no Laboratório de Ecotoxicologia do Centro de Energia Nuclear na Agricultura (CENA/USP), Piracicaba, SP, Brasil, em plantas jovens de eucalipto, clone I-144 (*Eucalyptus urophylla* x *Eucalyptus grandis*), com aproximadamente 12 cm de altura e 4 a 5 folhas. Utilizou-se esquema fatorial 2x6. Sendo dois modos de aplicação (presença e ausência de Fertiactyl) e seis tempos de avaliação (6, 12, 24, 48, 96 e 144 horas após aplicação - HAA), no delineamento inteiramente casualizado com quatro repetições.

Primeiramente, as terceiras folhas de cada planta foram cobertas com envelope de papel e, em seguida, as plantas foram pulverizadas com 1.080 g ha⁻¹ de glyphosate (Scout® -

Glyphosate sal de amônio - 792,5 g Kg⁻¹) sem e com 2 L ha⁻¹ de Fertiactyl (Fertiactyl Sweet®). A aplicação foi realizada por meio de um pulverizador costal pressurizado com CO₂, equipado com ponta tipo jato plano, XR 80.02, regulado para aplicar o volume de calda de 250 L ha⁻¹.

Após a aplicação dos produtos comerciais, os envelopes de papel foram retirados das terceiras folhas das plantas, as quais foram tratadas na face adaxial com 10 gotas de 1,0 µL da suspensão de ¹⁴C-glyphosate (P-methylene-¹⁴C, 99,65 % de pureza radioquímica; 4,36 MBq mg⁻¹ de atividade específica) sem e com Fertiactyl nas concentrações citadas anteriormente. A aplicação da solução radiomarcada foi realizada com uma microseringa (Hamilton PB6000 Dispenser) sobre a face adaxial das terceiras folhas, totalizando 2.188,17 Bq/planta (5,019 x 10⁻⁷ g/planta de glyphosate).

Para quantificar o ¹⁴C-glyphosate dos estudos de absorção e translocação foram utilizadas duas soluções para cintilação. A primeira foi preparada misturando 0,2 g de POPOP ((1.4-di-2.5-pheniloxazol) benzeno) e 300 mL de tolueno. A posteriori, foi adicionado 4 g de PPO (2.5-diphenyloxazole) e misturada novamente. Por fim, 333 mL de RENEX 95 % (nonylphenol ethoxylate) foram adicionados na solução e completada com tolueno até 1 L, para uso no espectrômetro de cintilação líquida. A segunda solução cintiladora, para uso no *oxidizer*, capaz de fixar o ¹⁴CO₂ proveniente da oxidação biológica, foi preparada com 700 mL da primeira solução, 300 mL de etanolamina e 250 mL de metanol.

As 6, 12, 24, 48, 96 e 144 HAA, a folha tratada com a suspensão radiomarcada foi lavada com 3 mL de água deionizada para recuperar o ¹⁴C-glyphosate não absorvido. Uma alíquota de 1 mL do líquido de lavagem foi retirada em duplicata e transferida para frascos de cintilação (*vials*) contendo 10 mL da primeira solução cintiladora. A radioatividade da solução contendo o ¹⁴C-glyphosate não absorvido foi mensurada durante 5 min por espectrometria de cintilação líquida (ECL) em um contador Tri-Carb 2910 TR LSA (Perkin Elmer). Posteriormente, as plantas inteiras foram prensadas em papel e secas em estufa de circulação de ar forçado a 60 °C por 48 horas.

Uma planta representativa de cada tempo de avaliação (6, 12, 24, 48, 96 e 144 HAA) e tratamento foi usada para visualizar qualitativamente a absorção e translocação de ¹⁴C-glyphosate por autorradiografia. As plantas foram colocadas sobre uma película de armazenamento de fósforo, placas de Thin Layer Chromatography - TLC (60F254, EMD Millipore) por 24 horas no escuro e lidas no Cyclone Plus (Packard Cyclone - Perkin Elmer). Após isto, todas as plantas foram divididas em folhas tratadas, folhas acima da folha tratada, folhas abaixo da tratada, caule e raízes.

As secções das plantas foram submetidas individualmente à combustão de 900 °C em um oxidador biológico (OX 500 - R.J. Harvey Instrument Corporation), por 3 min, em presença de O₂. O ¹⁴CO₂ liberado da combustão foi capturado com 10 mL da segunda solução cintiladora, descrita anteriormente, e recuperada em *vials* de cintilação líquida. A radioatividade do ¹⁴CO₂ proveniente da combustão da amostra vegetal contendo ¹⁴C-glyphosate foi medida por ECL, por 5 min.

O ¹⁴C-glyphosate total aplicado inicialmente equivale à soma da radioatividade quantificada do ¹⁴C-glyphosate não absorvido, folhas tratadas, folhas acima das folhas tratadas, folhas abaixo das folhas tratadas, caule e raízes. A partir do ¹⁴C-glyphosate total aplicado inicialmente foram calculadas as porcentagens do ¹⁴C-glyphosate total absorvido, detectado nas folhas tratadas e translocado para a parte aérea, que correspondeu ao somatório encontrado nas folhas acima e abaixo das tratadas e caule, além do ¹⁴C-glyphosate translocado para as raízes.

Os dados foram submetidos à análise de variância a 5 % de probabilidade (Statistix 9.0, Analytical Software, 2008) e as equações de regressão foram ajustadas com o auxílio do SigmaPlot (versão 12.0, Systat Software, Inc.).

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

O balanço de massa (¹⁴C-glyphosate não absorvido e o detectado na combustão das secções das plantas) variou de 83 a 115 % para aplicação isolada do ¹⁴C-glyphosate e 81 a 117 % para a aplicação do ¹⁴C-glyphosate em mistura ao Fertiactyl. Estes valores estão de acordo com as diretrizes de Nandula & Vencill (2015), que afirmaram que os balanços de massas de experimentos com herbicidas radiomarcadas podem variar de 80 a 120 %.

O efeito da mistura Fertiactyl e ¹⁴C-glyphosate foi significativo, assim como, o efeito em horas após a aplicação e a interação destes dois fatores para as características avaliadas absorção total, absorção na folha tratada, translocação para parte aérea e raízes (Tabela 1).

Tabela 1 - Resumo da análise de variância para ^{14}C -glyphosate total absorvido, ^{14}C -glyphosate na folha tratada, ^{14}C -glyphosate translocado na parte aérea e ^{14}C -glyphosate translocado para raiz de plantas de eucalipto submetidas à mistura entre glyphosate e Fertiactyl

FV	GL	Total absorvido	Folha tratada	Parte aérea	Raiz
Mistura	1	2616,1**	2423,1**	0,0**	0,4 **
Horas após aplicação	5	284,0**	249,1**	1,9**	0,2 **
Mistura x horas após aplicação	5	268,0**	234,0**	0,6**	0,1 **
Erro	33	8,1	8,6	0,1	0
CV (%)		32,65	36,47	38,77	71,28

O ^{14}C -glyphosate absorvido aumentou ao longo do tempo de avaliação em curva sigmoidal, quando aplicado de forma isolada, demonstrando que houve absorção pelas folhas de eucalipto tratadas com o herbicida e, quanto maior o tempo de avaliação, dentro o intervalo estudado, a absorção total tende a se aproximar de 27,6 % do total aplicado inicialmente. Quando aplicado em mistura com Fertiactyl, não foi encontrada diferença na absorção dentre os intervalos estudados ($\hat{Y} = 1,57\%$) indicando que o Fertiactyl afetou de forma negativa a absorção deste herbicida (Figura 1), o que evidencia o efeito protetor pela inibição de absorção.

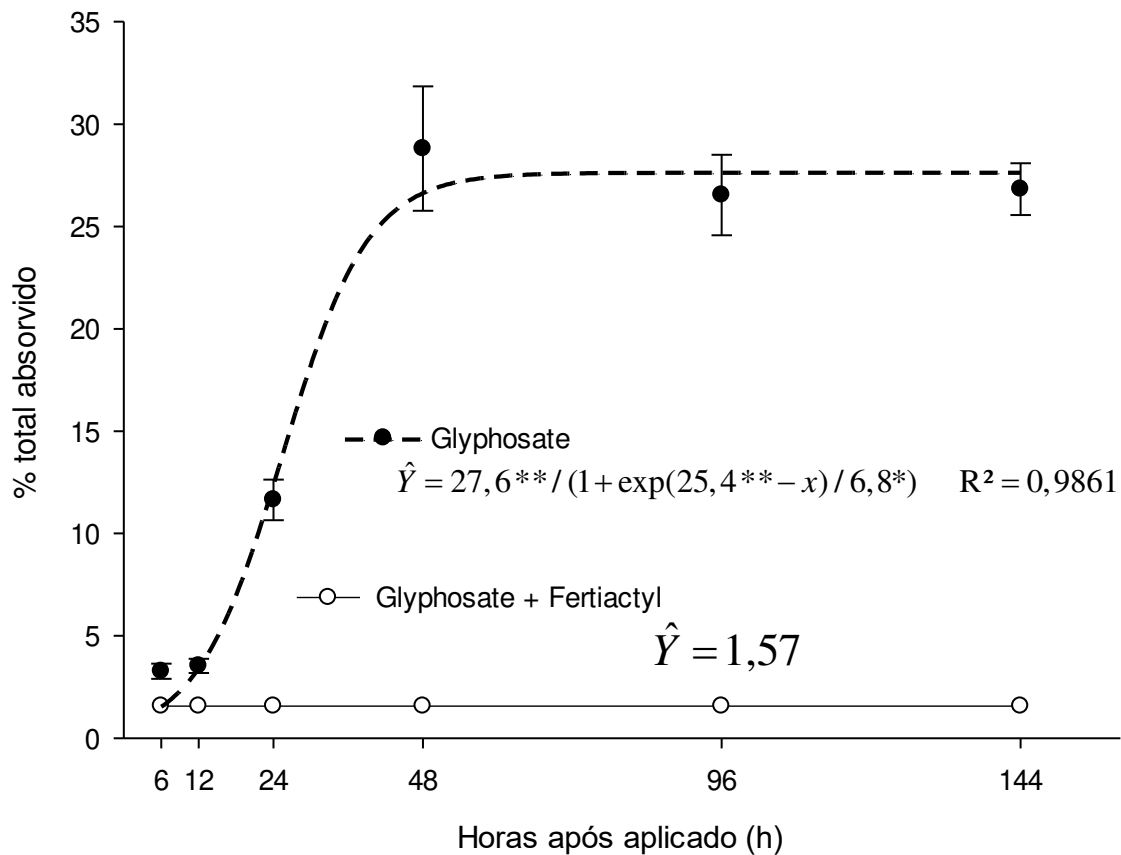


Figura 1 - Absorção total de ^{14}C -glyphosate (%) por plantas jovens de eucalipto quando aplicado na ausência e presença do Fertiactyl, em função do tempo de avaliação em horas após aplicação. As barras verticais representam o erro padrão da média ($n = 4$). Os símbolos podem cobrir as barras de erro. * significativo a 1 % e ** significativo a 5 % de probabilidade pelo teste de F.

A porcentagem de ^{14}C -glyphosate na folha tratada foi semelhante ao total encontrado na planta toda, indicando pouca translocação deste herbicida dentro das plantas jovens de eucalipto (Figura 2).

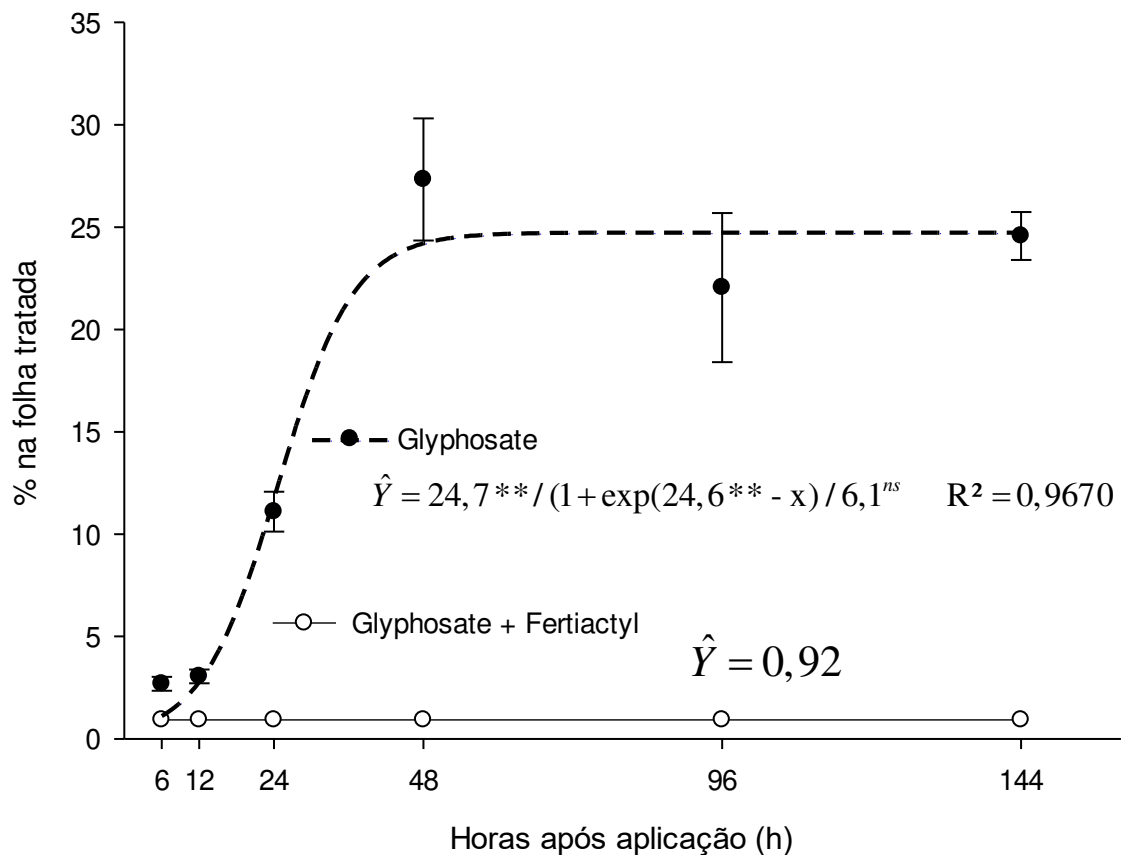


Figura 2 - Absorção pela folha tratada com ^{14}C -glyphosate em plantas jovens de eucalipto quando aplicado na ausência e na presença do Fertiactyl, em função do tempo de avaliação em horas após aplicação. As barras verticais representam o erro padrão da média ($n = 4$). Os símbolos podem cobrir as barras de erro. ** significativo a 5 % de probabilidade e *ns* não significativo pelo teste de F.

A porcentagem de ^{14}C -glyphosate translocado para a parte aérea aplicada isoladamente foi crescente, também em curva sigmoideal, com tendência de aproximação a 1,5 % do total aplicado inicialmente, no intervalo em HAA estudado. Quando aplicado em mistura com Fertiactyl, não foi encontrada diferença na absorção dentre os intervalos estudados ($\hat{Y} = 0,49$ %) indicando que o Fertiactyl afetou de forma negativa a translocação do glyphosate para parte aérea (Figura 3).

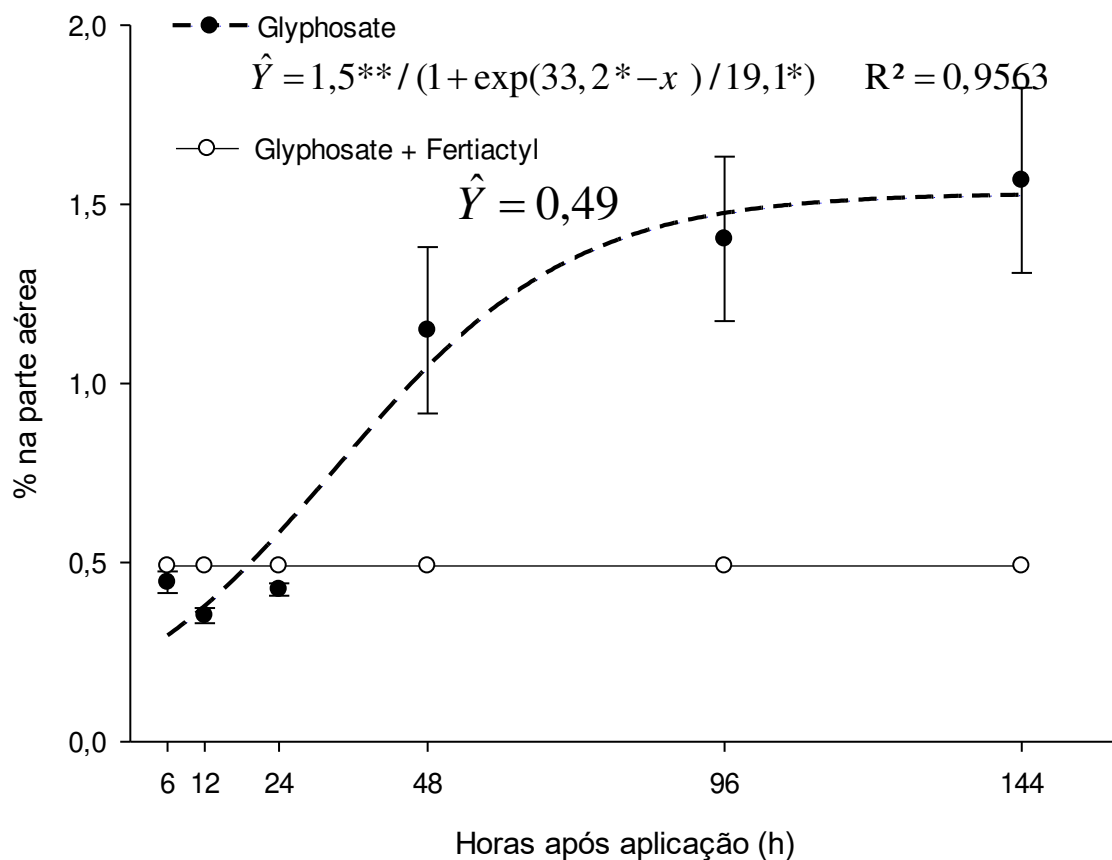


Figura 3 – Translocação do ^{14}C -glyphosate na parte aérea, excluído na folha tratada, de plantas jovens de eucalipto quando aplicado na ausência e presença do Fertiactyl, em função do tempo de avaliação em horas após aplicação. As barras verticais representam o erro padrão da média ($n = 4$). Os símbolos podem cobrir as barras de erro. * significativo a 1 % e ** significativo a 5 % de probabilidade pelo teste de F.

A porcentagem de ^{14}C -glyphosate translocado para as raízes seguiram a mesma tendência do ^{14}C -glyphosate translocado para a parte aérea, aplicado isoladamente, assim como aplicado em mistura ao Fertiactyl (Figura 4), evidenciando que o Fertiactyl afetou de forma negativa a translocação do glyphosate em toda a planta jovem de eucalipto.

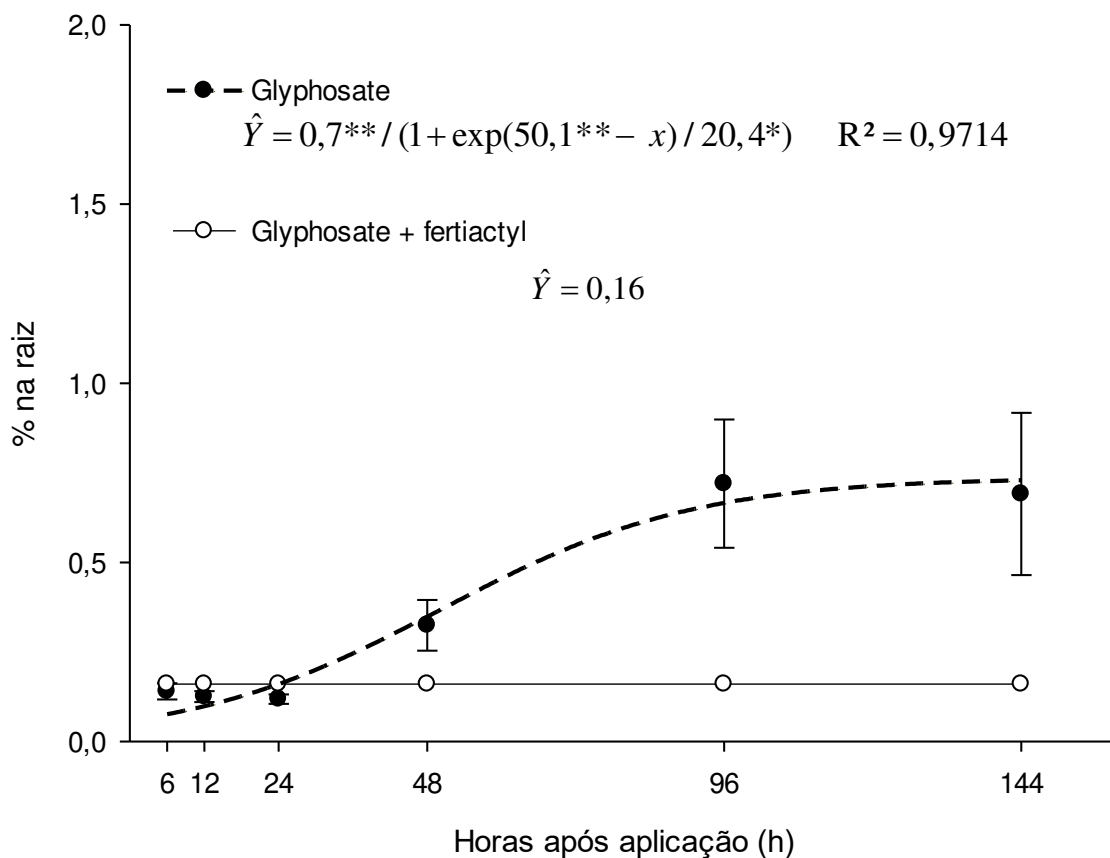


Figura 4 – Translocação do ^{14}C -glyphosate para raiz de plantas jovens de eucalipto quando aplicado na ausência e presença do Fertiactyl, em função do tempo de avaliação em horas após aplicação. As barras verticais representam o erro padrão da média ($n = 4$). Os símbolos podem cobrir as barras de erro. * significativo a 1 % e ** significativo a 5 % de probabilidade pelo teste de F.

As autorradiografias estão de acordo com os resultados de absorção e translocação, podendo observar maior concentração de ^{14}C -glyphosate absorvido na folha tratada devido a maior intensidade de cor cinza, principalmente, nas imagens em que o ^{14}C -glyphosate foi aplicado de forma isolada (Figura 5). A cor cinza está relacionada a radioatividade presente na planta, portanto, quanto maior a intensidade, maior a presença do ^{14}C -glyphosate.

As quantidades de ^{14}C -glyphosate translocado para as demais partes aéreas e raízes foram baixas, o que impossibilitou a detecção nas imagens das autorradiografias, independente da aplicação do Fertiactyl em mistura ao herbicida.

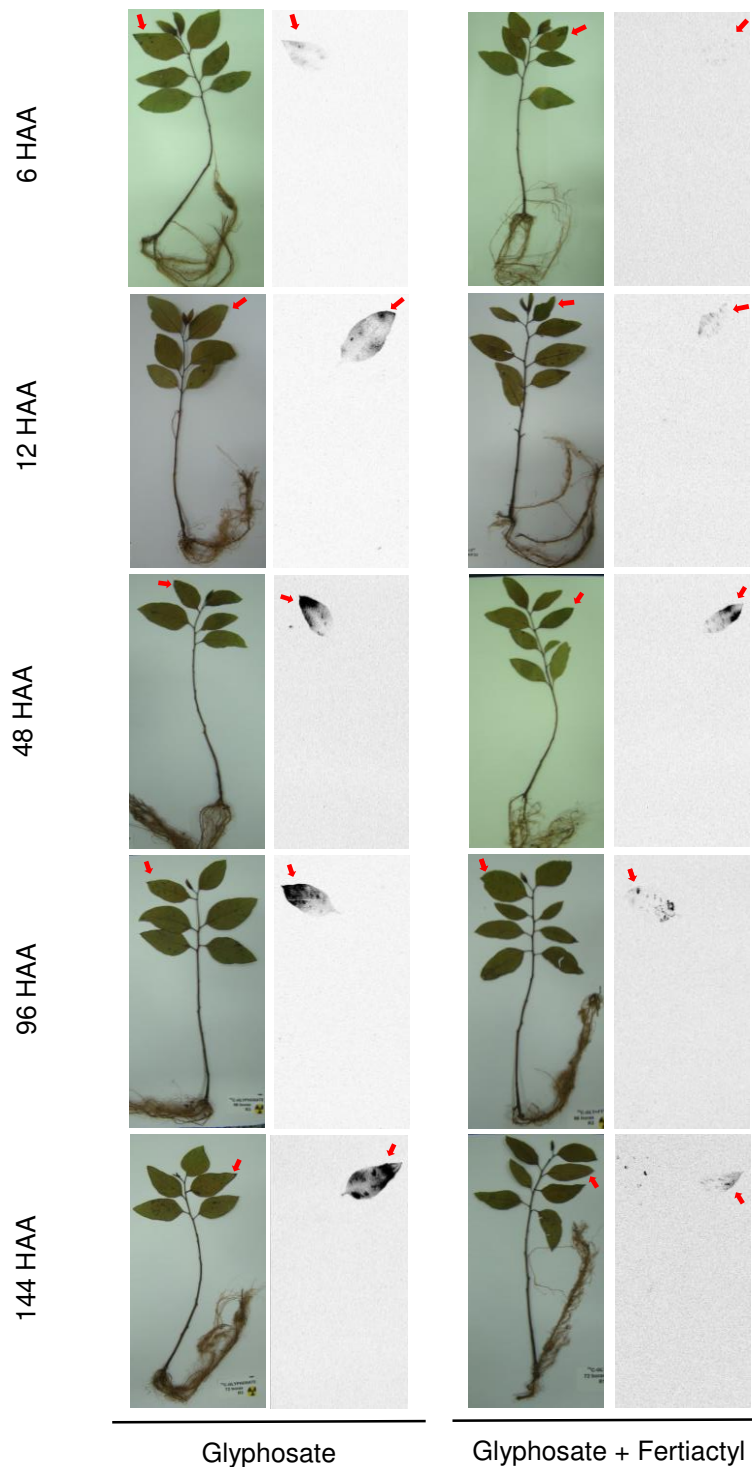


Figura 5 – Imagens e autorradiografia de ^{14}C -glyphosate em plantas jovens de eucalipto, na presença e ausência de Fertiactyl, em função do tempo de avaliação em horas após aplicação. Setas vermelhas indicam as folhas que receberam o tratamento com ^{14}C -glyphosate ou ^{14}C -glyphosate + Fertiactyl. As fotografias das plantas prensadas se encontram à esquerda e à direita autorradiografias. As setas indicam as folhas tratadas com ^{14}C -glyphosate ou ^{14}C -glyphosate + Fertiactyl.

A aplicação do Fertiactyl em mistura com glyphosate proporciona uma menor absorção e uma menor translocação do herbicida nas plantas jovens de eucalipto, o que pode ter

acontecido devido às interações em calda, sendo capaz de afetar negativamente a eficiência de absorção do glyphosate pelas plantas (APPLEBY & SOMABHI, 1978). Este antagonismo é mais intenso imediatamente após aplicação podendo variar com o tempo e com o aumento da dose do glyphosate (VIDAL et al., 2003). O Fertiactyl é constituído por uma fração mineral e outra orgânica (SANTOS et al., 2015). Este conteúdo de substâncias orgânicas, quando presentes na calda de aplicação, permite constituir fatores que aumentam a adsorção do herbicida (SPRANKLE et al., 1975), de tal maneira que a presença de apenas 1 % dessas substâncias orgânicas na solução de aplicação pode diminuir a fitotoxicidade do glyphosate em até 90 % devido à restrição de absorção do herbicida (RIECK et al., 1974), assim como observado previamente em eucalipto (MACHADO et al., 2017b e 2017c).

Tal fração orgânica do Fertiactyl é composta por substâncias húmicas, fúlvicas e o complexo GZA, formado pela glicina-betaína e zeatina (SANTOS et al., 2015), que podem ser capazes de adsorver as moléculas do glyphosate (PICCOLO & CELANO, 1994; PICCOLO et al., 1996; CAMPOS & VIERA, 2002; MAZZAEI & PICCOLO, 2012), reduzir a disponibilidade e a quantidade do herbicida absorvido pelas plantas de eucalipto, de forma que, menos princípio ativo do herbicida chegue ao sítio de ação na EPSPS. Segundo os autores Prata & Lavorenti (2002), a sorção do glyphosate com as substâncias húmicas do Fertiactyl ocorre possivelmente por forças de *van der Waals*, por pontes de hidrogênio e, ainda, via troca iônica, pois este herbicida pode apresentar carga positiva e negativa ao mesmo tempo.

Quando o ^{14}C -glyphosate foi aplicado em mistura com Fertiactyl, a absorção do herbicida foi reduzida em 94,3 % em relação ao total absorvido, ao final dos tempos avaliados (Figura 1). Sendo assim, tem-se a hipótese que menos princípio ativo do glyphosate esteja disponível no sítio de ação deste herbicida na planta e sugere que pode haver efeito de ligação em calda do glyphosate com Fertiactyl. De acordo com Nascimento (2018), que estudou a aplicação do Fertiactyl e glyphosate em plantas jovens de cafeeiro e observou maior proteção das plantas quando o glyphosate foi aplicado em mistura em tanque com Fertiactyl.

A penetração do glyphosate nas plantas é dividida em duas fases, uma de rápida absorção e uma fase posterior de lenta e extensa penetração (MONQUERO et al., 2004). A duração de cada fase depende de fatores como: espécie, idade, condições ambientais e concentração do glyphosate e do surfactante acompanhante (CASELEY & COUPLAND, 1985). No floema, o glyphosate é móvel e é rapidamente translocado por todas as partes da planta, mas tende a se acumular nas regiões meristemáticas de crescimento (DUKE & POWLES, 2008), fato não observado neste estudo. Uma vez que, houve maior

retenção nas folhas, similar ao encontrado por Ge et al. (2012), que estudaram *Lolium* spp. observaram até 90 % de sequestro do glyphosate no vacúolo em 24 HAA.

A translocação de ^{14}C -glyphosate para as demais partes aéreas e para as raízes foi nitidamente reduzida quando aplicado em mistura ao Fertiactyl (Figuras 3 e 4). Conforme a literatura, as evidências científicas apoiam que o mecanismo fisiológico que reduz a translocação do glyphosate para os pontos de crescimento meristemático é a compartimentalização do glyphosate no vacúolo (GE et al., 2012; GE et al., 2014; D'AVIGNON & GE, 2018). Desta forma, o glyphosate pode ser retido nas folhas tratadas ou perto da área tratada (CARVALHO et al., 2012; PALMA-BAUTISTA et al., 2019) e de alguma forma induzido pelo Fertiactyl, sendo necessárias mais pesquisas para elucidar este fato.

Após ser absorvido, o glyphosate é translocado no interior da planta, de forma mais acelerada nas 24 horas iniciais (FADIN et al., 2018), o que explica que o fato do herbicida ter sido encontrado nas raízes já nas primeiras horas após aplicação. Estes resultados corroboram com os observados, também, em eucalipto, por Machado et al. (2009), em que o ^{14}C -glyphosate foi detectado nas raízes nas primeiras avaliações, as 2 HAA. A velocidade de translocação para as raízes está relacionada ao transporte de açúcares no floema e, em geral, varia de 0,3 a 1,5 m h⁻¹ (TAIZ & ZEIGER, 2004).

Outro fator capaz de afetar a absorção do glyphosate em mistura ao Fertiactyl nas folhas pode ser atribuído à interação da solução com as ceras epicuticulares (MICHITTE et al., 2004; NANDULA et al., 2008; GUIMARÃES et al., 2009; HATTERMAN-VALENTI et al., 2011) podendo haver, ainda, alguma forma de degradação do herbicida no interior das plantas jovens de eucalipto (ROJANO-DELGADO et al., 2012; CARVALHO et al., 2012 e 2013) explicando a menor translocação encontrada nos tratamentos que receberam o glyphosate em mistura ao Fertiactyl; portanto, novas pesquisas são necessárias para esclarecer tais hipóteses. Sobretudo, qualquer fator que afete a absorção, translocação e/ou metabolismo do herbicida pode intervir na resposta do eucalipto ao glyphosate e proporcionar maior tolerância da planta ao herbicida.

Tais reduções indicam que menores quantidades do princípio ativo glyphosate se tornem disponível para atingir o sítio de ação do herbicida nas plantas. Por conseguinte, pode diminuir a intoxicação das plantas de eucalipto pelo glyphosate apresentando potencial de uso como *safener*. Entretanto, a redução permite afetar também o controle de plantas daninhas, sobretudo, nas de difícil controle por este herbicida.

4. CONCLUSÃO

O Fertiactyl reduz a absorção e a translocação do glyphosate em plantas jovens de eucalipto.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ANALYTICAL SOFTWARE (2008) STATISTIX User Manual, Release 9.0 for Windows. **Analytical Software**, 2008.
- APPLEBY, A. P.; SOMABHI, M. Antagonistic effect of atrazine and simazine on glyphosate activity. **Weed Science**, v.26, p.135-139, 1978.
- ASHRAF, M.; FOOLAD, M. R. Roles of glycine betaine and proline in improving plant abiotic stress resistance. **Environmental and Experimental Botany**, v.59, p.206-216, 2007.
- BEFFA R.; FIGGE, A.; LORENTZ, L.; HESS, M.; LABER, B.; RUIZ-SANTAELLA, J. P.; STREK, H. Weed resistance diagnostic technologies to detect herbicide resistance in cereal growing areas. A review. **Julius-Kühn-Archiv, In 25th German Conference on Weed Biology and Weed Control**, v.434, p.75-80, 2012.
- 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**, v.25, p.529-532, 2002.
- CARVALHO, L. B.; ALVES, P. L. C. A.; DUKE, S. O. Hormesis with glyphosate depends on coffee growth stage. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, v.85, p.813-822, 2013.
- CARVALHO, L. B.; ALVES, P. L. C. A.; GONZALEZ-TORRALVA, F.; CRUZ-HIPOLITO, H. E.; ROJANO-DELGADO, A. M.; DE PRADO, R.; GIL-HUMANES, J.; BARRO, F.; DE CASTRO, M. D. L. Pool of resistance mechanisms to glyphosate in *Digitaria insularis*. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v.60, p.615-622, 2012.
- CASELEY, J. C.; COUPLAND, D. Environmental and plant factors affecting glyphosate uptake movement and acidity. In: GROSSBARD, E.; ATKINSON, D. A. (Ed.). **The herbicide glyphosate**, p.92-123, 1985
- CONSTANTIN, J.; OLIVEIRA JR., R. S.; GHENO, E. A.; BIFFE, D. F.; BRAZ, G. B. P.; WEBER, F.; TAKANO, H. K. Prevention of yield losses caused by glyphosate in soybeans with biostimulant. **African Journal of Agricultural Research**, v.11, p.1601-1607, 2016.
- D'AVIGNON, D. A.; GE, X. In vivo NMR investigations of glyphosate influences on plant metabolism. **Journal of Magnetic Resonance**, v.292, p.59-72, 2018.
- DAVIES, J.; CASELEY, J. C. Herbicide *safeners*: a review. **Pesticide Science**, v.55, p.1043-1058, 1999.
- DUKE, S. O.; POWLES, S. B. Glyphosate: a once-in-a-century herbicide. **Pest Management Science**, v.64, p.319-325, 2008.
- DUKE, S. O. The history and current status of glyphosate. **Pest Management Science**, v.74, p.1027-1034, 2018.

- FADIN, D. A.; TORNISIELO, V. L.; BARROSO, A. A. M.; RAMOS, S.; DOS REIS, F. C.; MONQUERO, P. A. Absorption and translocation of glyphosate in *Spermacoce verticillata* and alternative herbicide control. **Weed Research**, v.58, p.389–396, 2018.
- GE, X.; D'AVIGNON, D. A.; ACKERMAN, ACKERMAN, J. J. H.; COLLAVO, A.; SATTIN, M.; OSTRANDER, L. O.; HALL, E. L.; SAMMONS, R. D.; PRESTON, C. Vacuolar glyphosate-sequestration correlates with glyphosate resistance in ryegrass (*Lolium* spp.) from Australia, South America and Europe: a ³¹P-NMR investigation. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v.60, p.1243–1250, 2012.
- GE, X.; D'AVIGNON, D. A.; ACKERMAN, J. J. H.; SAMMONS, R. D. In vivo ³¹P-nuclear magnetic resonance studies of glyphosate uptake, vacuolar sequestration, and tonoplast pump activity in glyphosate-resistant horseweed. **Plant Biologists**, v.166, p.1255–1268, 2014.
- GUIMARÃES, A. A.; FERREIRA, E. A.; VARGAS, L. SILVA, A. A.; VIANA, R. G.; DEMUNER, A. J.; CONCENÇO, G.; ASPIAZU, I.; GALON, L.; REIS, M. R.; SILVA, A. F. Chemical composition of the epicuticular wax of Italian ryegrass biotypes resistant and susceptible to glyphosate. **Planta Daninha**, v.27, p.149-154, 2009.
- GIRI, J. Glycine-betaine and abiotic stress tolerance in plants. **Plant Signaling & Behavior**, v.6, p.1746-1751, 2011.
- HAMZA, B.; SUGGARS, A. Biostimulants: myths and realities. **Turfgrass Trends**, v.10, p.6-10, 2001.
- HATTERMAN-VALENTI, H.; PITY, A.; OWEN, M. Environmental effects on velvetleaf (*Abutilon theophrasti*) epicuticular wax deposition and herbicide absorption. **Weed Science**, v.59, p.14-21, 2011.
- HEAP, I.; DUKE, S. O. Overview of glyphosate-resistant weeds worldwide. **Pest Management Science**, v.74, p.1040–1049, 2018.
- KNISS, A. R.; VASSIOS, J. D.; NISSEN, S. J.; RITZ, C. Nonlinear regression analysis of herbicide absorption studies. **Weed Science**. v.59, p.601-610, 2011.
- MACHADO, A. F. L.; FERREIRA, L. R.; SANTOS, L. D. T.; SANTOS, J. B.; FERREIRA, F. A.; VIANA, R. G. Absorption, translocation and radicular glyphosate exudation in *Eucalyptus* sp. clones. **Planta Daninha**, v.27, p.549–554, 2009.
- MACHADO, M. S.; FERREIRA, L. R. DE PAULA, J. L.; PEREIRA, G. A. M.; GONÇALVES, V. A. Use of liquid fertilizer to reduce the phytotoxic effects of glyphosate on eucalyptus. **Revista Caatinga**, v.30, p.730-737, 2017b.
- MACHADO, M. S.; FERREIRA, L. R.; PEREIRA, G. A. M.; GONÇALVES, V. A.; PAIXÃO, G. P. Protective effect on eucalyptus plants and signal grass control with a tank mixture of glyphosate and liquid fertilizer. **Planta Daninha**, v.35, p.1-8, 2017c.

- MACHADO, M. S.; FERREIRA, L. R.; PEREIRA, G. A. M.; DE PAULA, J. L.; PAIXÃO, G. P.; FREITAS, P. H. M. Fertiactyl Pós® como protetor do eucalipto submetido a aplicação de glyphosate. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v.12, p.194-201, 2017a.
- MAZZEI P.; PICCOLO A. Quantitative evaluation of noncovalent interactions between glyphosate and dissolved humic substances by NMR spectroscopy. **Environmental Science & Technology**, v.46, p.5939-5946, 2012.
- MCALLISTER, R.; HABERLIE, L. L. Translocation of ¹⁴C-glyphosate and ¹⁴CO₂-labeled photoassimilates in Canada thistle (*Cirsium arvense*). **Weed Science**, v.33, p.153-159, 1985.
- MICHITTE, P.; GAUVRIT, C.; HEREDIA, A.; DE PRADO, R. Resistance to glyphosate in *Lolium multiflorum*: involvement of epicuticular waxes?. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON WEED BIOLOGY, 12., 2004, Dijon. Proceedings... Dijon: **Association Francaise de la Protection des Plantes**, p.597-602, 2004.
- MONQUERO, P. A.; CHRISTOFFOLETI, P. J.; OSUNA, M. D.; DE PRADO, R. A. Absorção, translocação e metabolismo do glyphosate por plantas tolerantes e suscetíveis a este herbicida. **Planta Daninha**, v.22, p.445-451, 2004.
- NANDULA, V. K.; REDDY, K. N.; POSTON, D. H.; RIMANDO, A. M.; DUKE, S. O. Glyphosate tolerance mechanism in Italian ryegrass (*Lolium multiflorum*) from Mississippi. **Weed Science**, v.56, p.344-349, 2008.
- NANDULA, V. K.; VENCILL, W. K. Herbicide absorption and translocation in plants using radioisotopes. **Weed Science**, v.63, p.140–151, 2015.
- NASCIMENTO, J. L. M. *Efeito do Fertiactyl na proteção de plantas de café atingidas por herbicidas e no controle de plantas daninhas*. 2018. 59 f. **Dissertação - Mestrado em Fitotecnia** – Universidade Federal de Viçosa, UFV, 2018.
- PALMA-BAUTISTA, C.; TORRA, J.; GARCIA, M. J.; BRACAMONTE, E.; ROJANO-DELGADO, A. M.; ALCÁNTARA-DE LA CRUZ, R.; DE PRADO, R. Reduced absorption and impaired translocation endows glyphosate resistance in *Amaranthus palmeri* harvested. in Glyphosate-Resistant Soybean from Argentina. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v.67, p.1052-1060, 2019.
- PICCOLO, A.; CELANO, G. Hydrogen bonding interactions between the herbicide glyphosate and water-soluble humic substances. **Environmental Toxicology Chemistry**, v.13, p.1737-1741, 1994.
- PICCOLO, A.; CELANO, G.; CONTE, P. Adsorption of glyphosate by humic substances. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v.44, p.2442-2446, 1996.
- PRATA, F.; LAVORENTI, A. Retenção e mobilidade de defensivos agrícolas no solo. In: ALLEONI, L. R. F.; REGITANO, J. B. Apostila do Simpósio sobre Dinâmica de

- Defensivos Agrícolas no Solo: aspectos práticos e ambientais. **ESALQ/USP**, p.57-69, 2002.
- RIECK, C. E.; WRIGHT, T. H.; HARGE, T. R. Fate of glyphosate in soil. Abstracts, **Weed Science**, p.119-120, 1974.
- ROJANO-DELGADO, A. M.; CRUZ-HIPOLITO, H.; DE PRADO, R. LUQUE DE CASTRO, M. D.; FRANCO, A. R. Limited uptake, translocation and enhanced metabolic degradation contribute to glyphosate tolerance in *Mucuna pruriens* var. utilis plants. **Phytochemistry**, v.73, p.34-41, 2012.
- SAMMONS, R. D.; GAINES, T. A. Glyphosate resistance: state of knowledge. **Pest Management Science**, v.70, p.1367–1377, 2014.
- SANTOS, A. C. M.; SOUZA, M. A. S.; FREITAS, G. A.; SANTOS, P. S. S.; SILVA, R. R. Substância húmica na redução da fitotoxicidade dos herbicidas Roundup Ready + lactofen na cultura da soja. **Tecnologia Ciência Agropecuária**, v.9, p.35-41, 2015.
- SCHRÜBBERS, L. C.; VALVERDE, B. E.; SØRENSEN, J. C.; CEDERGREEN, N. Glyphosate spray drift in *Coffea arabica*—Sensitivity of coffee plants and possible use of shikimic acid as a biomarker for glyphosate exposure. **Pesticide Biochemistry and Physiology**, v.115, p.15-22, 2014.
- SILVA, B. P.; MACHADO, A. A.; FONSECA, E. D.; FERREIRA, M. C. Distribuição, diâmetro de gotas e fitotoxicidade de herbicidas aplicados em mudas de eucalipto com pontas de indução de ar. **Revista Brasileira de Herbicidas**, v.13, p.225-234, 2014.
- SILVA, J. F.; SILVA, J. F.; FERREIRA, L. R.; FERREIRA, F. A. Herbicida: absorção, translocação, metabolismo, formulação e misturas. In: SILVA, A. A.; SILVA, J. F. **Tópicos em manejo de plantas daninhas**. Universidade Federal de Viçosa, 367 p., 2007.
- SPRANKLE, P.; MEGGITT, W. F.; PENNER, D. Rapid inactivation of glyphosate in the soil. **Weed Science**, v.23, p.224-228, 1975.
- TAIZ, L.; ZEIGER, E. Fisiologia vegetal. 3.ed. **São Paulo: Artmed**, 719p., 2004.
- VIDAL, R. A.; MACHRY, M.; HERNANDES, G. C.; FLECK, N. G. Antagonismo na associação de glyphosate e triazinas. **Planta Daninha**, v.21, p.301-306, 2003.
- WANG, C.; YANG, A.; YIN, H.; ZHANG, J. Influence of Water Stress on Endogenous Hormone Contents and Cell Damage of Maize Seedlings. **Journal of Integrative Plant Biology**, v.50, p.427–34, 2008.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Nesta pesquisa, mostrou-se que os efeitos danosos da deriva do glyphosate sobre mudas de eucalipto ocorrem em diferentes níveis de acordo com a suscetibilidade dos clones ao herbicida. A adição de Fertiactyl à calda de glyphosate, em mistura no tanque, diminui a intoxicação das plantas de eucalipto dos três clones avaliados. Verificou-se, também, que a adição do boro à calda de glyphosate, junto com o Fertiactyl, aumentou essa proteção evitando a morte dos ponteiros, que é muito comum em plantas de eucalipto intoxicadas por glyphosate. Além disto, foi observado que o Fertiactyl aplicado em mistura em tanque com glyphosate diminui a absorção e translocação do herbicida nas plantas de eucalipto e supõe-se que há interação entre estes dois compostos. No entanto, novos estudos de sorção devem ser realizados para averiguar este fato. Assim, sugere-se a continuação dessa pesquisa em condições de campo, buscando avaliar a possibilidade de uma mistura comercial de boro com Fertiactyl. É importante, também, entender como acontece essa proteção, ou seja, se interação entre o glyphosate e o Fertiactyl, que protege as mudas de eucalipto da intoxicação causada pela deriva do herbicida, não interfere no controle das plantas daninhas, tornando-as mais tolerantes ao herbicida.