



**UNIVERSIDADE FEDERAL DA FRONTEIRA SUL**  
**CAMPUS ERECHIM**

**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA E TECNOLOGIA AMBIENTAL**

**CURSO DE MESTRADO EM CIÊNCIA E TECNOLOGIA AMBIENTAL**

**FELIPE ADELIO DE DAVID**

**EFEITO DA COMPETIÇÃO DE PLANTAS DANINHAS E DE HERBICIDAS NA  
MORFOFISIOLOGIA DA ERVA-MATE (*Ilex paraguariensis*)**

**ERECHIM**

**2017**

**FELIPE ADELIO DE DAVID**

**EFEITO DA COMPETIÇÃO DE PLANTAS DANINHAS E DE HERBICIDAS NA  
MORFOFISIOLOGIA DA ERVA-MATE (*Ilex paraguariensis*)**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia Ambiental da Universidade Federal da Fronteira Sul – UFFS como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Ciência e Tecnologia Ambiental, sob a orientação do Prof. D. Sc. Leandro Galon e do Prof. Dr. Gismael Francisco Perin.

**ERECHIM**

**2017**

**UNIVERSIDADE FEDERAL DA FRONTEIRA SUL**

ERS 135, Km 72, nº 200

Cep: 99.700-970

Erechim - RS

Brasil

**PROGRAD/DBIB - Divisão de Bibliotecas**

David, Felipe Adelio De

EFEITO DA COMPETIÇÃO DE PLANTAS DANINHAS E DE  
HERBICIDAS NA MORFOFISIOLOGIA DA ERVA-MATE (*Ilex  
paraguariensis*)/ Felipe Adelio De David. -- 2017.  
75 f.

Orientador: Leandro Galon.

Co-orientador: Gismael Francisco Perin.

Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal da  
Fronteira Sul, Programa de Pós-Graduação em Ciência e  
Tecnologia Ambiental (PPGCTA) , Erechim, RS , 2017.

1. *Ilex paraguariensis*. 2. Plantas daninhas. 3.  
Herbicidas. 4. Interferência. 5. Morfofisiologia. I.  
Galon, Leandro, orient. II. Perin, Gismael Francisco,  
co-orient. III. Universidade Federal da Fronteira Sul.  
IV. Título.

**FELIPE ADELIO DE DAVID**

**EFEITO DA COMPETIÇÃO DE PLANTAS DANINHAS E DE HERBICIDAS NA  
MORFOFISIOLOGIA DA ERVA-MATE (*Ilex paraguariensis*)**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia Ambiental da Universidade Federal da Fronteira Sul – UFFS. Para obtenção do título de Mestre em Ciência e Tecnologia Ambiental, defendido em banca examinadora em \_\_\_\_/\_\_\_\_/20\_\_

Orientadores (a): Prof. D. Sc. Leandro Galon e Prof. Dr. Gismael Francisco Perin

Aprovado em: \_\_\_\_/\_\_\_\_/\_\_\_\_

**BANCA EXAMINADORA**

---

Prof. D. Sc. Leandro Galon – UFFS  
Presidente/Orientador

---

Prof. Dr. Gismael Francisco Perin - UFFS  
Orientador

---

Prof. D. Sc. Siumar Pedro Tironi – UFFS  
Membro Externo

---

Prof. Dr. Altemir José Mossi – UFFS  
Membro Interno

Erechim/RS, fevereiro de 2017

## **AGRADECIMENTOS**

Inicialmente agradeço a Universidade Federal da Fronteira Sul, instituição na qual realizei o curso de Agronomia e atualmente o Mestrado em Ciência e Tecnologia Ambiental, ambos de excelente qualidade.

Agradeço meus Orientadores, Prof. D. Sc. Leandro Galon e Prof. Dr. Gismael Francisco Perin, e aos professores, Altemir José Mossi e Alfredo Castamann que durante o período do curso não mediram esforços para auxiliar no que for preciso para obter uma ótima formação e excelentes resultados com a pesquisa.

Aos demais professores, que repassaram uma enorme bagagem de informação, experiências profissionais, ensinamentos esses que vou levar para vida toda, pessoas que além de professores, hoje são grandes amigos.

Aos meus colegas de curso, pessoas que sempre auxiliaram nos trabalhos desenvolvidos e que contribuíram no aprendizado no decorrer desse período.

Ao grupo de pesquisa Manejo Sustentável dos Sistemas Agrícolas (MASSA), liderado pelo Prof. D. Sc. Leandro Galon, todas as pessoas que compõem esse grupo foram indispensáveis na execução das pesquisas e demais atividades desenvolvidas durante esse período.

Agradeço também as pessoas que indiretamente estavam sempre presentes no decorrer do curso, principalmente meu pai José De David, minha mãe Clair F.B. De David, minha irmã Paula R. De David e meu tio Pe. Adelar Pedro De David, e a meus amigos César Tiago Forte, Fernando Costella, Tiago Rezzadori e Eduardo Costella, que em nenhum momento deixaram de dar incentivo para que eu buscasse os objetivos.

Meu muito obrigado.

“Se outro homem já conseguiu, eu também consigo”.

José De David

## RESUMO GERAL

A erva-mate (*Ilex paraguariensis* St. Hil.), representa uma alternativa de exploração agrícola para propriedades do Sul do Brasil, e por ser uma espécie florestal arbórea encontrada somente na América do Sul, apresenta potencial para a exportação. Além de exercer função social e cultural, a erva-mate tem importância econômica desde pequenas até grandes propriedades. Contudo as boas práticas de manejo e o cultivo são essenciais para se obter elevada produtividade da cultura. Dentre os manejos adotados em ervais e que quando não manejados adequadamente ocasionam perdas na produtividade, está o controle das plantas daninhas. Na maioria dos casos, o controle é feito pelo método químico com uso de herbicidas. Na atualidade escassos ou ausentes são os registros do efeito que os herbicidas podem causar na erva-mate. Com isso, o objetivo deste trabalho foi avaliar a interferência de populações de espécies de plantas daninhas (experimento I) e múltiplas doses de herbicidas (experimento II) sobre as características morfofisiológicas da erva-mate. Foram conduzidos dois experimentos em casa de vegetação na Universidade Federal da Fronteira Sul (UFFS), Campus Erechim/RS, no ano agrícola de 2015. Para o experimento I, o delineamento experimental utilizado foi de bloco casualizados, arranjado em esquema fatorial 4 x 6, com quatro repetições. No fator A, foram alocadas as espécies de plantas daninhas (*Urochloa plantaginea* - papuã, *Bidens pilosa* – picão-preto, *Ipomoea indivisa* – corda-de-viola e *Conyza bonariensis* – buva) e no B as populações dessas espécies competindo com a erva-mate (0, 1, 2, 3, 4 e 5 plantas por vaso). As variáveis avaliadas na erva-mate e nas plantas daninhas foram concentração de CO<sub>2</sub> sub-estomática, taxa fotossintética, CO<sub>2</sub> consumido, condutância estomática de vapores de água, taxa de transpiração, eficiência do uso da água, altura, diâmetro, área foliar, massa seca da parte aérea das plantas e somente para a erva-mate foram avaliados ainda as concentrações foliares de nitrogênio, fósforo, cálcio e magnésio. No experimento II, o delineamento experimental utilizado foi de bloco casualizados, arranjado em esquema fatorial 4 x 7, com quatro repetições. No fator A foram alocadas as doses de herbicidas (0; 0,5; 1 e 2 vezes a recomendada em rótulo) e no B os herbicidas (tembotrione, chlorimuron-ethyl, oxyfluorfen, sethoxydim + diclosulam, metsulfuron-methyl, fomesafen + fluazifop-p-butyl e nicosulfuron). As variáveis avaliadas foram fitotoxicidade, altura, diâmetro do caule, teor de clorofila, concentração de CO<sub>2</sub> sub-estomática, taxa fotossintética, CO<sub>2</sub> consumido, condutância estomática de vapores de água, taxa de transpiração, eficiência do uso da água, massa seca da parte aérea e da raiz. No experimento I, o papuã mostrou-se mais competitivo e reduziu significativamente as variáveis morfofisiológicas da erva-mate. Dentre as espécies testadas, a buva mostrou-se menos prejudicial à fisiologia da erva-mate. A convivência com as plantas daninhas proporciona redução do acúmulo de nutrientes no tecido foliar da erva-mate. A corda-de-viola foi a espécie menos competitiva por nutrientes e o picão-preto o mais competitivo por fósforo. No experimento II, os herbicidas oxyfluorfen, fomesafen + fluazifop-p-butyl e nicosulfuron afetaram consideravelmente as características morfofisiológicas das plantas em todas as doses testadas. O chlorimuron-ethyl e o sethoxydim + diclosulam apresentaram potencial para serem usados na erva-mate até o dobro da dose, por demonstrarem baixa fitotoxicidade e reduzida interferência nas características morfofisiológicas da cultura.

**Palavras-chave:** Chlorimuron-ethyl, papuã e cultura perene.

## ABSTRACT

The mate (*Ilex paraguariensis* St. Hil.), represents an alternative of agricultural exploitation for properties of the South of Brazil, and because it is an arboreal forest species found only to the south of South America, it presents potential for export. In addition the mate exerts a social and cultural function, mate has economic importance from small to large properties. Nevertheless, good management practices and cultivation are essential for high crop productivity. Among the management adopted in the mate plantations and that when not properly managed cause losses in productivity is the control of weeds. However, in most cases, the control is done by the chemical method with the use of herbicides. Nowadays scarce or absent are the records of the effect that herbicides can cause on mate. Therefore, the objective of this work was to evaluate the interference of weed species populations (experiment I) and multiple doses of herbicides (experiment II) on the morphophysiological characteristics of mate. Two experiments were carried out under greenhouse conditions at the Federal University of Fronteira Sul (UFFS), *Campus Erechim / RS*, in the agricultural year of 2015. For experiment I, the experimental design was a randomized block, arranged in a factorial scheme 4 x 6, with four replicates. In factor A, weed species (*Urochloa plantaginea* - papuã, *Bidens pilosa* - picão-preto, *Ipomoea indivisa* - corda-de-viola and *Conyza bonariensis* - buva) were allocated, and in B the populations of these species competing with the mate (0, 1, 2, 3, 4 and 5 plants per pot). The variables evaluated in the mate and weed were sub-stomatal CO<sub>2</sub> concentration, photosynthetic rate, CO<sub>2</sub> consumption, stomatal conductance of water vapors, transpiration rate, water use efficiency, height, diameter, leaf area, mass dry matter of the aerial part of the plants and only for the mate were evaluated the leaf concentrations of nitrogen, phosphorus, calcium and magnesium. For experiment II, the experimental design was a randomized block, arranged in a 4 x 7 factorial scheme, with four replications. In factor A, were allocated the herbicides doses (0, 0.5, 1 and 2 doses recommended) and in factor B the herbicides (tembotrione, chlorimuron-ethyl, oxyfluorfen, sethoxydim + diclosulam, metsulfuron-methyl, fomesafen + fluazifop-p-butyl and nicosulfuron). The variables evaluated were: phytotoxicity, height, stem diameter, chlorophyll content, sub-stomatal CO<sub>2</sub> concentration, photosynthetic rate, CO<sub>2</sub> consumed, stomatal conductance of water vapors, transpiration rate, water use efficiency, dry mass of part aerial and root. In experiment I, the papuã showed to be more competitive and significantly reduced the morphophysiological variables of mate. Weed coexistence reduces nutrient accumulation in leaf tissue of mate. The corda-de-viola was the least competitive species for nutrients and the picão-preto was the most competitive by phosphorus. In experiment II, the herbicides oxyfluorfen, fomesafen + fluazifop-p-butyl and nicosulfuron considerably affected the morphophysiological characteristics of the plants at all doses tested. Chlorimuron-ethyl and sethoxydim + diclosulam showed potential to be used in the mate until double the dose, since they showed low phytotoxicity and reduced interference in the morphophysiological characteristics of the culture.

Key words: Chlorimuron-ethyl, papuã and perennial culture.



## SUMÁRIO

<b>INTRODUÇÃO GERAL</b> .....	9
<b>REFERÊNCIAS</b> .....	13
<b>ARTIGO I</b> .....	15
Interferência de plantas daninhas nas características morfofisiológicas e nutricionais da erva-mate ( <i>Ilex paraguariensis</i> ) .....	15
INTRODUÇÃO .....	16
MATERIAL E MÉTODOS .....	18
RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	19
REFERÊNCIAS.....	30
<b>ARTIGO II</b> .....	42
Seletividade de herbicidas à cultura da erva-mate ( <i>Ilex paraguariensis</i> ).....	42
INTRODUÇÃO .....	43
MATERIAL E MÉTODOS .....	45
RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	47
REFERÊNCIAS.....	59
<b>CONSIDERAÇÕES FINAIS</b> .....	73

## INTRODUÇÃO GERAL

A erva-mate (*Ilex paraguariensis* St. Hil.) é uma espécie florestal arbórea encontrada somente na América do Sul, com 80% de sua ocorrência natural no Brasil (Cardozo Jr. et al., 2010), desempenhando importante função social, cultural e principalmente econômica, para pequenas, médias e grandes propriedades rurais.

De acordo com a Secretaria de Agricultura e Abastecimento do Estado do Paraná (SEAB, 2014), o Brasil é o maior produtor mundial de erva-mate com 860 mil toneladas, à frente da Argentina e do Paraguai. A produção brasileira em 2013, foi de aproximadamente 515,45 mil toneladas em uma área de 67.400 ha, com produtividade média de 7,65 t ha<sup>-1</sup> ou 510 arrobas ha<sup>-1</sup>, sendo o Rio Grande do Sul responsável por 52% da produção dos ervais cultivados a pleno sol (SEAB, 2014).

Apesar da importância dos ervais para a economia, a produtividade alcançada está muito aquém do que poderia ser efetivamente produzido, caso fossem adotados manejos e tratos culturais adequados para que essa cultura expresse um maior potencial produtivo.

De acordo com Agostinetto et al. (2010) as culturas florestais, estão sujeitas a uma série de fatores ecológicos que de forma direta ou indireta, podem afetar o desenvolvimento das árvores, e no caso da erva-mate, a formação da estrutura da planta, bem como a produção de folhas. Isso ocorre pela presença de fatores limitantes ao crescimento e ao desenvolvimento da cultura, em especial mudanças drásticas do clima após a poda, como frios intensos e períodos de secas, ataque de insetos, doenças e a competição com plantas daninhas.

As perdas de produtividade ocasionadas pelo convívio das culturas com as plantas daninhas estão associadas diretamente à competição (Galon et al., 2013) e alelopatia e indiretamente, a redução da qualidade do produto colhido (Vargas e Roman, 2005). Por serem espécies de ocorrência natural, as plantas daninhas possuem elevada variabilidade genética, que lhes garante ampla habilidade competitiva de raiz e da parte aérea quando infestam as culturas (Carvalho et al., 2011), sejam anuais ou perenes.

A interferência das plantas daninhas sobre as culturas está relacionada e pode variar de acordo com a espécie, população e características competitivas da planta cultivada. Por ser uma cultura perene, a erva-mate sofre a competição de plantas daninhas durante todo seu ciclo produtivo. Porém, no período de pós transplantio das mudas, ocorre a maior interferência sobre as plantas em função do crescimento lento da erva-mate, sendo esta uma das principais dificuldades de formação do erval e da exploração do mesmo.

Destaca-se, no entanto, que são escassas as pesquisas que tenham avaliado a competição de plantas daninhas com a erva-mate, por esse motivo no presente estudo buscou-se na literatura culturas perenes florestais com manejo similar ao da erva-mate. Segundo Matos et al. (2013), a competição com plantas daninhas pode causar redução de 24 a 77% na produção do cafeeiro. Porém em testes de campo, Sousa et al. (2006), avaliaram que o desenvolvimento inicial de plantas de café é afetado significativamente a partir dos 146 dias após o transplântio, sem controle de plantas daninhas, até a morte das plantas de café aos 614 dias após o transplântio. Martins et al. (2015) e Medeiros et al. (2016) averiguaram acúmulo de nutrientes pelas plantas daninhas, interferindo significativamente no desenvolvimento inicial de cultivares de oliveira e clones de eucalipto.

Desta forma, faz-se necessária a adoção de métodos de controle de plantas daninhas em ervais, sendo eles, mecânicos, físicos, culturais ou químicos, com o intuito de minimizar a interferência das mesmas sobre a cultura e elevar a produtividade, que em ervais bem instalados e manejados de forma correta, pode chegar a 22,5 t ha<sup>-1</sup> ou 1.500 arrobas ha<sup>-1</sup>.

Segundo Toledo et al. (2000), o manejo de plantas daninhas em reflorestamentos pode ser realizado pelo emprego dos controles mecânicos e químicos, isolados ou combinados. O controle mecânico consiste basicamente em capinas e roçadas, com a vantagem de causar pouca ou nenhuma injúria às culturas florestais. Já o uso do método químico de controle das plantas daninhas se deve ao cultivo de grandes áreas, à praticidade, à eficácia, ao baixo custo e, principalmente, à utilização de menor quantidade de mão-de-obra em relação a outros métodos de controle (Galon et al., 2009).

Contudo, não há registro de herbicidas para o controle seletivo de plantas daninhas infestantes da cultura da erva-mate em pós-emergência (AGROFIT, 2017), bem como trabalhos que tenham avaliado a seletividade desses produtos comumente usados nos ervais. Os efeitos negativos dos herbicidas quando aplicados sobre as plantas cultivadas são importantes aspectos que devem ser avaliados durante o manejo da cultura, pois podem influenciar em vários aspectos, e no caso da erva-mate, refletir consequentemente na instalação da cultura quando em ervais em formação, no crescimento, no desenvolvimento e também na quantidade e na qualidade do produto colhido quando em ervais já formados.

Os herbicidas podem exercer efeitos diretos e indiretos sobre a cultura, ocasionando intoxicações (Das et al., 2003; Rizzardì et al., 2003; Galon et al., 2009), o que pode ter como consequências a redução das taxas de crescimento e desenvolvimento da erva-mate. Porém, alguns efeitos como alteração na absorção de nutrientes e desregulação dos mecanismos de defesa da cultura a determinados fatores abióticos ou bióticos, não são perceptíveis nem

amplamente considerados (Rizzardi et al., 2003), sendo relatados por poucos autores (Feng et al., 2005; Tuffi Santos et al., 2007; Galon et al., 2009).

Os efeitos de intoxicação não devem ser determinados apenas verificando os sintomas visuais, pois já são conhecidos exemplos de herbicidas que podem reduzir a produtividade das culturas sem causar efeitos visualmente detectáveis. Por outro lado, alguns herbicidas podem ocasionar injúrias acentuadas, que desaparecem com o desenvolvimento da cultura (Velini et al., 2000; Negrisoli et al., 2004).

A seletividade de herbicidas às culturas é muito dependente das características físico-químicas e da dose do herbicida, do estágio de desenvolvimento, da suscetibilidade dos genótipos e das condições edafoclimáticas no momento da aplicação. Em cana de açúcar pesquisas realizadas por Constantin (1993), Velini et al. (2000), Freitas et al. (2004), Ferreira et al. (2005) e Galon et al., (2010) demonstram distintas respostas de genótipos à aplicação de herbicidas, tendo como consequências frequentes problemas de intoxicação e às vezes quedas na produtividade e da qualidade do produto colhido.

Vários fatores podem influenciar o crescimento e desenvolvimento das culturas dentre estes destaca-se a atividade fotossintética, que pode ser influenciada direta ou indiretamente em função da deficiência hídrica, estresse térmico (Loreto e Bonghi, 1989), concentração interna e externa de gases (Kirschbaum e Pearcey, 1988), composição e intensidade da luz (Sharkey e Raschke, 1981) e, principalmente, estresses causados pela aplicação de herbicidas. Porém até o momento não se encontram trabalhos relacionados ao estudo do efeito de herbicidas sobre as características fisiológicas da erva-mate.

Pesquisas tem relatado o efeito negativo da aplicação de herbicidas sobre a fisiologia das plantas, como o mesotrione aplicado sobre cultivares de mandioca (Silveira et al., 2013), o fomesafen + fluazifop-p-butil usado em feijão (Manabe et al., 2014) ocasionaram reduções nas taxas fotossintéticas das plantas dessas culturas. Reis et al. (2014) ao testarem flumioxazin, sulfentrazone, oxyfluorfen, oxadiazon, S-metolachlor, linuron e pendimethalin aplicados em pré-emergência do girassol, verificaram que as taxas de assimilação líquida de CO<sub>2</sub>, a condutância estomática, a taxa transpiratória, a eficiência instantânea no uso da água e a relação entre as concentrações interna e externa de CO<sub>2</sub> e o consumo de CO<sub>2</sub> das plantas da cultura aos 27 dias após aplicação dos herbicidas não foram afetadas.

Destaca-se, no entanto que para a erva-mate, além de serem escassos os trabalhos que auxiliem no manejo dos ervais à campo, não há trabalhos que tenham avaliado a interferência de plantas daninhas e de herbicidas, sobre as características morfofisiológicas da cultura na atualidade.

A compreensão da relação de interferência de plantas daninhas e do uso de herbicidas nas áreas cultivadas possibilita elaborar estratégias que minimizem o impacto de ambos sobre a erva-mate e também ao ambiente e dessa forma, adotar um sistema de manejo integrado de plantas daninhas nos ervais. Sendo assim, a hipótese desse trabalho é de que as espécies de plantas daninhas em competição e a aplicação de herbicidas ocasionam efeitos negativos nas características morfofisiológicas da erva-mate. Para testar a hipótese, tem-se como o objetivo avaliar a interferência de espécies e populações de plantas daninhas, bem como o efeito de doses e de diferentes herbicidas sobre as características morfofisiológicas da erva-mate.

## REFERÊNCIAS

- Agostinetto D. et al. Seletividade de genótipos de eucalipto a doses de herbicidas. **Semina: Ciências Agrárias**. 2010;31:585-98.
- Cardozo Junior E.L. et al. Qualitative genetic analysis of methylxanthines and phenolic compounds in mate progênies. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**. 2010;45:171-77.
- Carvalho F.P. et al. Alocação de materia seca e capacidade competitiva de cultivares de milho com plantas daninhas. **Planta Daninha**. 2011;29:373-82.
- Constantin J. **Efeitos de diferentes períodos de controle e convivência da *Brachiaria decumbens* Stapf. com a cana-de-açúcar (*Saccharum spp.*)** [dissertação]. Botucatu: Universidade Estadual Paulista, 1993.
- Das A.C. et al. Effect of the herbicides oxadiazon and oxyfluorfen on phosphates solubilizing microorganisms and their persistence in rice fields. **Chemosphere**. 2003;53:217-21.
- Feng P.C.C. et al. Glyphosate inhibits rustdiseases in glyphosate-resistant wheat and soybean. **Proceedings of the National Academy Sciences**. 2005;102:17290-95.
- Ferreira E.A. et al. Sensibilidade de cultivares de cana-de-açúcar à mistura trifloxysulfuron-sodium + ametryn. **Planta Daninha**. 2005;23:93-99.
- Freitas S.P. et al. Controle químico de *Rottboellia exaltata* em cana-de-açúcar. **Planta Daninha**. 2004;22:461-66.
- Galon L. et al. Influência de herbicidas na qualidade da materia-prima de genótipos de cana-de-açúcar. **Planta Daninha**. 2009;27:555-62.
- Galon L. et al. Características fisiológicas de biótipos de *Conyza bonariensis* resistentes ao glyphosate cultivados sob competição. **Planta Daninha**. 2013;31:859-66.
- Galon L. et al. Tolerância de novos genótipos de cana-de-açúcar a herbicidas. **Planta Daninha**. 2010;28:329-38.
- Kirschbaum M.U.F., Percy R.W. Gas exchange analysis of the relative importance of stomatal and biochemicalfactors in phosynthetic induction in *Alocasia macrorrhiza*. **Plant Physiol**. 1988;86:782-85.
- Loreto F., Bonghi G. Combined low temperature-high light effects on gas exchange properties of jojoba leaves. **Plant Physiol**. 1989;91:1580-85.
- Manabe P.M.S. et al. Características fisiológicas de feijoeiro em competição com plantas daninhas. **Bioscience Journal**. 2014;30:1721-28.
- Martins M.M. et al. Crescimento inicial de mudas de oliveira em competição com plantas daninhas. **Revista Agrarian**. 2015;8:124-32.

Matos C.C. et al. Características fisiológicas do cafeeiro em competição com plantas daninhas. **Bioscience Journal**. 2013;29: 1111-19.

Medeiros W.N. et al. Crescimento inicial e concentração de nutrientes em clones de *Eucalyptus urophylla* x *Eucalyptus grandis* sob interferência de plantas daninhas. **Ciência Florestal**. 2016;26:147-57.

Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento – MAPA. **Agrofit**. Disponível em: <[http://agrofit.agricultura.gov.br/agrofit\\_cons/principal\\_agrofit\\_cons](http://agrofit.agricultura.gov.br/agrofit_cons/principal_agrofit_cons)>. Acesso em: 02 de fev. 2017.

Negrisola E. et al. Seletividade de herbicidas aplicados em pré-emergência na cultura da cana-de-açúcar tratada com nematicidas. **Planta Daninha**. 2004;22:567-75.

Reis R.M. et al. Aspectos fisiológicos e crescimento do girassol após aplicação de herbicidas em pré-emergência. **Revista Agroambiente**. 2014;8:352-58.

Rizzardi M.A. et al. Ação de herbicidas sobre mecanismos de defesa das plantas aos patógenos. **Ciência Rural**. 2003;33:957-65.

Secretaria de Estado da Agricultura e do Abastecimento - SEAB. **Produtos Florestais – Erva-mate**. Curitiba: 2014. 9p.

Sharkey T.D., Raschke K. Effect of light quality on stomatal opening in leaves of *Xanthium strumarium* L. **Plant Physiol**. 1981;68:1170-74.

Silveira H.M. et al. Características fisiológicas de cultivares de mandioca após aplicação do mesotrione. **Planta Daninha**. 2013;31:403-09.

Souza L.S. et al. Efeito das faixas de controle de capim-braquiária (*Brachiaria decumbens*) no desenvolvimento inicial e na produtividade do cafeeiro (*Coffea arabica*). **Planta Daninha**. 2006;24:715-720.

Toledo R.E.B. et al. Efeito de períodos de controle de plantas daninhas sobre o desenvolvimento inicial de plantas de eucalipto. **Planta Daninha**. 2000;18:395-404.

Tuffi Santos L.D. et al. Glyphosate sobre a resistência à ferrugem (*Puccinia psidii*) do eucalipto. **Planta Daninha**. 2007;25:139-47.

Vargas L., Roman, E.S. Seletividade e eficiência de herbicidas em cereais de inverno. **Revista Brasileira de Herbicidas**. 2005;4:1-10.

Velini E.D. et al. Avaliação da seletividade da mistura de oxyfluorfen e ametryne, aplicada em pré e pós-emergência, a dez variedades de cana-de-açúcar (cana planta). **Planta Daninha**. 2000;18:123-34.

## ARTIGO I

O artigo formatado de acordo com as normas da Revista Planta Daninha, para posterior submissão a mesma.

### INTERFERÊNCIA DE PLANTAS DANINHAS NAS CARACTERÍSTICAS MORFOFISIOLÓGICAS E NUTRICIONAIS DA ERVA-MATE (*Ilex paraguariensis*)

DAVID, F.A., GALON, L., PERIN, G.F., CASTAMANN, A., FORTE, C.T., MOSSI, A.J.

**RESUMO** – A erva-mate representa uma importante alternativa de exploração agrícola pelas propriedades do sul do Brasil com potencial de exportação do produto colhido e exploração de derivados da cultura. No entanto, são escassas as informações sobre a interferência causada pelas plantas daninhas sobre a erva-mate. O objetivo do trabalho foi avaliar a interferência de espécies de plantas daninhas sobre as características morfofisiológicas e nutricionais da erva-mate. O experimento foi instalado em casa de vegetação na Universidade Federal da Fronteira Sul (UFFS), *Campus* Erechim/RS. O delineamento experimental utilizado foi de bloco casualizados, arranjado em esquema fatorial 4 x 6, com quatro repetições. No fator A, foram alocadas as espécies de plantas daninhas (*Urochloa plantaginea* - papuã, *Bidens pilosa* – picão-preto, *Ipomoea indivisa* – corda-de-viola e *Conyza bonariensis* – buva) e no B as populações dessas espécies competindo com a erva-mate (0, 1, 2, 3, 4 e 5 plantas por vaso). As variáveis avaliadas na erva-mate e nas plantas daninhas foram concentração de CO<sub>2</sub> sub-estomática, taxa fotossintética, CO<sub>2</sub> consumido, condutância estomática de vapores de água, taxa de transpiração, eficiência do uso da água, altura, diâmetro de caule, área foliar e a massa seca da parte aérea das plantas. Para a erva-mate, além destas, foram avaliadas as concentrações de nitrogênio (N), fósforo (P), cálcio (Ca) e magnésio (Mg). O papuã mostrou-se mais competitivo e reduziu significativamente as variáveis morfofisiológicas da erva-mate. Dentre as espécies testadas, a buva mostrou-se menos prejudicial para a fisiologia da erva-mate. A convivência com as plantas daninhas proporciona redução dos nutrientes N, P, Ca e Mg no tecido foliar da erva-mate. A corda-de-viola foi a espécie menos competitiva por nutrientes e o picão-preto o mais competitivo por P.

**Palavras-chave:** *Urochloa plantaginea*, *Bidens pilosa*, *Ipomoea indivisa* e *Conyza bonariensis*.



## INTERFERENCE OF WEEDS IN THE MORPHOPHYSIOLOGICAL AND NUTRITIONAL CHARACTERISTICS OF THE MATE (*Ilex paraguariensis*)

**ABSTRACT** – The mate represents an alternative of agricultural exploitation by the properties of the South of Brazil with potential to export the harvested product. Although, there is scarce information on the interference caused by weeds on mate. The objective of this work was to evaluate the interference of weed species on the morphophysiological and nutritional characteristics of mate. The experiment was installed in a greenhouse at the Federal University of Fronteira Sul (UFFS), *Campus* Erechim/RS. The experimental design was a randomized block, arranged in a 4 x 6 factorial scheme, with four replications. In factor A, weed species (*Urochloa plantaginea* - papuã, *Bidens pilosa* - picão-preto, *Ipomoea indivisa* - corda-de-viola and *Conyza bonariensis* - buva) were allocated, and in B the populations of these species competing with the mate (0, 1, 2, 3, 4 and 5 plants per pot). The variables evaluated in weed and mate were sub-stomatic CO<sub>2</sub> concentration, photosynthetic rate, CO<sub>2</sub> consumed, stomatal conductance of water vapors, transpiration rate, water use efficiency, height, stem diameter, leaf area and the dry mass of the aerial part of the plants. Concentrations of nitrogen (N), phosphorus (P), calcium (Ca) and magnesium (Mg) were evaluated only for the mate. The papuã was more competitive and significantly reduced the morphological and physiological variables of mate. Among the species tested, the buva was less harmful to the physiology of mate. Weed coexistence reduces the nutrients N, P, Ca and Mg in the foliar tissue of the mate. The corda-de-viola was the least competitive species by nutrients and the most competitive was the picão-preto by P.

Key words: *Urochloa plantaginea*, *Bidens pilosa*, *Ipomoea indivisa* and *Conyza bonariensis*.

### INTRODUÇÃO

A erva-mate (*Ilex paraguariensis* St. Hil.) é uma espécie arbórea encontrada na América do Sul. Tem 80% de sua ocorrência natural no Brasil (Cardozo Jr. et al., 2010), desempenhando importante função econômica, social e até mesmo cultural, principalmente para a pequena propriedade rural.

Apesar da importância dos ervais para a economia, sua produtividade média de 7,65 t ha<sup>-1</sup> ou 510 arrobas ha<sup>-1</sup> (SEAB, 2014) está muito aquém do que poderia ser efetivamente produzido, caso fossem adotados manejos e tratos culturais adequados para uma boa expressão da produtividade dessa cultura.

De acordo com Agostinetto et al. (2010) as culturas florestais, estão sujeitas a uma série de fatores ecológicos que, direta ou indiretamente, podem afetar o crescimento das árvores, e no caso da erva-mate, a produção de folhas. Isso ocorre pela presença de fatores limitantes ao crescimento e ao desenvolvimento da cultura, em especial ataque de insetos, doenças e a competição com plantas daninhas.

As perdas de produtividade causadas por plantas daninhas estão associadas à competição (Galon et al., 2013), alelopatia e indiretamente, a redução da qualidade do produto colhido (Vargas e Roman, 2005). Por serem espécies de ocorrência natural, as plantas daninhas possuem variabilidade genética que lhes garante ampla habilidade competitiva de raiz e da parte aérea quando infestam as culturas (Carvalho et al., 2011), sejam anuais ou perenes.

A interferência das plantas daninhas sobre as culturas está relacionada e pode variar de acordo com a espécie, população e características competitivas da planta cultivada. Por ser uma cultura perene, a erva-mate sofre a competição de plantas daninhas durante todo seu ciclo produtivo, porém, no período de pós transplântio das mudas, ocorre a maior interferência sobre as plantas em função do crescimento lento da cultura, sendo esta uma das principais dificuldades de formação do erval e da exploração do mesmo.

De acordo com Matos et al. (2013) a competição com plantas daninhas pode causar redução de 24 a 77% na produção do cafeeiro. Porém em testes de campo, Sousa et al. (2006), avaliaram que o desenvolvimento inicial de plantas de café é afetado significativamente a partir dos 146 dias após o transplântio, sem controle de plantas daninhas, até a morte das plantas de café aos 614 dias após o transplântio.

Martins et al. (2015a) e Medeiros et al. (2016) averiguaram o acúmulo de nutrientes pelas plantas daninhas, interferindo significativamente no desenvolvimento inicial de cultivares de oliveira e clones de eucalipto. Destaca-se, no entanto, que para a erva-mate são escassos os trabalhos que tenham avaliado a interferência de plantas daninhas, bem como os efeitos das mesmas sobre as características morfofisiológicas e nos acúmulos de nutrientes em tecidos da cultura, por esse motivo foram relatados os efeitos das plantas daninhas sobre outras culturas perenes.

A compreensão da relação de interferência de plantas daninhas presentes nas áreas cultivadas possibilita elaborar estratégias que minimizem o uso de herbicidas e a doção do manejo integrado de plantas daninhas ocorrentes nos ervais. Sendo assim a hipótese desse trabalho é de que as plantas daninhas ocasionam efeitos negativos nas características morfofisiológicas e no acúmulo de nutrientes da erva-mate. Para testar a hipótese tem-se

como o objetivo avaliar a interferência de espécies de plantas daninhas sobre as características morfofisiológicas e nutricionais da erva-mate.

## MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi instalado em casa de vegetação, na Universidade Federal da Fronteira Sul (UFFS), *Campus* Erechim, durante os meses de maio a dezembro de 2015. O delineamento experimental utilizado foi de blocos casualizados, arranjado em esquema fatorial 4 x 6, com quatro repetições. No fator A, foram alocadas as espécies de plantas daninhas (*Urochloa plantaginea* - papuã, *Bidens pilosa* - picão-preto, *Ipomoea indivisa* - corda-de-viola e *Conyza bonariensis* - buva) e no B as populações dessas espécies (0, 1, 2, 3, 4 e 5 plantas por vaso).

As mudas de erva-mate de genótipo nativo foram selecionadas de mesmo lote de sementeira e tamanho uniforme de 0,20 m. Cada unidade experimental foi composta por um vaso com capacidade para oito litros preenchido com Latossolo Vermelho aluminoférrico onde foi transplantada uma muda, no centro do vaso. O solo apresentava as seguintes características químicas: pH<sub>(água)</sub> de 5,2; teor de matéria orgânica de 2%; P de 6,4 mg dm<sup>-3</sup>, respectivamente; Ca, Mg e CTC<sub>(pH 7,0)</sub> de 12; 3,8 e 21,8 cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>, respectivamente.

O transplântio foi realizado na primeira quinzena do mês de maio de 2015, sendo a adubação empregada de acordo com as recomendações técnicas para a cultura da erva-mate (ROLAS, 2004) 15 dias após o transplântio (DATp) com base na análise de solo. As mudas foram protegidas com tela de sombreamento 50% nos primeiros 30 DATp.

O transplântio das plantas daninhas foi realizado aos 90 DATp da erva-mate. Esta metodologia foi adotada buscando aproximar-se de uma condição de campo, onde o transplântio da erva-mate ocorre em lavoura livre da infestação de plantas daninhas, com posterior período de 90 dias de cuidados até o início da competição. A irrigação realizada variou de acordo com a demanda pelas plantas de erva-mate e plantas daninhas, nunca ocorrendo estresse hídrico.

Aos 160 DATp, quando as espécies daninhas encontravam-se na fase reprodutiva, foram avaliados: a concentração de CO<sub>2</sub> sub-estomática ( $C_i$  -  $\mu\text{mol mol}^{-1}$ ), taxa fotossintética ( $A$  -  $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ), CO<sub>2</sub> consumido ( $\Delta C$  -  $\mu\text{mol mol}^{-1}$ ) a partir dos valores de CO<sub>2</sub> de referência e CO<sub>2</sub> na câmara de avaliação, condutância estomática de vapores de água ( $G_s$  -  $\text{mol m}^{-1} \text{s}^{-1}$ ) e taxa de transpiração ( $E$  -  $\text{mol H}_2\text{O m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ), sendo calculada ainda a eficiência do uso da água ( $EUA$  -  $\text{mol CO}_2 \text{ mol H}_2\text{O}^{-1}$ ) a partir dos valores de quantidade de CO<sub>2</sub> fixado pela fotossíntese e quantidade de água transpirada. Essas variáveis foram determinadas no

terço médio e na primeira folha completamente expandida da erva-mate e das plantas daninhas, respectivamente. Para avaliar as variáveis fisiológicas foi utilizado um analisador de gases no infravermelho (IRGA), marca ADC, modelo LCA PRO (Analytical Development Co. Ltd, Hoddesdon, UK), sendo que cada bloco foi avaliado em um dia, entre oito e dez horas da manhã, de forma que se mantivessem as condições ambientais homogêneas durante as análises.

As variáveis avaliadas para a erva-mate e plantas daninhas aos 180 DATp foram: a altura (cm) com régua graduada desde rente ao solo até o meristema apical da planta. O diâmetro de caule (mm), determinado com paquímetro digital a 5 cm da superfície do solo. A área foliar ( $\text{cm}^2 \text{ vaso}^{-1}$ ) com medidor portátil de área foliar modelo CI-203 BioScience.

Aos 190 DATp as plantas de erva-mate e as plantas daninhas foram seccionadas rente ao solo, acondicionadas em sacos de papel *kraft* e postas para secagem em estufa de circulação forçada de ar a uma temperatura de  $65 \pm 5^\circ\text{C}$  durante quatro dias para determinar a massa seca ( $\text{gramas vaso}^{-1}$ ). Posteriormente, somente as folhas de erva-mate foram moídas e passaram por um processo de digestão por  $\text{H}_2\text{O}_2$ ,  $\text{H}_2\text{SO}_4$  com mistura de digestão e determinação do nitrogênio (N), fósforo (P), cálcio (Ca) e magnésio (Mg), conforme procedimentos descritos por Tedesco et al. (1995).

Os dados foram submetidos a análise de variância pelo teste F, e em sendo significativos para o fator quantitativo (população) foi aplicada análise de regressão lineares e não lineares e para o fator qualitativo (espécies daninhas) o teste de Tukey. Todos os testes foram efetuados a 5% de probabilidade.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Ocorreu interação entre as espécies de plantas daninhas e a população das mesmas que competiram com a erva-mate para todas as variáveis testadas. Para as variáveis relacionadas à fisiologia das plantas daninhas como: concentração de  $\text{CO}_2$  sub-estomática, taxa fotossintética,  $\text{CO}_2$  consumido, condutância estomática de vapores de água, taxa de transpiração e eficiência do uso da água, observou-se efeito positivo até a população de uma planta por vaso, a partir dessa os efeitos mantiveram-se contantes. Isso indica que a convivência de uma planta de erva-mate e o aumento da população até cinco plantas por vaso das espécies daninhas não influenciou nas características fisiológicas das mesmas, evidenciando baixo grau de competição entre plantas da mesma espécie nas populações testadas (Figuras 1A, 1B, 1C, 2A, 2B e 2C).

A estabilidade das características fisiológicas das plantas daninhas está relacionada com a disponibilidade dos recursos como água, nutrientes, luz e CO<sub>2</sub>, porém com maior habilidade competitiva pelas mesmas, perfazendo competição interespecífica. De forma que houve decréscimo em todas as variáveis fisiológicas da erva-mate com aumento da população, quando em competição com as plantas daninhas, exceto para a concentração de CO<sub>2</sub> subestomática ( $C_i$ ).

A população de uma planta de papuã e/ou de corda-de-viola competindo com a erva-mate proporcionou acréscimo significativo na  $C_i$  da cultura em relação à testemunha, não modificando a variável a partir das demais populações (Figura 3A). O aumento da  $C_i$  pelas plantas de erva-mate em convívio com as plantas daninhas está relacionada à competição pelos recursos disponíveis no meio. O incremento da  $C_i$  pode indicar uma tentativa da planta reduzir o estresse gerado pela competição, pois essa é uma variável fisiológica influenciada por fatores ambientais como disponibilidade hídrica, luz e energia, entre outros (Matos et al., 2013).

Observou-se que em convivência com o papuã, a  $C_i$  da erva-mate foi maior dentro das populações de uma e de três plantas por vaso em comparação às outras espécies (Tabela 1). Os resultados demonstram que a  $C_i$  da erva-mate foi igual quando essa competiu com papuã, o picão-preto e a corda-de-viola na população de duas plantas por vaso. Observou-se menor  $C_i$  da cultura quando essa conviveu com quatro plantas por vaso com picão-preto e buva, já na população mais alta não ocorreu diferenciação das espécies que competiram com a erva-mate.

O aumento da  $C_i$  da erva-mate quando em convivência com o papuã, indica a tentativa de redução ao estresse gerado por esta espécie, que neste caso causa elevada interferência principalmente por ser uma planta C<sub>4</sub>. Plantas com este metabolismo apresentam a enzima PEP-carboxilase, que em alta atividade, garante maior eficiência na absorção de CO<sub>2</sub> e permite às plantas reduzir a abertura estomática e, assim, conservar água, enquanto fixa CO<sub>2</sub> em velocidade igual ou superior das plantas C<sub>3</sub> (Taiz e Zeiger, 2009).

Deste modo, mesmo que nas plantas C<sub>4</sub> a concentração de CO<sub>2</sub> no mesófilo seja baixa, essas continuam acumulando biomassa, devido à alta afinidade pelo CO<sub>2</sub> apresentada pela PEP-carboxilase (Ferreira et al., 2011). Os resultados corroboram com os encontrados por Galon et al. (2013) ao relatarem aumento da  $C_i$  de biótipos de *Conyza bonariensis* resistente e suscetível ao glyphosate quando em competição em diferentes populações.

Observou-se que a taxa fotossintética ( $A$ ) da erva-mate decresceu com o aumento da população de picão-preto e da corda-de-viola. Com três plantas de picão-preto por vaso observou-se queda de 54,6% na  $A$  da cultura em convivência com a planta daninha. Ao

competir com a maior população de corda-de-viola (cinco plantas por vaso) houve queda linear de aproximadamente 61% da  $A$  da erva-mate (Figura 3B). Para as demais plantas daninhas o incremento da população não influenciou na  $A$  da erva-mate. Concenço et al. (2008) destacaram que a  $A$  está relacionada ao consumo de  $\text{CO}_2$  e com o aumento da massa das plantas. Com o aumento da população de plantas daninhas, aumentou-se o nível de competição e ocorreu queda no  $\text{CO}_2$  consumido ( $\Delta C$ ) pela erva-mate (Figura 3C), resultando também em menores  $A$  da cultura. Resultados similares foram observados por Matos et al. (2013) ao verificarem redução da  $A$  do cafeeiro em competição com *Mucuna aterrima* e *Urochloa decubens* nas densidades de 28 e 84 plantas  $\text{m}^{-2}$  respectivamente.

O  $\Delta C$  das plantas de erva-mate decresceu de forma drástica quando a erva-mate esteve infestada com até uma planta por vaso de papuã, picão-preto e corda-de-viola, a partir dessa população a cultura permaneceu perdendo o  $\Delta C$ , porém em níveis menores. Observou-se queda no  $\Delta C$  da erva-mate de aproximadamente 80, 49 e 59% quando infestada por papuã, picão-preto e corda-de-viola respectivamente, na população de cinco plantas por vaso, em comparação com a testemunha livre de competição (Figura 3C).

O consumo de  $\text{CO}_2$  pelas plantas está diretamente relacionado ao metabolismo das mesmas no momento da avaliação. Neste caso, o aumento da população das plantas daninhas gera maior competição com a cultura, ocasionando perda de eficiência metabólica e consequentemente consumindo menos  $\text{CO}_2$ . Os resultados corroboram com encontrados por Manabe et al. (2014), onde plantas de feijoeiro cultivadas isoladamente apresentaram maior consumo de  $\text{CO}_2$  em comparação às plantas da cultura cultivadas em competição com o picão-preto.

Para a condutância estomática de vapores de água ( $G_s$ ) da erva-mate, observou-se decréscimo de aproximadamente 21% da  $G_s$  ao se comparar a competição da população máxima de plantas daninhas (cinco plantas por vaso) com a testemunha, onde a cultura ficou livre de infestação (Figura 4A), as demais espécies não apresentaram ajuste aos modelos testados. A condutância foliar é composta pela condutância cuticular da epiderme, e quando há abertura de estômatos, pela  $G_s$ . Assim, a  $G_s$  é proporcional ao número, tamanho e diâmetro de abertura dos estômatos, características endógenas e exógenas à planta (Brodribb e Holbrook, 2003). A água somente é perdida por transpiração enquanto os estômatos estão abertos. A abertura e fechamento dos estômatos depende de fatores como radiação solar, nível de  $\text{CO}_2$  no mesófilo, umidade relativa, potencial hídrico, vento e substâncias de crescimento próprias de cada espécie (Galon et al., 2013).

Resultados semelhantes foram observados por Matos et al. (2013), ao denotarem decréscimo na  $G_s$  do cafeeiro, quando em convivência com plantas de *M. aterrima* e *U. plantaginea* na densidade de 28 plantas  $m^{-2}$ , em comparação com a testemunha livre de infestação. Desta forma, a redução da taxa fotossintética da erva-mate ocasionada pela convivência com populações crescentes de corda-de-viola afetou diretamente a  $G_s$  da cultura. Além destes fatores, a taxa de transpiração também está relacionada ao decréscimo da  $G_s$  da cultura.

A menor taxa de transpiração ( $E$ ) está associada ao fechamento ou variação da abertura estomática, causando alteração no potencial hídrico (Brodribb e Hill, 2000). Analisando-se a  $E$  da erva-mate foi verificado ajuste ao modelo linear para corda-de-viola e as populações testadas, fato esse que também foi observado para a  $G_s$ . O aumento da população da corda-de-viola ocasionou o decréscimo de  $E$  em até 25,3% na maior população (Figura 4B). Galon et al. (2013) observaram que houve redução gradual da  $E$  para os biótipos resistente e suscetível ao glyphosate de *C. bonariensis* quando testaram populações crescentes dessa planta daninha.

Os resultados demonstram que a eficiência do uso da água ( $EUA$ ) da erva-mate, ajustou-se aos modelos exponencial (papuã) e hiperbólico (corda-de-viola) quando a cultura esteve na presença das populações dessas plantas daninhas. Observou-se, em relação à testemunha (população zero), que ocorreu decréscimo de aproximadamente 49% na  $EUA$  da cultura competindo com o papuã, independente da população avaliada. As plantas de erva-mate cultivadas isoladamente apresentaram  $4,25 \text{ mol CO}_2 \text{ mol H}_2\text{O}^{-1}$ , quando competindo com corda-de-viola houve redução para 3,6; 3,1; 2,7; 2,4 e 2,2  $\text{mol CO}_2 \text{ mol H}_2\text{O}^{-1}$  nas populações de 1, 2, 3, 4 e 5 plantas por vaso respectivamente (Figura 4C).

A  $EUA$  é caracterizada como a quantidade de água transpirada para produção de certa quantidade de massa seca (Ferreira et al., 2011). A redução da  $EUA$  da cultura está relacionada diretamente ao decréscimo das taxas de  $\text{CO}_2$  consumido, de transpiração, de condutância dos vapores da água e taxa fotossintética da erva-mate em competição com as diferentes populações de plantas daninhas. Os resultados corroboram com os encontrados por Ferreira et al. (2015) ao verificaram que a soja em competição com populações crescente de *B. pilosa* e *U. brizantha* afetaram consideravelmente a  $EUA$  da cultura.

Analisando-se a fisiologia das plantas de erva-mate sob competição com as diferentes espécies de plantas daninhas, dentro de cada população, observou-se que a buva e o picão-preto foram as espécies menos competitivas, provocando menor decréscimo das variáveis

(Tabela 1). De acordo com Silva et al. (2014) biótipos de buva competem mais pelos recursos do meio com plantas da mesma espécie do que com espécies diferentes.

A buva é uma espécie extremamente prolífica que se estabelece e se adapta aos mais variados sistemas de produção e condições climáticas (Galon et al., 2013). Os dados obtidos são semelhantes aos relatados por Silva et al. (2014) ao verificaram que a convivência de soja com biótipos de buva evidenciou que a competição interespecífica foi mais importante, pois, em geral, todas as variáveis analisadas da soja foram reduzidas com o incremento da população da planta daninha.

Em situações específicas, com boa luminosidade, disponibilidade hídrica e disponibilidade de nutrientes as plantas de picão-preto conseguem desenvolver-se de forma menos agressiva às culturas. Isso explica a menor interferência da espécie sobre a fisiologia das plantas de erva-mate em praticamente todas as populações testadas. Ferreira et al. (2015) relataram que *B. pilosa* foi menos competitivo em relação a *U. brizantha* em todas variáveis fisiológicas e a massa seca da soja, o que vem de encontro ao encontrado no presente estudo.

O papuã mostrou-se mais agressivo ao competir com a erva-mate, pois praticamente em todas as variáveis fisiológicas das populações testadas houve decréscimo significativo dos valores da cultura (Tabela 1). Isso ocorre em função da elevada habilidade competitiva que o papuã apresenta com as culturas, fato já relatado quando essa planta daninha competiu com as cultura dos arroz irrigado (Galon et al., 2014) e da soja (Agostinetto et al., 2009). Plantas de papuã são mais eficientes na utilização do carbono por possuírem metabolismo C<sub>4</sub>, continuam incorporando carbono mesmo em concentrações muito pequenas podendo passar mais tempo com estômatos fechados e aumentar a eficiência de uso da água (Aspiazú et al., 2010).

Por terem o metabolismo mais eficiente, o papuã, assim como outras plantas daninhas gramíneas causam maiores interferências às culturas ao se comparar com outras espécies. A exemplo disso, Matos et al. (2013) verificaram que na maior densidade (84 plantas m<sup>-2</sup>) plantas de *U. decumbens* foram as que apresentaram maior interferência nos parâmetros fisiológicos do cafeeiro, reduzindo os valores de *E*, *Gs* e *A*, já a convivência com *U. plantaginea* proporcionou menor *Ci*, ao passo que *M. aterrima* não influenciou nas características fisiológicas da cultura.

A partir da população de quatro plantas por vaso, percebeu-se que a corda-de-viola passou a interferir de maneira mais significativa sobre as características fisiológicas da erva-mate (Tabela 1). Este fato está diretamente relacionado à competição interespecífica pelos recursos como água, luz e nutrientes com o aumento da população. A competição por luminosidade é um dos fatores que mais influencia na queda dos valores, pois espécies da



família *Convolvulaceae* entrelaçam seus ramos sobre a estrutura vegetativa das culturas, proporcionando sombreamento. Resultados similares foram relatados por Silva et al. (2009) ao avaliarem períodos crescentes de convivência de população de plantas daninhas com predominância de *Ipomoea hederifolia* em cana-soca. Esses autores concluíram que o potencial de redução do número de colmos e da produtividade chegou a 34 e 46% respectivamente.

Com relação à altura da erva-mate, não ocorreu ajuste dos dados aos modelos testados com as populações de plantas daninhas avaliadas (dados não apresentados). Já para as plantas daninhas houve ajuste para o papuã e a buva, sendo que não ocorreu variação da altura destas espécies com o aumento da população (Figura 5A). O fato do aumento da população não ter alterado as características fisiológicas das plantas daninhas explica os valores constantes da altura do papuã e da buva mesmo com o acréscimo de indivíduos na comunidade.

A variação da altura das plantas de erva-mate pode ter sido afetada não somente pelos fatores população e interferência das diferentes espécies de plantas daninhas, mas também pela característica genética diferenciada de cada planta de erva-mate. Resultados semelhantes foram encontrados por Martins et al. (2015a), testando dois cultivares de oliveira, os autores constataram que mudas do cultivar Arbequina em convivência com *U. brizantha*, *C. ensiformis* e *C. echinatus*, apresentaram menor crescimento que as mudas do cultivar Koroneiki, evidenciando a diferença competitiva entre os cultivares, atribuída neste caso a fatores genéticos.

Pode-se verificar que o aumento da população de papuã até quatro plantas por vaso, provocou maior decréscimo na altura da erva-mate. Porém na maior população (cinco plantas por vaso), ocorre o inverso. Observou-se ainda que as demais espécies de plantas daninhas causaram maior efeito negativo na altura para a cultura em relação ao papuã (Tabela 2). Na maior população testada, o picão-preto, a corda-de-viola e a buva afetaram de forma significativa a altura de plantas da erva-mate, em função do aumento das populações destas espécies, aumentando assim o nível de competição interespecífica com a cultura por água, luz, nutrientes e espaço físico (Tabela 2).

Resultados similares foram observados por Martins et al. (2015b) ao verificarem que a presença de sete plantas  $m^{-2}$  de *Amaranthus retroflexus*, *U. brizantha*, *B. pilosa* e *C. echinatus* interferiram na altura das mudas de dois cultivares de oliveira (Arbequina e Ascolano) comparando-se com a testemunha livre de plantas daninhas. Ao se comparar as duas cultivares verificou-se que as mudas de Arbequina competindo com *B. pilosa* e *A. retroflexus*

apresentaram menor altura, evidenciando assim que há diferença genética das plantas da cultura que podem influenciar na habilidade competitiva das mesmas (Martins et al., 2015b).

Com relação ao diâmetro da erva-mate ao competir com a buva, verificou-se que até três plantas competindo com a erva-mate não interferiram na variável em estudo, porém a partir dessa população ocorreu redução. Salienta-se que ocorreu redução de 2,8 e 17,4% do diâmetro da erva-mate ao competir com quatro e cinco plantas de buva, respectivamente (Figura 5B), as demais espécies não se ajustaram aos modelos testados. Esse comportamento está diretamente associado à redução nos valores das características fisiológicas da erva-mate, e também à competição interespecífica com o aumento das populações de plantas daninhas, sendo que a redução do diâmetro do caule da cultura na maior população é um reflexo do aumento da competição exercido pela buva. Toledo et al. (2000) também verificaram redução no diâmetro de clones de eucalipto em competição com *U. decumbens*.

De maneira similar ao que ocorreu com a altura de plantas observou-se que o crescimento em diâmetro do papuã manteve-se constante a partir de uma planta por vaso (Figura 5C). O mesmo fato foi observado para a *Ci*, *A*,  $\Delta C$ , *Gs*, *E* e *EUA* (Figuras 1A, 1B 1C 2A, 2B e 2C respectivamente), indicando que a estabilidade do diâmetro pode estar diretamente relacionado com o comportamento estável das características fisiológicas da espécie, mesmo com o aumento da população em competição.

Com relação à área foliar da erva-mate ocorreu ajuste ao modelo quadrático para a buva. A competição de duas plantas de buva com a cultura ocasionou aumento de aproximadamente 12% na variável em comparação com a testemunha ausente de planta daninha. A partir de duas plantas de buva competindo, observou-se redução da área foliar da erva-mate, chegando a cerca de 41% com cinco plantas em comparação à testemunha (Figura 6A). O aumento da área foliar da cultura em competição com até duas plantas de buva deve-se ao fato da erva-mate buscar livrar-se do efeito prejudicial da planta daninha, incrementando sua interceptação de energia luminosa e o nível de sombreamento (Silva et al., 2007). Porém com o acréscimo da população de buva tem-se redução na variável devido a competição imposta pela planta daninha, reduzindo o desenvolvimento da cultura. Costa et al. (2004) constataram redução de 42% área foliar do eucalipto aos 60 dias de convivência com a espécie *Commelina benghalensis*.

Para a área foliar das plantas daninhas, o aumento das populações de papuã e buva promoveu incremento da área foliar para ambas as espécies, chegando na máxima população testada a aproximadamente 1.570 e 550 cm<sup>2</sup> para papuã e buva respectivamente (Figura 6B), as populações de picão-preto e corda-de-viola não ajustaram-se aos modelos testados para a

área foliar. O incremento da área foliar com o aumento da população define que o número de indivíduos (plantas daninhas) é o principal fator que influencia na variável, ou seja, quanto maior o número de indivíduos, até um certo ponto, maior a expansão da área foliar.

Com relação à massa seca observou-se para o papuã, a corda-de-viola, a buva e as suas populações, da mesma forma que para a área foliar, o aumento no número de indivíduos influenciou no incremento da massa seca (Figura 6C). Ferreira et al., (2011) observaram comportamento similar para *U. decumbens* em comparação à *B. pilosa* e *Glycine max*, destacando que isso ocorre devido à maior eficiência no uso do CO<sub>2</sub> pela *U. decumbens*, fato que também ocorre para o papuã (*U. plantaginea*) no presente estudo, ou seja, plantas com metabolismo C<sub>4</sub> destaca-se na produção de massa seca.

Ao se analisar o diâmetro de caule, a área foliar e a massa seca da erva-mate em competição com as plantas daninhas estudadas, percebe-se que a variabilidade genética do biótipo de erva-mate e a competição inter e intraespecífica causada pelas diferentes populações de plantas daninhas, afeta os resultados das referidas variáveis estudadas de forma que estes não seguem uma tendência lógica. Porém, de modo geral, nota-se redução considerável da massa seca da erva-mate com até quatro plantas por vaso de picão-preto e a partir de três plantas de papuã competindo com a cultura. A buva apresentou interferência na máxima população testada e a corda-de-viola foi a menos agressiva para a massa seca da cultura em todas as populações testadas (Tabela 2).

Além da variabilidade dos resultados morfológicos estar relacionados com as características endógenas da erva-mate, pode estar relacionados também com as características competitivas das próprias plantas daninhas. O papuã é extremamente competitivo devido sua eficiência em fixação de carbono e a utilização da água. O picão-preto além de ser muito resistente à estresse hídrico (Ferreira et al., 2015), apresenta efeito de competição em decorrência do aumento do número de indivíduos e não da capacidade particular de cada indivíduo em competir com a cultura (Manabe et al., 2014). A corda-de-viola além da competição por água e nutrientes, é altamente competitiva por energia luminosa, uma vez que possui a capacidade de estabelecer estrutura vegetativa e reproduzir-se sob a estrutura das culturas, causando sombreamento. E a buva, possui alta capacidade prolífica (Galon et al., 2013) e semelhante ao picão-preto apresenta maior agressividade competitiva quando há aumento de sua população.

Com relação ao teor de nitrogênio (N) das plantas de erva-mate, houve ajuste aos modelos linear e quadrático para corda-de-viola e a buva e as populações avaliadas. A corda-de-viola proporcionou queda linear de 5,3; 10,6; 15,9; 21,2 e 26,5% no teor de N das folhas,

nas populações de 1, 2, 3, 4 e 5 plantas, respectivamente, em comparação com a testemunha (Figura 7A), ou seja, conforme aumentou-se a população de plantas daninhas competindo com a cultura houve decréscimo no acúmulo do nutriente nas folhas. Martins et al. (2015b) verificaram que em cultivares de oliveira ocorreram menores acúmulos nos teores de N em competição com *B. pilosa*, *C. echinatus*, *A. retroflexus* e *U. brizantha*.

Com relação à buva, houve redução de 47,5% até três plantas por vaso, a partir disso, com o aumento da população (quatro e cinco plantas por vaso) houve aumento do teor de N nas folhas da erva-mate (Figura 7A). Ao se comparar dentro de cada população foi possível verificar que a corda-de-viola foi menos competitiva que as demais espécies, absorvendo menos N (Tabela 3). Assim como Medeiros et al. (2016) constataram comportamento diferenciado na absorção de N e P por dois clones de eucalipto, este comportamento das plantas de erva-mate pode ser atribuído a variabilidade genética existente entre as plantas. Este fator influencia diretamente na habilidade competitiva e na extração de nutrientes pela cultura.

Para o teor de fósforo (P) das plantas de erva-mate ocorreram ajustes dos dados aos modelos hiperbólicos para o papuã e o picão-preto, e para a corda-de-viola linear nas populações testadas. Constatou-se redução no teor de P da erva-mate competindo com todas as espécies e populações. De modo geral, o papuã e o picão-preto ocasionaram redução de aproximadamente 57 e 92% na variável em comparação à testemunha e as populações (Figura 7B).

A corda-de-viola apresentou comportamento muito similar ao que ocorreu com o N, com redução de 10,5; 21; 31,6; 42,1 e 52,6% nas populações de 1, 2, 3, 4 e 5 plantas por vaso, respectivamente (Figura 7B) para o P. Ao se comparar as espécies daninhas dentro de cada população, observou-se de modo geral que o picão-preto foi o mais competitivo pelo nutriente, e neste caso a buva e a corda-de-viola foram as menos competitivas por P com a erva-mate (Tabela 3).

A redução no teor de P pela cultura em populações crescentes pode ser explicada pelo fato do elemento ter pouca mobilidade no solo. As plantas daninhas possuem desenvolvimento extremamente rápido em comparação com a erva-mate, podem expandir suas raízes de forma mais agressiva no solo, proporcionando maior absorção de elementos pouco móveis no solo, como é o caso do P, disponibilizando para a cultura menores quantidades. Os resultados corroboram com os encontrados por Fialho et al. (2012) ao verificaram que as folhas de cafeeiro livres da competição apresentaram concentração de P

19,5% superior às plantas que conviveram com densidades de seis plantas daninhas por vaso, independente da espécie testada.

O Ca não apresentou ajuste dos dados aos modelos testados entre as plantas daninhas e as populações (dados não apresentados). Para o teor de Mg da erva-mate somente as populações de picão-preto ocasionaram efeitos sobre a cultura, enquanto que para as demais espécies não se observou efeito do acréscimo das populações. Os resultados demonstram leve aumento do teor de Mg da erva-mate quando essa competiu com até duas plantas de picão-preto e posteriormente ocorreu decréscimo de aproximadamente 18% ao se comparar a população de cinco plantas em relação a testemunha (Figura 7C). Ao se comparar as espécies daninhas dentro de cada população, observou-se de modo geral que o picão-preto, a corda-de-viola e a buva foram mais competitivas por Ca e Mg nas maiores populações (Tabela 3).

Esse comportamento com relação ao Mg, pode ser atribuído à capacidade da erva-mate em competir pelo nutriente em convivência com até duas plantas de picão-preto por vaso, sendo que em populações maiores, a planta daninha consegue absorver maiores quantidades de Mg, tornando indisponível para a cultura, ou seja, se tem o efeito da competição interespecífica. Os resultados corroboram com os relatados por Fialho et al. (2012) ao denotarem redução nos teores de Mg à medida que se aumentou a população de plantas daninhas, independente da espécie.

Em geral, a competição com plantas daninhas de diferentes espécies no início do desenvolvimento das plantas de erva-mate pode comprometer todo ciclo da cultura. Verificou-se que com apenas uma planta daninha competindo, já houve redução do metabolismo da planta. Enquanto o metabolismo das plantas daninhas, independente da população permaneceu constante, inferindo que não ocorreu competição intraespecífica e sim interespecífica entre as espécies que conviveram em comunidade.

O aumento da população de buva promoveu redução do diâmetro e da área foliar das plantas de erva-mate. O papuã, por apresentar metabolismo  $C_4$ , demonstrou melhor *EUA* em comparação com todas as espécies testadas. Plantas de erva-mate em competição com o papuã, independente da população, apresentaram menor *EUA*. Além disso, com maiores níveis de competição com o papuã, ou seja, com quatro e cinco plantas por vaso, a erva-mate apresentou os menores resultados de área foliar e massa seca. Em termos nutricionais o aumento da população de corda-de-viola promoveu decréscimo nos teores de N e P da erva-mate, porém foi a espécie que menos competiu por estes nutrientes em relação a papuã, picão-preto e buva. De maneira geral, o papuã, o picão-preto e a buva foram mais competitivos por

N em comparação à corda-de-viola. O picão-preto mostrou-se extremamente competitivo por P, avaliando os níveis de nutrientes das folhas de erva-mate.

## REFERÊNCIAS

- Agostinetto, D. et al. Competitividade relativa da soja em convivência com papuã (*Brachiaria plantaginea*). **Scientia Agraria**. 2009;10:185-190.
- Agostinetto D. et al. Seletividade de genótipos de eucalipto a doses de herbicidas. **Semina: Ciências Agrárias**. 2010;31:585-98.
- Aspiazú I. et al. Eficiência fotossintética y de uso del agua por malezas. **Planta Daninha**. 2010; 28:87-92.
- Brodribb T.J., Hill, R.S. Increases in water potential gradient reduce xylem conductivity in whole plants. Evidence from a low-pressure conductivity method. **Plant Physiology**. 2000;123:1021-28.
- Brodribb T.J., Holbrook N.M. Stomatal closure during leaf dehydration, correlation with other leaf physiological traits. **Plant Physiology**. 2003;132:2166-73.
- Cardozo Junior E.L. et al. Qualitative genetic analysis of methylxanthines and phenolic compounds in mate progênies. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**. 2010;45:171-77.
- Carvalho F.P. et al. Alocação de matéria seca e capacidade competitiva de cultivares de milho com plantas daninhas. **Planta Daninha**. 2011;29:373-82.
- Concenço G. et al. Eficiência fotossintética de biótipos de azevém em condição de competição. **Planta Daninha**. 2008;19:247-53.
- Costa A.G.F. et al. Período de interferência de trapoeraba (*Commelina benghalensis* Hort.) no crescimento inicial de eucalipto (*Eucalyptus grandis* W. Hill ex Maiden). **Revista Árvore**. 2004;28:471-78.
- Ferreira E.A et al. Características fisiológicas da soja em relação a espécies de plantas daninhas. **Revista Trópica**. 2011;5:39-47.
- Ferreira E.A. et al. Aspectos fisiológicos da soja transgênica submetida à competição com plantas daninhas. **Revista de Ciência Agrárias**. 2015;58:115-21.
- Fialho C.M.T. et al. Teor foliar de nutrientes em plantas daninhas e de café cultivadas em competição. **Planta Daninha**. 2012;30:65-73.
- Galon L. et al. Características fisiológicas de biótipos de *Conyza bonariensis* resistentes ao glyphosate cultivados sob competição. **Planta Daninha**. 2013;31:859-66.
- Galon L. et al. Competitive interaction of rice genotypes against alexandergrass. **Planta Daninha**. 2014;32:533-42.
- Manabe P.M.S. et al. Características fisiológicas de feijoeiro em competição com plantas daninhas. **Bioscience Journal**. 2014;30:1721-28.
- Martins M.M. et al. Crescimento inicial de mudas de oliveira em competição com plantas daninhas. **Revista Agrarian**. (2015a);8:124-32.

Martins M.M. et al. Crescimento vegetativo e teores de nutrientes em mudas de oliveira em competição com plantas daninhas. **Comunicata Scientiae**. (2015b);6:430-36.

Matos C.C. et al. Características fisiológicas do cafeeiro em competição com plantas daninhas. **Bioscience Journal**. 2013;29: 1111-19.

Medeiros W.N. et al. Crescimento inicial e concentração de nutrientes em clones de *Eucalyptus urophylla* x *Eucalyptus grandis* sob interferência de plantas daninhas. **Ciência Florestal**. 2016;26:147-57.

Rede Oficial de Laboratórios de Análise de Solo e de Tecido Vegetal - ROLAS. **Manual de adubação e calagem para os estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina**. Porto Alegre: 2004. 400p.

Secretaria de Estado da Agricultura e do Abastecimento - SEAB. **Produtos Florestais – Erva-mate**. Curitiba: 2014. 9p.

Silva A.A., Ferreira F.A., Ferreira L.R., Santos J.B. Competição entre plantas daninhas e culturas. In: Silva A.A., Silva J.F. editores. **Tópicos em manejo de plantas daninhas**. Viçosa: UFV, 2007. Cap. 1, p.1-40.

Silva D.R.O. et al. Habilidade competitiva, alterações no metabolismo secundário e danos celulares de soja competindo com *Conyza bonariensis* resistente e suscetível a glyphosate. **Planta Daninha**. 2014;32:579-89.

Silva I.A.B. et al. Interferência de uma comunidade de plantas daninhas com predominância de *Ipomoea hederifolia* na cana-soca. **Planta Daninha**. 2009;27:265-72.

Souza L.S. et al. Efeito das faixas de controle de capim-braquiária (*Brachiaria decumbens*) no desenvolvimento inicial e na produtividade do cafeeiro (*Coffea arabica*). **Planta Daninha**. 2006;24:715-720.

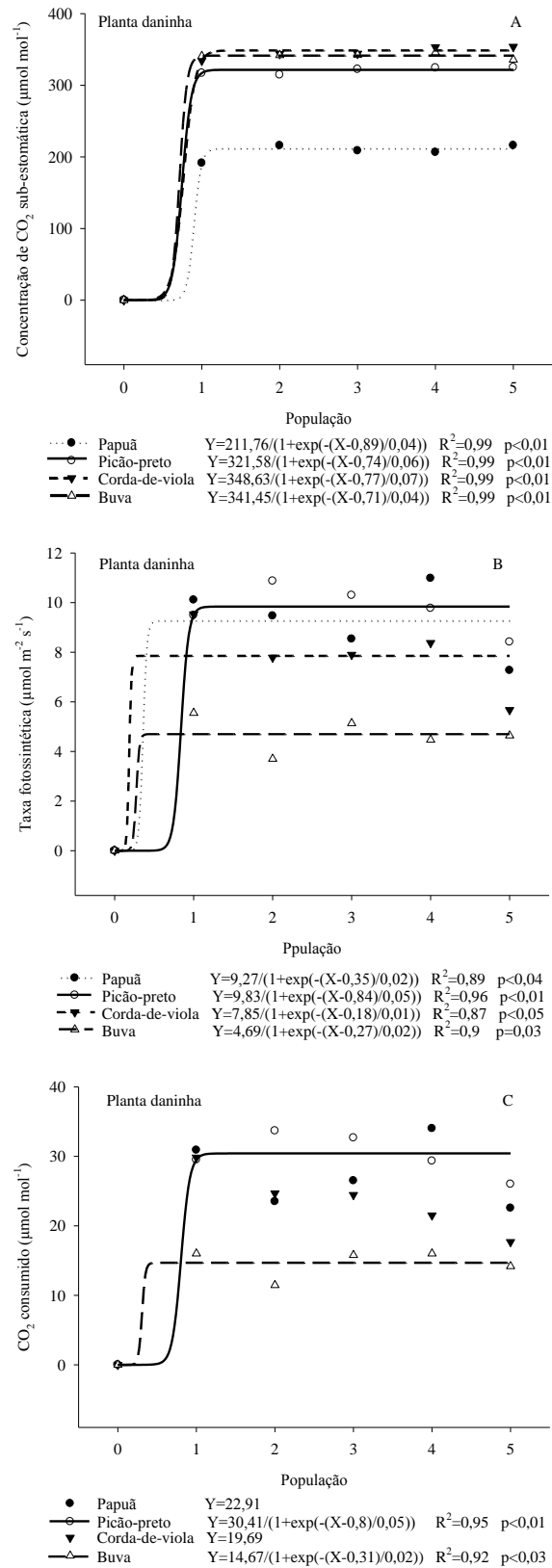
Taiz, L., Zeiger, E. **Fisiologia vegetal**. São Paulo: Artmed, 2009. 719 p.

Tedesco M.J., Gianello C., Bissani C.A., Bohnen H. Volkweiss S.J. **Análises de solo, plantas e outros materiais**. Porto Alegre: 1995. 174p.

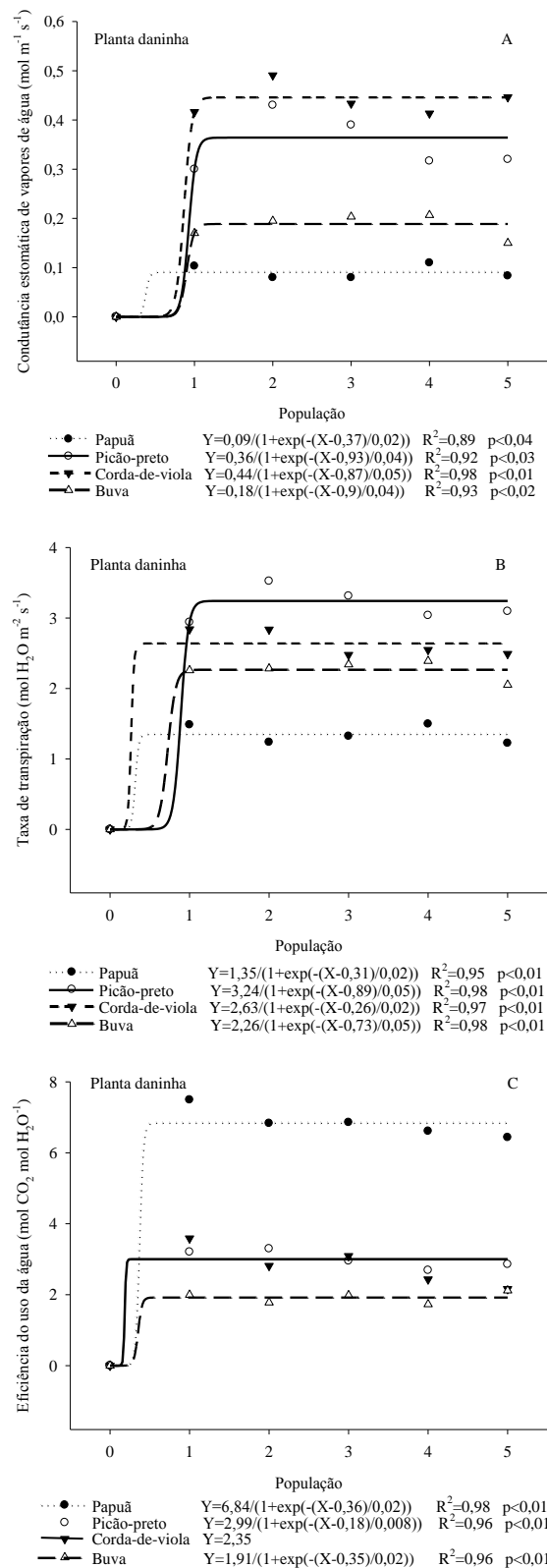
Toledo R.E.B. et al. Efeito de períodos de controle de plantas daninhas sobre o desenvolvimento inicial de plantas de eucalipto. **Planta Daninha**. 2000;18:395-404.

Vargas L., Roman, E.S. Seletividade e eficiência de herbicidas em cereais de inverno. **Revista Brasileira de Herbicidas**. 2005;4:1-10.

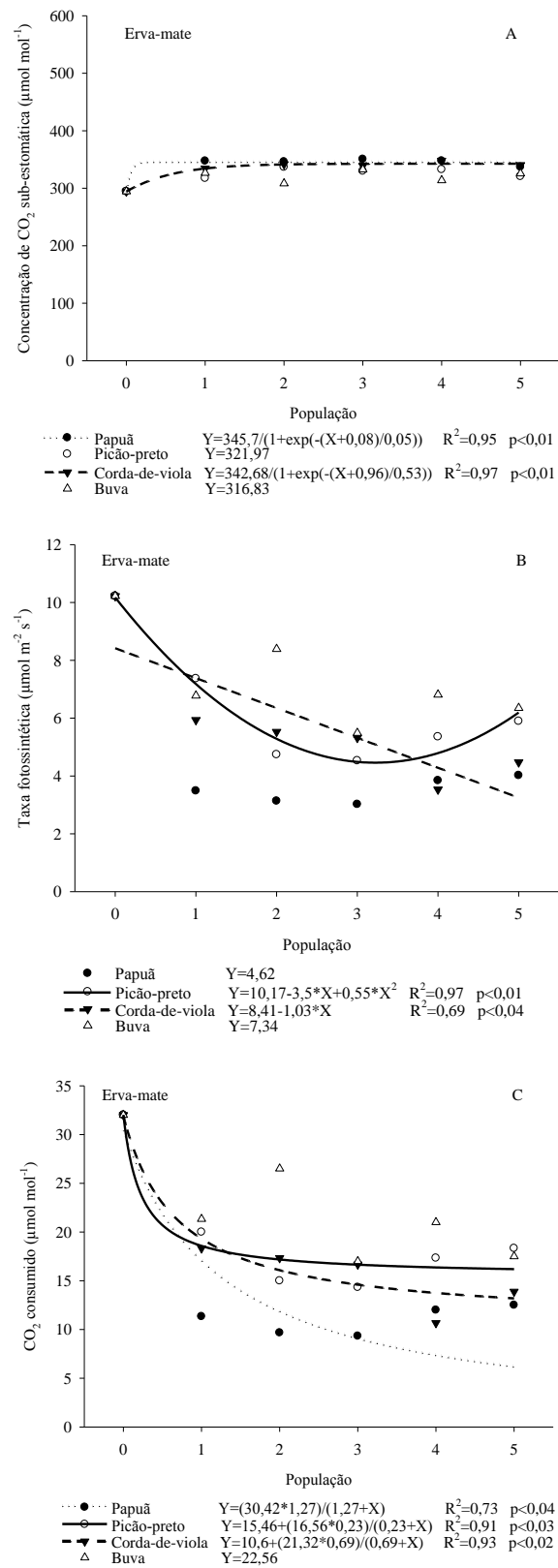




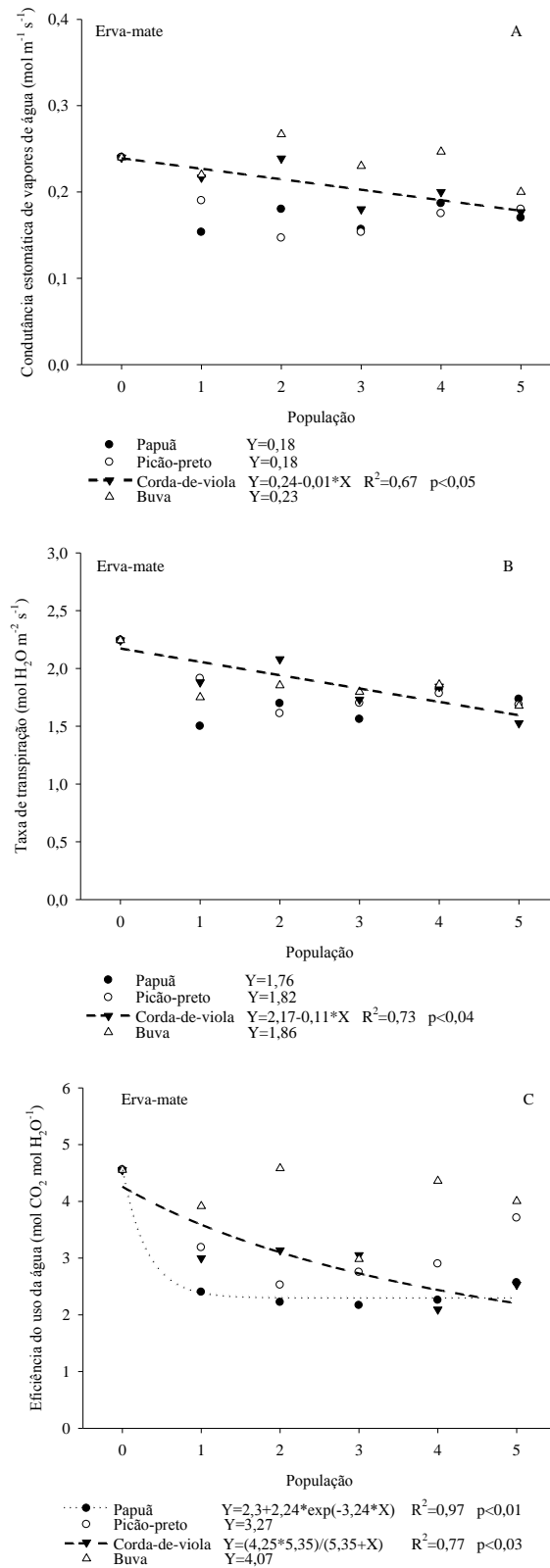
**Figura 1.** Concentração de CO<sub>2</sub> sub-estomática ( $C_i$  -  $\mu\text{mol mol}^{-1}$ ) (A), taxa fotossintética ( $A$  -  $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ) (B) e CO<sub>2</sub> consumido ( $\Delta C$  -  $\mu\text{mol mol}^{-1}$ ) (C) de papuã, picão-preto, corda-de-viola e buva em função de espécies e de populações das plantas daninhas. UFFS-Erechim, 2016.



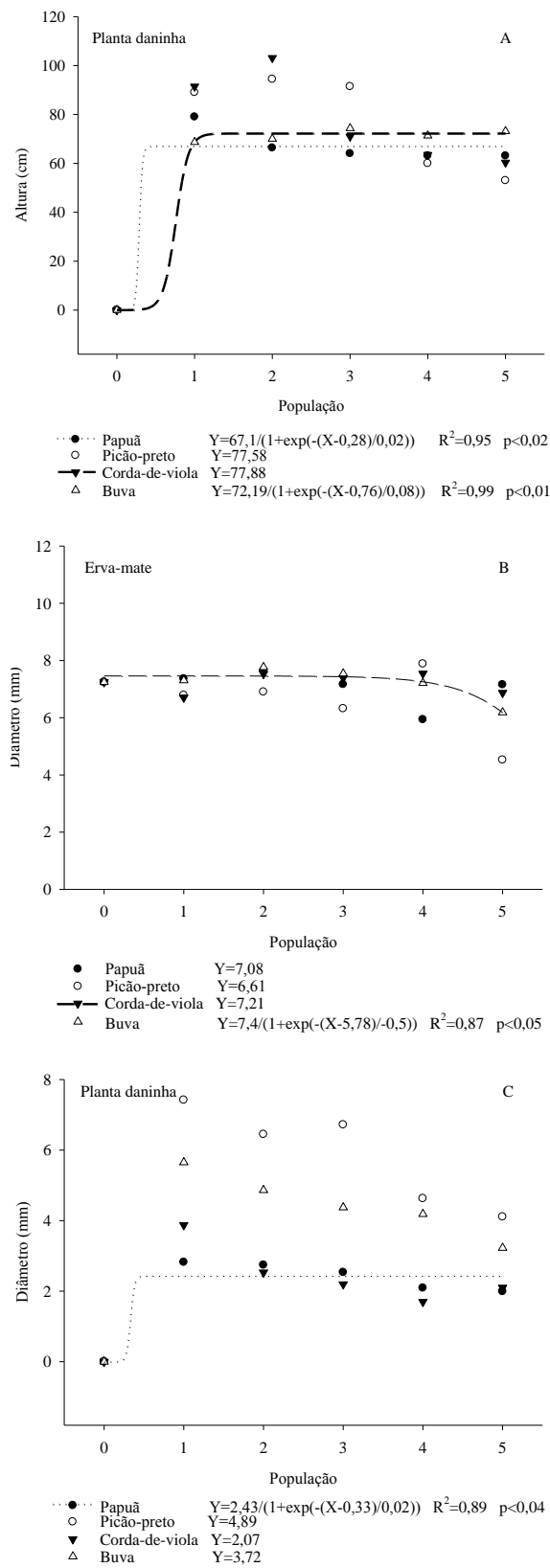
**Figura 2.** Condutância estomática de vapores de água ( $G_s$  -  $\text{mol m}^{-1} \text{s}^{-1}$ ) (A), taxa de transpiração ( $E$  -  $\text{mol H}_2\text{O m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ) (B) e eficiência do uso da água ( $EUA$  -  $\text{mol CO}_2 \text{ mol H}_2\text{O}^{-1}$ ) (C) de papuã, picão-preto, corda-de-viola e buva em função de espécies e de populações das plantas daninhas. UFFS-Erechim, 2016.



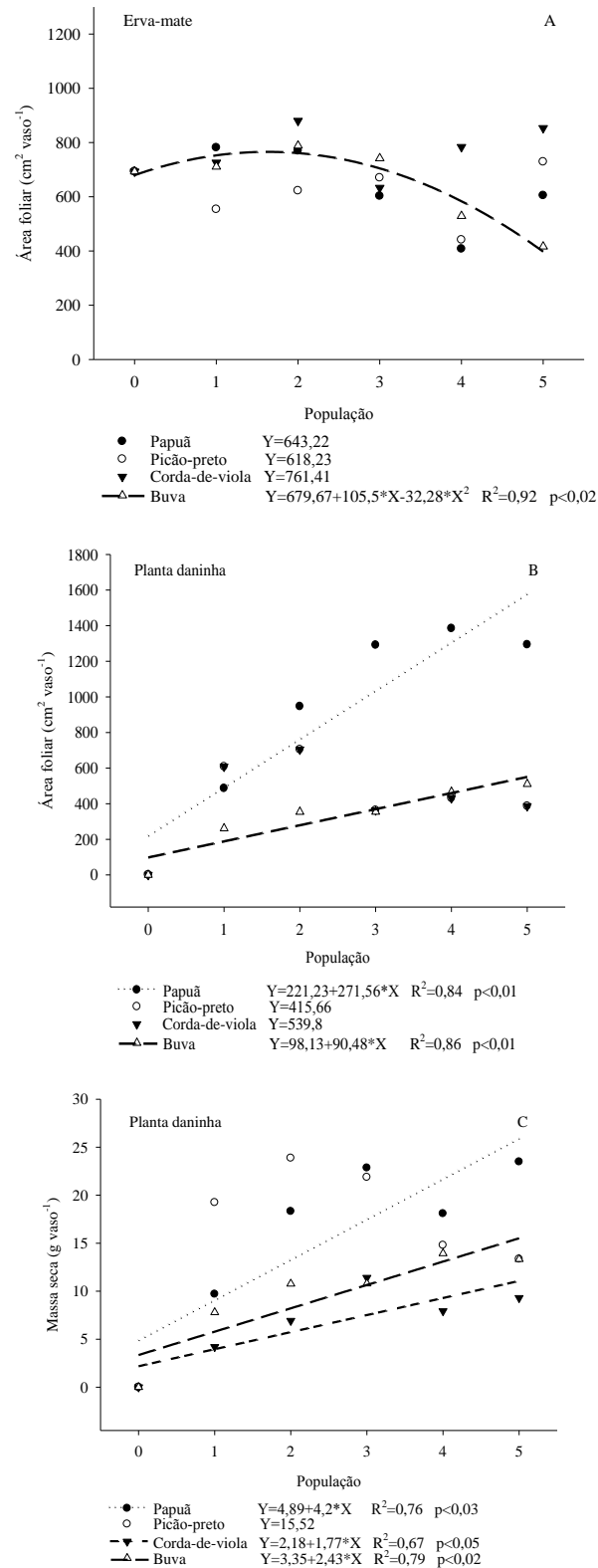
**Figura 3.** Concentração de  $\text{CO}_2$  sub-estomática ( $C_i$  -  $\mu\text{mol mol}^{-1}$ ) (A), taxa fotossintética ( $A$  -  $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ) (B) e  $\text{CO}_2$  consumido ( $\Delta C$  -  $\mu\text{mol mol}^{-1}$ ) (C) de erva-mate em função de espécies e de populações das plantas daninhas. UFFS-Erechim, 2016.



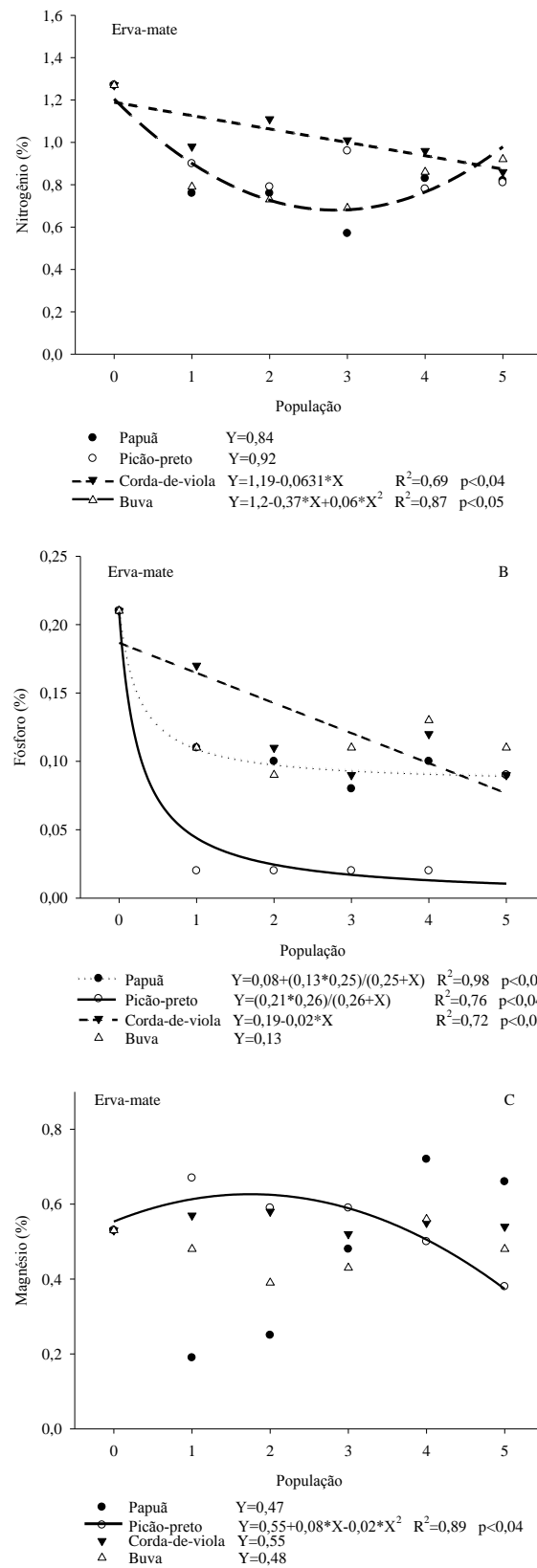
**Figura 4.** Condutância estomática de vapores de água ( $G_s$  -  $\text{mol m}^{-1} \text{s}^{-1}$ ) (A), taxa de transpiração ( $E$  -  $\text{mol H}_2\text{O m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ) (B) e eficiência do uso da água ( $EUA$  -  $\text{mol CO}_2 \text{ mol H}_2\text{O}^{-1}$ ) (C) da erva-mate em função de espécies e de populações das plantas daninhas. UFFS-Erechim, 2016.



**Figura 5.** Altura (cm) de plantas de papuã, picão-preto, corda-de-violão e buva (A), diâmetro (mm) de caules de erva-mate (B) e de papuã, picão-preto, corda-de-violão e buva (C) em função de espécies e de populações de plantas daninhas. UFFS-Erechim, 2016.



**Figura 6.** Área foliar ( $\text{cm}^2 \text{ vaso}^{-1}$ ) de erva-mate (A) e de papuã, picão-preto, corda-de-viola e buva (B) e massa seca ( $\text{g vaso}^{-1}$ ) de papuã, picão-preto, corda-de-viola e buva (C) em função de espécies e de populações das plantas daninhas. UFFS-Erechim, 2016.



**Figura 7.** Teor de nitrogênio (%) (A), fósforo (%) (B) e magnésio (%) (C), encontrados nos tecidos foliares da erva-mate em função de espécies e populações de plantas daninhas. UFFS-Erechim, 2016.

**Tabela 1.** Concentração de CO<sub>2</sub> sub-estomática (*Ci*), taxa fotossintética (*A*), CO<sub>2</sub> consumido ( $\Delta C$ ), condutância estomática de vapores de água (*Gs*), taxa de transpiração (*E*) e eficiência do uso da água (*EUA*) da erva-mate genótipo nativo em competição com populações de papuã, picão-preto, corda-de-viola e buva. UFFS-Erechim, 2016.

População	Espécie	<i>Ci</i>	<i>A</i>	$\Delta C$	<i>Gs</i>	<i>E</i>	<i>EUA</i>
		( $\mu\text{mol mol}^{-1}$ )	( $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ )	( $\mu\text{mol mol}^{-1}$ )	( $\text{mol m}^{-1} \text{s}^{-1}$ )	( $\text{mol H}_2\text{O m}^{-2} \text{s}^{-1}$ )	( $\text{mol CO}_2 \text{ mol H}_2\text{O}^{-1}$ )
0	Papuã	294,33 a <sup>1</sup>	10,22 a	32,00 a	0,24 a <sup>1</sup>	2,24 a	4,55 a
	Picão-preto	294,33 a	10,22 a	32,00 a	0,24 a	2,24 a	4,55 a
	Corda-de-viola	294,33 a	10,22 a	32,00 a	0,24 a	2,24 a	4,55 a
	Buva	294,33 a	10,22 a	32,00 a	0,24 a	2,24 a	4,55 a
1	Papuã	347,33 a	3,49 d	11,33 b	0,15 c	1,50 c	2,39 c
	Picão-preto	317,50 d	7,37 a	20,00 a	0,19 b	1,91 a	3,19 b
	Corda-de-viola	334,33 b	5,94 c	18,33 a	0,22 a	1,88 a	2,99 b
	Buva	326,67 c	6,77 b	21,33 a	0,22 a	1,75 b	3,91 a
2	Papuã	346,00 a	3,13 d	9,67 c	0,18 b	1,69 b	2,22 c
	Picão-preto	336,67 a	4,74 c	15,00 b	0,15 b	1,61 b	2,52 c
	Corda-de-viola	341,83 a	5,53 b	17,33 b	0,24 a	2,08 a	3,14 b
	Buva	308,33 b	8,39 a	26,50 a	0,27 a	1,85 ab	4,58 a
3	Papuã	350,50 a	3,02 b	9,33 b	0,16 bc	1,56 a	2,17 b
	Picão-preto	330,00 c	4,53 a	14,33 a	0,15 c	1,70 a	2,75 a
	Corda-de-viola	339,00 b	5,32 a	16,67 a	0,18 b	1,73 a	3,05 a
	Buva	332,50 bc	5,49 a	17,00 a	0,23 a	1,79 a	2,98 a
4	Papuã	347,67 a	3,84 c	12,00 b	0,19 b	1,82 a	2,26 c
	Picão-preto	332,67 b	5,36 b	17,33 a	0,17 b	1,78 a	2,89 b
	Corda-de-viola	348,00 a	3,53 c	10,67 b	0,20 b	1,84 a	2,09 c
	Buva	313,67 c	6,81 a	21,00 a	0,25 a	1,86 a	4,36 a
5	Papuã	337,00 a	4,02 b	12,50 b	0,17 a	1,73 a	2,57 b
	Picão-preto	320,67 a	5,89 a	18,33 a	0,18 a	1,65 a	3,71 a
	Corda-de-viola	340,33 a	4,47 b	13,89 b	0,18 a	1,53 a	2,53 b
	Buva	325,50 a	6,35 a	17,50 a	0,20 a	1,68 a	4,01 a
<b>C.V. (%)</b>		<b>1,75</b>	<b>6,89</b>	<b>7,63</b>	<b>8,03</b>	<b>6,63</b>	<b>9,19</b>

<sup>1</sup> Médias seguidas de mesma letra minúscula na coluna dentro de cada população não diferem entre si pelo teste de Tukey ( $p \leq 0,05$ ).



**Tabela 2.** Altura, diâmetro do caule, área foliar e massa seca de plantas de erva-mate genótipo nativo em competição com populações de papuã, picão-preto, corda-de-viola e buva. UFFS-Erechim, 2016.

População	Espécie	Altura (cm)	Diâmetro do caule (mm)	Área foliar (cm <sup>2</sup> vaso <sup>-1</sup> )	Massa seca (g vaso <sup>-1</sup> )
0	Papuã	44,67 a <sup>1</sup>	7,24 a	692,96 a	14,93 a
	Picão-preto	44,67 a	7,24 a	692,96 a	14,93 a
	Corda-de-viola	44,67 a	7,24 a	692,96 a	14,93 a
	Buva	44,67 a	7,24 a	692,96 a	14,93 a
1	Papuã	46,50 a	7,36 a	781,22 a	15,45 a
	Picão-preto	46,25 a	6,79 a	553,97 b	10,41 b
	Corda-de-viola	46,67 a	6,70 a	725,78 a	15,48 a
	Buva	49,83 a	7,30 a	710,83 a	16,13 a
2	Papuã	46,89 c	7,63 ab	769,77 b	16,97 a
	Picão-preto	51,67 b	6,90 b	622,53 c	13,42 b
	Corda-de-viola	56,78 a	7,53 ab	879,98 a	16,12 a
	Buva	54,00 b	7,77 a	788,46 ab	17,45 a
3	Papuã	45,67 b	7,16 ab	602,53 b	11,28 b
	Picão-preto	54,50 a	6,32 b	670,10 ab	11,64 b
	Corda-de-viola	46,44 b	7,39 ab	632,95 b	12,35 ab
	Buva	46,78 b	7,50 a	741,63 a	14,11 a
4	Papuã	30,50 b	5,93 b	407,88 c	9,55 b
	Picão-preto	49,22 a	7,88 a	441,08 c	9,71 b
	Corda-de-viola	42,33 a	7,54 a	783,62 a	15,86 a
	Buva	48,00 a	7,21 a	529,09 b	13,85 a
5	Papuã	45,89 a	7,16 a	604,95 c	10,04 c
	Picão-preto	42,50 b	4,52 c	728,71 b	14,89 a
	Corda-de-viola	40,67 b	6,87 a	853,19 a	14,48 a
	Buva	40,67 b	6,18 b	416,39 d	11,54 b
<b>C.V. (%)</b>		<b>4,98</b>	<b>8,39</b>	<b>4,91</b>	<b>7,45</b>

<sup>1</sup> Médias seguidas de mesma letra minúscula na coluna dentro de cada população não diferem entre si pelo teste de Tukey (p≤0,05).

**Tabela 3.** Teores de nitrogênio (N), fósforo (P), cálcio (Ca) e magnésio (Mg) em tecidos foliares de erva-mate genótipo nativo em competição com populações de papuã, picão-preto, corda-de-viola e buva. UFFS-Erechim, 2016.

População	Espécie	N	P	Ca	Mg
		%			
0	Papuã	1,27 a <sup>1</sup>	0,21 a	0,17 a	0,53 a
	Picão-preto	1,27 a	0,21 a	0,17 a	0,53 a
	Corda-de-viola	1,27 a	0,21 a	0,17 a	0,53 a
	Buva	1,27 a	0,21 a	0,17 a	0,53 a
1	Papuã	0,76 c	0,11 a	0,32 a	0,19 b
	Picão-preto	0,90 ab	0,02 b	0,29 a	0,67 a
	Corda-de-viola	0,98 a	0,17 a	0,30 a	0,57 a
	Buva	0,79 bc	0,11 a	0,25 a	0,48 a
2	Papuã	0,76 b	0,10 a	0,34 a	0,25 c
	Picão-preto	0,79 b	0,02 b	0,27 ab	0,59 a
	Corda-de-viola	1,11 a	0,11 a	0,33 a	0,58 a
	Buva	0,73 b	0,09 a	0,21 b	0,39 b
3	Papuã	0,57 b	0,08 b	0,21 a	0,48 ab
	Picão-preto	0,96 a	0,02 c	0,29 a	0,59 a
	Corda-de-viola	1,01 a	0,09 ab	0,22 a	0,52 ab
	Buva	0,69 b	0,11 a	0,21 a	0,43 b
4	Papuã	0,83 ab	0,10 b	0,42 a	0,72 a
	Picão-preto	0,78 b	0,02 c	0,29 b	0,50 b
	Corda-de-viola	0,96 a	0,12 ab	0,27 b	0,55 b
	Buva	0,86 ab	0,13 a	0,24 b	0,56 b
5	Papuã	0,82 a	0,09 a	0,32 a	0,66 a
	Picão-preto	0,81 a	0,09 a	0,21 b	0,38 b
	Corda-de-viola	0,86 a	0,09 a	0,24 b	0,54 ab
	Buva	0,92 a	0,11 a	0,19 b	0,48 b
<b>C.V. (%)</b>		<b>8,98</b>	<b>15,75</b>	<b>20,07</b>	<b>15,02</b>

<sup>1</sup> Médias seguidas de mesma letra minúscula na coluna dentro de cada população não diferem entre si pelo teste de Tukey ( $p \leq 0,05$ ).

## ARTIGO II

O artigo formatado de acordo com as normas da Revista Planta Daninha, para posterior submissão a mesma.

### SELETIVIDADE DE HERBICIDAS À CULTURA DA ERVA-MATE (*Ilex paraguariensis*)

DAVID, F.A., GALON, L., PERIN, G.F., MOSSI, A.J., DAVID, P.R., FORTE, C.T.

**RESUMO** – Os herbicidas podem causar efeitos negativos sobre as características morfofisiológicas das culturas agrícolas quando não se tem conhecimento da seletividade dos mesmos. Para a cultura da erva-mate são escassos os herbicidas registrados e recomendados para o controle de plantas daninhas. Nesse sentido objetivou-se com esse trabalho avaliar a seletividade de herbicidas aplicados em diferentes doses sobre a cultura da erva-mate. O experimento foi instalado em casa de vegetação da Universidade Federal da Fronteira Sul (UFFS), *Campus* Erechim/RS. O delineamento experimental utilizado foi de bloco casualizados, arranjado em esquema fatorial 4 x 7, com quatro repetições. No fator A foram alocadas as doses de herbicidas (0; 0,5; 1 e 2 vezes a dose recomendada em rótulo para outras culturas) e no B os herbicidas (tembotrione, chlorimuron-ethyl, oxyfluorfen, sethoxydim + diclosulam, metsulfuron-methyl, fomesafen + fluazifop-p-butyl e nicosulfuron). As variáveis avaliadas foram a fitotoxicidade, a altura, o diâmetro do caule, o teor de clorofila, a concentração de CO<sub>2</sub> sub-estomática, a taxa fotossintética, o CO<sub>2</sub> consumido, a condutância estomática de vapores de água, a taxa de transpiração, a eficiência do uso da água, a massa seca da parte aérea e das raízes da erva-mate. Os herbicidas interferem de maneira diferenciada na cultura da erva-mate. Os herbicidas oxyfluorfen, fomesafen + fluazifop-p-butyl e nicosulfuron interferiram negativamente nas características morfofisiológicas das plantas da erva-mate em todas as doses testadas. O chlorimuron-ethyl e o sethoxydim + diclosulam apresentaram potencial para serem usados na erva-mate até o dobro da dose, por apresentarem baixa fitotoxicidade e reduzida interferência nas características morfofisiológicas da cultura.

**Palavras-chave:** Chlorimuron-ethyl, cultura alternativa, manejo químico.

## SELECTIVITY OF HERBICIDES TO THE CULTURE OF MATE (*Ilex paraguariensis*)

**ABSTRACT** - Herbicides can have negative effects on the morphophysiological characteristics of agricultural crops when the selectivity of the crops is not known. The herbicides registered and recommended for weed control in mate are scarced. Thus, the objective of this work was to evaluate the selectivity of herbicides applied in different doses on the mate crop. The experiment was installed in a greenhouse at the Federal University of Fronteira Sul (UFFS), *Campus Erechim/RS*. The experimental design was a randomized block, arranged in a 4 x 7 factorial scheme, with four replications. In factor A, herbicide doses (0, 0.5, 1 and 2 times of recommended dose on label) and herbicides (tembotrione, chlorimuron-ethyl, oxyfluorfen, sethoxydim + diclosulam, metsulfuron-methyl, fomesafen + fluazifop-p-butyl and nicosulfuron). The variables evaluated were: phytotoxicity, height, stem diameter, chlorophyll content, sub-stomatal CO<sub>2</sub> concentration, photosynthetic rate, CO<sub>2</sub> consumed, stomatal conductance of water vapors, transpiration rate, efficiency of water use, dry mass of shoots and roots of mate. The herbicides affected differently in the mate culture. The herbicides oxyfluorfen, fomesafen + fluazifop-p-butyl and nicosulfuron considerably affected negative the morphophysiological characteristics of mate plants at all doses tested. Chlorimuron-ethyl and sethoxydim + diclosulam showed potential to be used in the mate until double the dose, because they present low phytotoxicity and reduced interference in the morphophysiological characteristics of the culture.

**Key words:** Chlorimuron-ethyl, alternative culture, chemical management.

## INTRODUÇÃO

A erva-mate (*Ilex paraguariensis* St. Hil.) é uma espécie arbórea nativa da América do Sul. Tem 80% de sua ocorrência natural no Brasil (Cardozo Jr. et al., 2010), desempenhando importante função econômica e social, principalmente para a pequena propriedade rural.

Apesar da importância dos ervais para a economia, sua produtividade de 7.650 kg ha<sup>-1</sup> ou 510 ar ha<sup>-1</sup> (SEAB, 2014) está muito aquém do que poderia ser efetivamente produzido. Isso ocorre pela presença de fatores limitantes ao crescimento e desenvolvimento da cultura.

Segundo Agostinetto et al. (2010) as culturas florestais, como qualquer população vegetal, estão sujeitas a uma série de fatores ecológicos que, direta ou indiretamente, podem afetar o crescimento das árvores, e no caso da erva-mate, a produção de folhas. Dentre estes

fatores, destaca-se a interferência ocasionada pelas plantas daninhas, que ocasionam perdas de produtividade em função da competição pelos recursos do meio (Galon et al., 2013a), alelopatia e também indiretamente pela redução da qualidade do produto colhido (Vargas e Roman, 2005).

Segundo Toledo et al. (2000), o manejo de plantas daninhas em reflorestamentos é realizado pelo emprego de controles mecânicos e químicos, isolados ou combinados. O controle mecânico é feito basicamente por capinas e roçadas, com a vantagem de causar pouca ou nenhuma injúria às culturas florestais. Já o uso generalizado do método químico de controle das plantas daninhas se deve ao cultivo de grandes áreas, à praticidade, à eficácia, ao baixo custo e, principalmente, à utilização de menor quantidade de mão-de-obra quando comparado com outros métodos de controle (Galon et al., 2009a).

Contudo, não há registro de herbicidas para o controle seletivo de plantas daninhas infestantes da cultura da erva-mate em pós-emergência (AGROFIT, 2017), bem como trabalhos que tenham avaliado a seletividade desses produtos comumente usados nos ervais. Os efeitos negativos dos herbicidas quando aplicados sobre as plantas cultivadas são importantes aspectos que devem ser considerados, pois podem influenciar em vários processos fisiológicos, refletindo conseqüentemente na quantidade e na qualidade do produto colhido.

Os herbicidas podem exercer efeitos diretos e indiretos sobre a cultura, ocasionando intoxicações (Das et al., 2003; Rizzardi et al., 2003), o que pode ter como conseqüências a redução das taxas de crescimento e desenvolvimento da erva-mate. Porém, alguns efeitos como alteração na absorção de nutrientes e desregulação dos mecanismos de defesa da cultura a determinados fatores abióticos ou bióticos, não são perceptíveis nem amplamente considerados (Rizzardi et al., 2003), sendo relatados por poucos autores (Feng et al., 2005; Tuffi Santos et al., 2007; Galon et al., 2009a).

Os efeitos de intoxicação não devem ser determinados apenas verificando os sintomas visuais, pois já são conhecidos exemplos de herbicidas que podem reduzir a produtividade das culturas sem causar efeitos visualmente detectáveis. Por outro lado, alguns herbicidas podem ocasionar injúrias acentuadas, que desaparecem com o desenvolvimento da cultura (Velini et al., 2000; Negrisoni et al., 2004; Galon et al., 2009a).

A seletividade de herbicidas às culturas é muito dependente das características físico-químicas e da dose do herbicida, do estágio de desenvolvimento, da suscetibilidade dos genótipos e das condições edafoclimáticas no momento da aplicação. Em cana de açúcar pesquisas realizadas por Constantin (1993), Velini et al. (2000), Freitas et al. (2004), Ferreira

et al. (2005) e Galon et al., (2010) demonstram distintas respostas de genótipos à aplicação de herbicidas, tendo como consequências frequentes problemas de intoxicação e às vezes quedas na produtividade e na qualidade do produto colhido.

Vários fatores podem influenciar o crescimento e o desenvolvimento da cultura dentre estes destaca-se a atividade fotossintética da erva-mate, que pode ser influenciada direta ou indiretamente em função da deficiência hídrica, estresse térmico (Loreto e Bonghi, 1989), concentração interna e externa de gases (Kirschbaum e Pearcy, 1988), composição e intensidade da luz (Sharkey e Raschke, 1981) e, principalmente, estresses causados pela aplicação de herbicidas. Porém até o momento são escassos os trabalhos relacionados ao estudo do efeito de herbicidas sobre a fisiologia da erva-mate, cabendo relatar o efeito desses produtos sobre a cultura.

Pesquisas tem relatado o efeito negativo da aplicação de herbicidas sobre a fisiologia das plantas, como o mesotrione aplicado sobre cultivares de mandioca (Silveira et al., 2013), o fomesafen + fluazifop-p-butil usado em feijão (Manabe et al., 2014) ocasionaram reduções nas taxas fotossintéticas das plantas. Reis et al. (2014) ao testarem flumioxazin, sulfentrazone, oxyfluorfen, oxadiazon, S-metolachlor, linuron e pendimethalin aplicados em pré-emergência do girassol, verificaram que as taxas de assimilação líquida de CO<sub>2</sub>, a condutância estomática, a taxa transpiratória, a eficiência instantânea no uso da água e a relação entre as concentrações interna e externa de CO<sub>2</sub> e o consumo de CO<sub>2</sub> das plantas da cultura aos 27 dias após aplicação dos herbicidas não foram afetadas.

Como a injúria dos herbicidas pode reduzir a produtividade, é importante conhecer o potencial de dano que esses produtos poderão oferecer à cultura (Spader e Vidal, 2001). Desse modo, para adotar o método químico de controle de plantas daninhas na erva-mate há necessidade de se avaliar a seletividade da cultura aos herbicidas, sendo que essa é variável de acordo com o produto e doses utilizados, influenciando as características morfofisiológicas da cultura.

A hipótese da pesquisa é de que ocorre diferenciação da seletividade de doses e de herbicidas aplicados na cultura da erva-mate. Nesse sentido para testar a hipótese o objetivo desse trabalho é avaliar a seletividade de herbicidas aplicados em diferentes doses sobre a cultura da erva-mate.

## **MATERIAL E MÉTODOS**

O experimento foi instalado em casa de vegetação, na Universidade Federal da Fronteira Sul (UFFS), *Campus* Erechim/RS, no delineamento de blocos casualizados,

arranjado em esquema fatorial 4 x 7, com quatro repetições. No fator A, foram alocadas as doses dos herbicidas (0; 0,5; 1 e 2 vezes a dose recomendada em rótulo) e no B os herbicidas (Tabela 1) recomendados para o controle de plantas daninhas infestantes de culturas agrícolas anuais ou perenes (AGROFIT, 2017).

**Tabela 1.** Herbicidas aplicados em em pós-emergência na erva-mate

<b>Herbicidas</b>		
<b>Produto comercial</b>	<b>Ingrediente ativo (i.a.)</b>	<b>Dose recomendada i.a. g ha<sup>-1</sup></b>
Soberan <sup>®</sup>	tembotrione	100,8
Classic <sup>®</sup>	chlorimuron-ethyl	20,0
Goal <sup>®</sup>	oxyfluorfen	960,0
Poast <sup>®</sup> +Spider <sup>®</sup>	sethoxydim+diclosulam	276,0 + 25,0
Ally <sup>®</sup>	metsulfuron-methyl	3,6
Fusiflex <sup>®</sup>	fomesafen+fluazifop-p-butyl	125,0 + 125,0
Nicosulfuron <sup>®</sup>	nicosulfuron	60,0

\* Todos os herbicidas receberam o adjuvante recomendado pelo respectivo fabricante

As mudas de erva-mate genótipo nativo da região de Erechim foram selecionadas de mesmo lote de semeadura e tamanho uniforme de 0,20 m cada. As unidades experimentais foram compostas por um vaso de polietileno com capacidade para oito litros, preenchido com Latossolo Vermelho aluminoférrico onde foi transplantada no centro uma muda, na primeira quinzena de maio de 2015. A adubação foi empregada de acordo com as recomendações técnicas para a cultura da erva-mate (ROLAS, 2004) 15 dias após o transplântio (DATp), com base na análise de solo. As mudas foram protegidas com tela de sombreamento 50% nos primeiros 30 DATp.

A aplicação dos herbicidas foi realizada aos 60 DATp, sendo esses pulverizados diretamente sobre as mudas de erva-mate com pulverizador costal de precisão pressurizado a CO<sub>2</sub>, munido com uma ponta de pulverização da série TT 110.02, operando a uma pressão constante de 2,0 kgf cm<sup>-2</sup>, o que possibilitou aplicação de um volume de calda equivalente a 150 L ha<sup>-1</sup>.

As variáveis avaliadas foram: fitotoxicidade dos herbicidas à erva-mate aos 7, 14, 21, 28, 35, 42, e 49 dias após aplicação dos tratamentos (DAT), sendo essa aferida visualmente atribuindo-se notas de zero a 100% por dois avaliadores, em que a nota zero (0%) corresponde a nenhuma injúria e a nota cem (100%) a morte completa das plantas, conforme metodologia proposta pela SBCPD (1995).

Aos 50 DAT foram aferidas: a altura das plantas (cm) com régua graduada, desde rente ao solo até o meristema apical da planta. O diâmetro de caule (cm), determinado com paquímetro digital a 5 cm da superfície do solo. O teor de clorofila (SPAD) com um medidor de clorofila (SPAD 502 Plus) aferindo-se as folhas em seu terço inferior, mediano e superior

das plantas em cada tratamento. Aos 51 DAT determinou-se a concentração de CO<sub>2</sub> subestomática ( $C_i$  -  $\mu\text{mol mol}^{-1}$ ), taxa fotossintética ( $A$  -  $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ), CO<sub>2</sub> consumido ( $\Delta C$  -  $\mu\text{mol mol}^{-1}$ ) a partir dos valores de CO<sub>2</sub> de referência e CO<sub>2</sub> na câmara de avaliação, condutância estomática de vapores de água ( $G_s$  -  $\text{mol m}^{-1} \text{s}^{-1}$ ), taxa de transpiração ( $E$  -  $\text{mol H}_2\text{O m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ), sendo calculada ainda a eficiência do uso da água ( $EUA$  -  $\text{mol CO}_2 \text{ mol H}_2\text{O}^{-1}$ ) a partir dos valores de quantidade de CO<sub>2</sub> fixado pela fotossíntese e quantidade de água transpirada. Essas variáveis foram determinadas no terço médio das plantas da erva-mate, na primeira folha completamente expandida. Para avaliar as variáveis fisiológicas foi utilizado um analisador de gases no infravermelho (IRGA), marca ADC, modelo LCA PRO (Analytical Development Co. Ltd, Hoddesdon, UK), sendo que cada bloco foi avaliado em um dia, entre oito e dez horas da manhã, de forma que se mantivessem as condições ambientais homogêneas durante as análises.

Aos 70 DAT as plantas foram retiradas dos vasos, posteriormente seccionadas e separadas em parte aérea e raiz, acondicionadas em sacos de papel e postas para secagem em estufa de circulação forçada de ar a uma temperatura de  $65 \pm 5^\circ\text{C}$  durante quatro dias para determinar a massa seca (g).

Os dados foram submetidos a análise de variância pelo teste F, e em sendo significativos para o fator quantitativo (doses) aplicou-se regressões lineares e não lineares e para o fator qualitativo (herbicidas) o teste de Tukey. Todos os testes foram efetuados a 5% de probabilidade.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Ocorreu interação entre os herbicidas e as doses dos mesmos para todas as variáveis estudadas. Com relação à fitotoxicidade, constatou-se acréscimo da mesma às plantas de erva-mate à medida que aumentou-se as doses dos herbicidas. O fomesafen + fluazifop-p-butil e o nicosulfuron apresentaram maior e menor fitotóxicos à cultura respectivamente, porém todos os tratamentos influenciaram de forma negativa sobre as variáveis morfológicas da erva-mate.

Os resultados demonstram que a fitotoxicidade à cultura variou em função das doses e dos herbicidas. Aos 07 DAT constatou-se acréscimo da fitotoxicidade à erva-mate em função do aumento da dose de fomesafen + fluazifop-p-butil, sendo a maior injúria observada com aplicação de duas vezes a dose recomendada ( $250 + 250 \text{ g ha}^{-1}$ ). A aplicação de sethoxydim + diclosulam demonstrou pouco incremento da fitotoxicidade até o uso de meia dose, a partir dessa ocorreu estabilização com valor máximo de 4% (Figura 1A).



Para os demais herbicidas testados não houve ajustes dos dados aos modelos testados, porém a média de fitotoxicidade dos mesmos para a erva-mate não ultrapassou aos 6,42%. Ressalta-se, no entanto, que os índices baixos de fitotoxicidade encontrados aos 7 DAT deve-se ao fato de que dependendo do mecanismo de ação a que pertence o herbicida tem-se a necessidade de maior tempo para que o mesmo demonstre injúria as plantas em que são aplicados (Rodrigues e Almeida, 2011).

Resultados similares foram encontrados por Machado et al. (2010), onde os autores verificaram aumento da fitotoxicidade em plantas de eucalipto tratadas com doses crescentes de glyphosate aos 7 DAT. Em experimento realizado com cana-de-açúcar, Galon et al., (2013b) observaram aumento nos valores da fitotoxicidade entre a primeira e a segunda avaliação para os genótipos testados sob aplicação de trifloxysulfuron-sodium (22,5 g ha<sup>-1</sup>), evidenciando ação mais lenta de alguns herbicidas de acordo com o mecanismo de ação a que pertencem, nesse caso pertencente a ALS.

Ao se comparar o efeito dos herbicidas dentro de cada dose, observou-se que aos 7 DAT, fomesafen + fluazifop-p-butil e oxyfluorfen causaram maior injúria à erva-mate. Contudo na maior dose testada, sethoxydim + diclosulam e nicosulfuron também apresentam elevada fitotoxicidade não diferindo de oxyfluorfen (Tabela 2).

O fomesafen e oxyfluorfen são herbicidas inibidores da enzima protoporfirinogênio oxidase (PROTOX), envolvida na rota de síntese da clorofila. Em plantas sensíveis aos herbicidas deste mecanismo de ação, ocorre acúmulo de protoporfirinogênio IX, que na presença de luz, catalisa a formação de oxigênio singleto, responsável pela peroxidação dos lipídios das membranas celulares (Tuffi Santos et al., 2006). Desta forma o efeito destes herbicidas é unicamente de contato, apresentando ação rápida já em poucas horas após a aplicação (Oliveira Jr. et al., 2011). Tiburcio et al. (2012) constataram injúrias de aproximadamente 65% em clones de *Eucalyptus grandis* e *E. urophylla* ao avaliarem a deriva simulada, com aplicação de 12% da dose recomendada, de fomesafen + fluazifop-p-butil.

Convém ressaltar que fomesafen também pertence ao mecanismo inibidor de PROTOX e o fluazifop-p-butil aos inibidores da enzima acetil-CoA carboxilase (ACCase), também chamados de “graminocidas específicos”. De acordo com Vidal e Merotto (2001) existem dois tipos de ACCase, um deles é formado de três sub-unidades, das quais uma apresenta gene cloroplástico. Esta sub-unidade é insensível à ação dos graminocidas, sendo que as dicotiledôneas apresentam 100% da ACCase do cloroplasto e 80% da ACCase do citoplasma. Desta forma o efeito do fluazifop-p-butil é praticamente nulo, inclusive à erva-

mate. Com isso os efeitos da mistura fomesafen + fluazifop-p-butil pode ser atribuído em grande parte ao fomesafen e muito pouco ao fluazifop-p-butil.

Aos 14 DAT, o tembotrione, sethoxydim + diclosulam e nicosulfuron não apresentaram ajuste aos modelos testados. Todos os herbicidas apresentaram incremento nos níveis de injúria às plantas (Figura 1B). O fomesafen + fluazifop-p-butil causou a maior fitotoxicidade, de aproximadamente 48%, com aplicação de duas vezes a dose recomendada (250 + 250 g ha<sup>-1</sup>). O chlorimuron-ethyl apresentou baixos níveis de fitotoxicidade à erva-mate, com sintomas de aproximadamente 9% a partir da meia dose testada.

O acréscimo das doses de fomesafen + fluazifop-p-butil e nicosulfuron provocaram aumentos lineares da fitotoxicidade à erva-mate, de 50 e 17,4% respectivamente ao se usar duas vezes a dose recomendada, aos 21 DAT (Figura 2A). Os herbicidas chlorimuron-ethyl e sethoxydim + diclosulam demonstraram estabilidade de aproximadamente 10,5% para ambos a partir do uso de meia dose. Para os demais herbicidas não houve ajuste dos dados aos modelos testados, porém ao se comparar as médias dos mesmos observou-se que oxyfluorfen apresentou o maior índice de fitotoxicidade, 16%, sendo mais elevado que os demais.

Aos 28 DAT o fomesafen + fluazifop-p-butil manteve os índices elevados de fitotoxicidade, porém observou-se leve redução, para aproximadamente 48% ao se aplicar duas vezes a dose recomendada (Figura 2B). O nicosulfuron proporcionou incremento da fitotoxicidade, atingindo 23,9% ao se aplicar o dobro da dose recomendada. O uso de oxyfluorfen e chlorimuron-ethyl demonstraram fitotoxicidade de 5 e 15% respectivamente, ao se aplicar a metade ou mesmo o dobro da dose comercial destes herbicidas. O tembotrione, sethoxydim + diclosulam e metsulfuron-methyl não apresentaram ajuste aos modelos testados, porém apresentaram fitotoxicidades médias de 10, 11 e 12%, respectivamente.

Os resultados demonstram que o fomesafen + fluazifop-p-butil, o nicosulfuron e o tembotrione provocaram acréscimo linear da fitotoxicidade de aproximadamente 47, 35 e 25% respectivamente com o dobro da dose testada (Figura 3A) e somente chlorimuron-ethyl não apresentou ajuste aos modelos testados na avaliação dos 35 DAT. Os demais herbicidas se mostraram pouco fitotóxicos à erva-mate, a injúria destes variou de aproximadamente 5 a 15% mesmo com o dobro da dose aplicada (Tabela 2).

Aos 42 DAT o fomesafen + fluazifop-p-butil mantiveram os maiores índices de fitotoxicidade em relação aos demais herbicidas, em torno de 39%. O nicosulfuron apresentou fitotoxicidade de cerca de 28% ao se aplicar o dobro da dose recomendada (Figura 3B). Baixos níveis de fitotoxicidade foram verificados para os demais herbicidas dentro de todas as

doses aplicadas, exceto para tembotrione que apresentou injúria de 18% ao se usar o dobro da dose ( $201,6 \text{ g ha}^{-1}$ ) (Tabela 2).

Na última avaliação de fitotoxicidade efetuada aos 49 DAT, o herbicida nicosulfuron apresentou o maior índice de injúria à erva-mate, chegando a cerca de 17 e 34% ao se usar a dose e o dobro da dose recomendada, respectivamente. Semelhante ao nicosulfuron, o metsulfuron-methyl apresentou incremento linear com relação à injúria nas plantas, ocasionando fitotoxicidade de aproximadamente 16% com aplicação do dobro da dose recomendada (Figura 4).

Observou-se que o oxyfluorfen e o chlorimuron-ethyl demonstram fitotoxicidade entre 1 e 5%, mesmo com o incremento das doses. A partir do uso da metade da dose até o dobro da dose aplicada, o tembotrione, sethoxydim + diclosulam e fomesafen + fluazifop-p-butil não apresentaram ajuste aos modelos testados (Figura 4), no entanto suas médias foram de 5, 3 e 3%, respectivamente.

Observou-se que os herbicidas oxyfluorfen e fomesafen + fluazifop-p-butil até os 35 DAT apresentaram maior injúrias à erva-mate principalmente nos ramos e folhas mais tenras dentro da dose e do dobro da dose testadas. Sendo que aos 49 DAT o efeito fitotóxico de ambos os herbicidas não ultrapassou os 11%, mesmo com aplicação do dobro da dose (Tabela 2). Isso é decorrência do efeito de contato dos herbicidas causando injúrias com necrose e morte do sistema apical, até os 35 DAT. A recuperação ocorreu em função da emissão de novas brotações da erva-mate e conseqüentemente a mesma se livrou dos sintomas de injúrias provocadas pelos herbicidas. Estudos com herbicidas de ação localizada indicam na cultura da cana-de-açúcar que essa pode tolerar até 27% de comprometimento da área foliar sem que isso implique na redução da produtividade (Velini et al., 1993). Entretanto, para herbicidas sistêmicos esse valor pode ser diferenciado, dependendo do processo fisiológico afetado pelo produto e no caso da erva-mate não se tem índices de quanto a mesma pode tolerar de fitotoxicidade de herbicidas sem comprometer a produtividade de folhas.

Para os herbicidas que apresentarem efeito de contato, novas brotações que surgirem após a aplicação não são afetadas (Oliveira Júnior et al., 2011), desde que a injúria não seja elevada, ao ponto de ocasionar a morte dos meristemas de crescimento. Os resultados corroboram com os relatados por Tiburcio et al. (2012) ao constatarem fitotoxicidade média de aproximadamente 70% aos 7 DAT, em clones de eucalipto, com uso de 12% da dose recomendada de fomesafen + fluazifop-p-butil, sendo que aos 30 DAT, os mesmos autores verificaram redução na fitotoxicidade para 10%, evidenciando recuperação das plantas.

O herbicida tembotrione apresentou ação fitotóxica lenta, não diferindo estatisticamente de oxyfluorfen e fomesafen + fluazifop-p-butil ao se comparar a meia dose aos 21 DAT. A maior injúria de tembotrione sobre a erva-mate foi observada com a utilização do dobro da dose ( $201,6 \text{ g ha}^{-1}$ ) quando chegou a 26% aos 35 DAT (Tabela 2). Em geral, nas avaliações posteriores o nível de fitotoxicidade foi menor, denotando-se a recuperação da planta tratada com o herbicida.

Herbicidas inibidores de carotenóides atuam de forma eficiente em pré ou pós-emergência inicial das plantas (Vidal e Merotto, 2001). O fato da erva-mate ser transplantada com estrutura vegetativa mais desenvolvida, garantiu recuperação das plantas após os 35 DAT. Os resultados são similares aos encontrados por Brandão et al. (2014), em que a aplicação de tembotrione em pós-emergência em vários estágios na cultura do açaí promoveu baixa fitotoxicidade às plantas.

Os herbicidas chlorimuron-ethyl, metsulfuron-methyl, nicosulfuron e diclosulam são inibidores da enzima acetolactato sintase (ALS), porém apresentaram comportamento diferenciado com relação a erva-mate. Ressalta-se que, como o fluazifop-p-butil, o sethoxydim também é inibidor da ACCase, e não apresentou injúrias severas a erva-mate, podendo ser aplicado para o controle de plantas daninhas gramíneas infestantes dessa cultura.

Nas avaliações e dentro de todas as doses testadas os herbicidas chlorimuron-ethyl, metsulfuron-methyl e sethoxydim + diclosulam apresentaram fitotoxicidade abaixo de 15% à erva-mate (Tabela 2). Isso pode ser explicado em função de que a cultura consegue metabolizar a molécula herbicida com tal velocidade que impede que esta chegue ao sitio de ação da enzima ALS (Vidal e Merotto, 2001) e venha ocasionar severas injúrias. Resultados semelhantes foram encontrados por Agostinetto et al. (2010) estudando a seletividade de genótipos de eucaliptos às doses de herbicidas. Os mesmos autores verificaram que a mistura de sethoxydim + diclosulam apresentou fitotoxicidade média à cultura de 24%.

O nicosulfuron apresentou fitotoxicidade abaixo de 13% em todas as doses testadas nas duas primeiras avaliações, já dos 21 aos 49 DAT o herbicida ocasionou aumento crescente da fitotoxicidade à erva-mate, de até 35% no dobro da dose (Tabela 2). Esse fato explica-se em função de que, os herbicidas inibidores da ALS têm ação mais lenta, podendo levar até semanas para demonstrar injúria às plantas (Rodrigues e Almeida, 2011). Tiburcio et al. (2012) observaram que a utilização de 12% da dose recomendada de nicosulfuron aplicado em eucalipto causou significativo aumento na fitotoxicidade da cultura em aproximadamente 80%, aos 30 DAT.

Os dados relativos à altura de plantas da erva-mate ajustaram-se aos modelos testados somente para as doses aplicadas de chlorimuron-ethyl e metsulfuron-methyl. Para ambos os herbicidas houve redução na altura das plantas de aproximadamente 27 e 45% após aplicação da metade e da dose respectivamente, em comparação com a testemunha (Figura 5). Ao se comparar os herbicidas dentro de cada dose, verificou-se que o nicosulfuron apresentou menor altura das plantas em todas as doses avaliadas, porém não diferindo de tembotrione, chlorimuron, sethoxydim + diclosulam e metsulfuron-methyl. Sendo o maior efeito verificado com o uso do dobro da dose, quando a redução da altura foi de aproximadamente 56% em relação às plantas sem aplicação de herbicidas. (Tabela 3).

A paralização do crescimento em altura está diretamente relacionada à fitotoxicidade ocasionada pelos herbicidas. Sendo que a crescente injúria causada por nicosulfuron interferiu negativamente no metabolismo da erva-mate, fazendo com que as plantas não se desenvolvessem no período ou paralisassem o crescimento. Os resultados corroboram com os relatados por Agostinetto et al. (2010) ao verificarem que o aumento da dose dos herbicidas proporcionaram paralisação do crescimento das plantas de eucalipto. Conforme já mencionado anteriormente, por não se ter trabalhos relacionados ao uso de herbicidas e doses desses com a cultura da erva-mate, procurou-se na literatura trabalhos que tenham avaliado produtos e culturas mais próximas possíveis a erva-mate ou culturas que tenham envolvido o uso de herbicidas testados no presente estudo.

Para o diâmetro do caule não foi verificado ajuste das doses e herbicidas aos modelos testados (dados não apresentados). Na comparação entre os herbicidas e doses, verificou-se resultados similares à altura das plantas. Sendo que o herbicida nicosulfuron apresentou o menor diâmetro de caule (3,52 mm) dentro do dobro da dose (120 g ha<sup>-1</sup>), cerca de 36% menos que a testemunha sem herbicida (Tabela 3). A paralisação do crescimento em altura da cultura, bem como a fitotoxicidade acentuada, interferiram negativamente no desenvolvimento também do diâmetro das plantas da erva-mate tratadas com o nicosulfuron.

Em estudo com genótipos de eucalipto Agostinetto et al. (2010) constataram redução do diâmetro do caule da cultura com o incremento das doses dos herbicidas isoxaflutole, oxyfluorfen, bispyribac-sodium e sethoxydim+diclosulam. Tiburcio et al. (2012) ao testarem a deriva simulada com uso de 12% da dose recomendada de nicosulfuron, observaram 57% de redução do diâmetro de caule das plantas de eucalipto.

A variável teor de clorofila ajustou-se aos modelos quadráticos somente com o uso das doses de oxyfluorfen e sethoxydim + diclosulam (Figura 6). Para o oxyfluorfen observou-se aumento no teor de clorofila de aproximadamente 11% com o uso da dose recomendada.

Porém com a aplicação do dobro da dose, o teor de clorofila foi semelhante ao obtido na testemunha (dose zero). Para a mistura em tanque dos herbicidas sethoxydim + diclosulam, houve decréscimo de 12,6% do teor de clorofila até a dose recomendada. No entanto, com o uso do dobro da dose foi verificado incremento no teor de clorofila de aproximadamente 14% em relação a dose zero (Figura 6).

Ao se comparar os herbicidas dentro de cada dose, verificou-se que a aplicação de nicosulfuron causou incremento no teor de clorofila da erva-mate entre 59 e 76 SPAD em todas as doses avaliadas, porém não diferiu de oxyfluorfen na meia dose e nem do chlorimuron-ethyl, oxyfluorfen, metsulfuron-methyl e fomesafen + fluazifop-p-butyl dentro da dose testada (Tabela 3).

O herbicida tembotrione causou redução do teor de clorofila em todas as doses avaliadas (Tabela 3). Esse fato ocorreu em função do herbicida ser inibidor da síntese de carotenóides, sendo esses, em condições normais, responsáveis pela dissipação da energia *triplet* oriunda da clorofila. Neste caso, com a inibição dos carotenóides há reações de degradação, inclusive da própria clorofila (Silva et al., 2007). Desta forma, as plantas apresentaram maior nível de clorose em comparação aos demais tratamentos e dessa forma também menor teor de clorofila.

Em estudo com doses de herbicidas sobre mogno africano e cedro australiano, Brighenti e Muller (2014) verificaram que o chlorimuron na dose de 7,5 g ha<sup>-1</sup> causou redução no teor de clorofila, em relação à testemunha para as duas culturas testadas. Da mesma forma nicosulfuron reduziu o teor de clorofila do mogno na dose de 40,0 g ha<sup>-1</sup>.

Com relação às variáveis fisiológicas, concentração de CO<sub>2</sub> sub-estomática, taxa fotossintética, CO<sub>2</sub> consumido, condutância estomática de vapores de água, taxa de transpiração e eficiência do uso da água, ocorreu ajuste aos modelos testados no uso das doses e herbicidas apenas para a condutância estomática de vapores de água, taxa de transpiração e eficiência do uso da água.

A condutância estomática de vapores de água (*G<sub>s</sub>*) demonstrou ajuste ao modelo quadrático para as doses aplicadas do herbicida nicosulfuron. Observou-se aumento da *G<sub>s</sub>* de 24, 42 e 58% com o uso de meia, da dose e do dobro da dose (30; 60 e 120 g ha<sup>-1</sup> respectivamente), em relação a dose zero (Figura 7). Pode-se verificar que o aumento crescente da *G<sub>s</sub>* acompanha o incremento da fitotoxicidade causada pelo nicosulfuron aos 49 DAT com o aumento das doses.

Ao se comparar o efeito dos herbicidas dentro de cada dose, observou-se que oxyfluorfen e nicosulfuron apresentaram maiores taxas de *G<sub>s</sub>* em comparação aos demais

herbicidas em todas as doses. Contudo no dobro da dose de oxyfluorfen e fomesafen + fluazifop-p-butyl, observou-se incremento na taxa da  $G_s$  de 0,43 até 0,48 mol m<sup>-1</sup> s<sup>-1</sup> respectivamente, resultados superiores aos demais herbicidas, porém não diferindo estatisticamente de tembotrione e do nicosulfuron (Tabela 4).

A condutância foliar é composta pela condutância cuticular da epiderme e, quando os estômatos estão abertos, pela  $G_s$ , que é controlada pelas células guardas dos estômatos. Assim, a  $G_s$  é proporcional ao número e tamanho dos estômatos e diâmetro da abertura do estômato, características que dependem de outros fatores endógenos e ambientais (Brodrigg e Holbrook, 2003). A  $G_s$  está relacionada com a abertura dos estômatos, ou seja, a resistência associada à difusão de CO<sub>2</sub> pela abertura estomática (Silveira et al., 2013). Com esta menor resistência à difusão de CO<sub>2</sub>, e conseqüente aumento da taxa de transpiração (Tabela 4).

Pode-se inferir, que há reações fisiológicas das plantas na tentativa de detoxificar o herbicida nicosulfuron. Em trabalho de Torres et al. (2012) ao testarem vários herbicidas em cultivares de cana-de-açúcar observaram que na ausência da aplicação dos produtos a cultura apresentou maior  $G_s$ . Galon et al. (2009b), ao testarem os herbicidas ametryn, trifloxysulfuron-sodium e a mistura de ambos constatam que a cultivar de cana-de-açúcar RB72454 somente apresentou valores de  $G_s$  inferiores aos da testemunha sem herbicida quando se aplicou o trifloxysulfuron-sodium, produto esse pertencente ao mecanismo de ação inibidor de ALS e ao grupo químico das sulfoniluréias, mesmo grupo do nicosulfuron utilizado no presente estudo.

No caso dos herbicidas oxyfluorfen e fomesafen + fluazifop-p-butyl as elevadas taxas de  $G_s$  estão relacionadas ao metabolismo acelerado das plantas para emissão de novas brotações, uma vez que o efeito de contato dos referidos herbicidas não atua sobre novas formações vegetativas. Os resultados corroboram com os relatados por Concenço et al. (2014) quando usaram 25% da dose de fluazifop-p-butyl, clethodim e a mistura comercial de bentazon + imazamox que promoveram o incremento nos valores da condutância estomática de *Crambe abyssinaca*.

Para a taxa de transpiração ( $E$ ) os herbicidas oxyfluorfen e metsulfuron-methyl ajustaram-se aos modelos linear e quadrático respectivamente (Figura 8). Observou-se para o oxyfluorfen, que o aumento das doses proporcionou incremento linear da  $E$  da erva-mate, com o dobro da dose houve acréscimo de aproximadamente 66% na variável avaliada (Figura 7), diferindo estatisticamente dos outros tratamentos nesta dose (Tabela 4). O metsulfuron-methyl apresentou comportamento diferenciado, com aumento de aproximadamente 52% da  $E$  ao se aplicar a dose recomendada (3,6 g ha<sup>-1</sup>), em relação à dose zero (Figura 8). Porém, com o

dobro da dose do herbicida observou-se aumento em cerca de 28% em relação a testemunha. O comportamento diferenciado de oxyfluorfen e metsulfuron-methyl com relação a  $E$  da erva-mate pode estar associado aos diferentes mecanismos de ação dos herbicidas testados.

Em função da  $E$  ser determinada principalmente pela  $G_s$ , houve aumento do metabolismo e incremento da  $E$  para emissão de novas brotações das plantas sob aplicação de oxyfluorfen e aumento do metabolismo para detoxificação do metsulfuron-methyl. Resultados similares foram encontrados por Concenço et al. (2014) ao verificarem acréscimo na  $E$  das plantas de *C. abyssinaca* com 75% da dose de bentazon + imazamox em relação à menor dose testada. Da mesma forma, Galon et al. (2014) trabalhando com fisiologia de plantas de inverno, verificaram que plantas de azevém apresentaram incremento das taxas de  $G_s$  e  $E$  quando cresceram na presença da dose recomendada de imazethapyr + imazapic.

Com relação à eficiência do uso da água ( $EUA$ ) ocorreu ajuste ao modelo quadrático apenas para as doses aplicadas de fomesafen + fluazifop-p-butil. Observou-se que a  $EUA$  praticamente não sofreu variações até a dose recomendada, porém com a aplicação do dobro da dose foi verificado aumento de aproximadamente 40% (Figura 9).

Ao se comparar o efeito dos herbicidas dentro de cada dose aplicada, observou-se que o uso de meia dose não ocasionou diferença entre os tratamentos para a  $EUA$  (Tabela 4). A aplicação da dose de chlorimuron e de sethoxydim + diclosulam apresentaram a menor e a maior  $EUA$  respectivamente. O uso do dobro da dose de fomesafen + fluazifop-p-butil demonstrou maior  $EUA$  não diferindo estatisticamente do nicosulfuron (Tabela 4).

O fluazifop-p-butil é um inibidor da enzima ACCase e não tem efeito sob dicotiledôneas (Vidal e Merotto, 2001), enquanto o fomesafen, por ser um herbicida de efeito de contato (Oliveira Júnior et al., 2011) tem capacidade de destruir os tecidos, principalmente meristemáticos. A mistura comercial composta de fomesafen + fluazifop-p-butil destacou-se dos 07 aos 42 DAT pela alta fitotoxicidade à erva-mate em função do efeito de contato ter destruído o meristema apical das plantas. Pode-se relatar no presente estudo que a maior  $EUA$  para este tratamento ocorreu em função das plantas apresentarem desenvolvimento intenso de novas brotações apicais após os 42 DAT

De modo geral o oxyfluorfen e o fomesafen + fluazifop-p-butil atingiram as maiores taxas de concentração de  $CO_2$  sub-estomática ( $C_i$ ), taxa fotossintética ( $A$ ) e  $CO_2$  consumido ( $\Delta C$ ) em todas as doses avaliadas (Tabela 4). Contudo com aplicação da dose, sethoxydim + diclosulam apresentaram maiores índices de  $\Delta C$  e  $A$ , não diferindo estatisticamente de metsulfuron-methyl e nicosulfuron. O chlorimuron-ethyl e o nicosulfuron, com aplicação da



dose, apresentaram a maior e a menor  $C_i$ , tendo os demais herbicidas taxas intermediárias de  $C_i$ .

A variabilidade de respostas em relação a doses e herbicidas de plantas de mesmo genótipo quanto à seletividade pode estar relacionada a diversos fatores, dentre eles destaca-se a capacidade fisiológica de detoxificação que algumas plantas apresentam, as influências ambientais e também as características físico, químicas e biológicas dos próprios herbicidas. Brandão et al. (2014) relatam que quanto maior for a variabilidade genética dentro da mesma espécie, maior variedade de respostas poderá ocorrer.

De acordo com Silva et al. (2007) a *EUA* corresponde à quantidade de massa seca produzida em relação a quantidade de água consumida no processo. Assim, culturas mais eficientes no uso da água podem produzir maior quantidade de massa seca por grama de água transpirada (Torres et al., 2012).

Observou-se redução no acúmulo de massa seca da parte aérea (MSA) da erva-mate com o incremento das doses de oxyfluorfen e de fomesafen + fluazifop-p-butyl, os demais herbicidas e doses não apresentaram ajuste aos modelos testados. O oxyfluorfen ocasionou queda de aproximadamente 26, 42 e 45% na MSA ao se aplicar a meia, a dose e o dobro das doses recomendadas respectivamente (Figura 10A). O fomesafen + fluazifop-p-butyl mostrou-se mais fitotóxico à cultura, principalmente ao se aplicar o dobro da dose ( $250 + 250 \text{ g ha}^{-1}$ ).

Em comparação com a testemunha que produziu em torno de  $16 \text{ g vaso}^{-1}$  de MSA, a aplicação do dobro da dose de fomesafen + fluazifop-p-butyl demonstrou acúmulo de  $5,3 \text{ g vaso}^{-1}$ , ou seja, 67% de queda na variável (Figura 10A). Ao se comparar os herbicidas utilizados no dobro da dose, nota-se que o menor acúmulo da MSA foi quando se usou o oxyfluorfen, porém não diferindo estatisticamente de fomesafen + fluazifop-p-butyl e nicosulfuron. Na mesma dose, o herbicida que apresentou melhores resultados em acúmulo da MSA foi chlorimuron-ethyl, não diferindo de tembotrione (Tabela 5). O menor acúmulo da MSA pela erva-mate está diretamente relacionado com o incremento das doses dos herbicidas perfazendo uma relação inversamente proporcional, ou seja, o incremento da dose promove redução da MSA.

Os herbicidas oxyfluorfen, fomesafen + fluazifop-p-butyl, metsulfuron-methyl e nicosulfuron causaram maior fitotoxicidade, com necroses, morte de ponteiros e abscisão foliar. De maneira geral a aplicação dos herbicidas refletiu na menor produção da MSA da erva-mate. Agostinetto et al. (2010) verificaram redução de 54% na MSA de genótipos de eucalipto ao usarem a maior dose de bispyribac-sodium, bem como Machado et al. (2010)

constatarem redução na MSA de plantas de eucalipto com o incremento das doses de glyphosate.

A variável massa seca da raiz (MSR) apresentou resultados semelhantes à MSA, com ajuste dos dados ao modelo linear somente ao se usar as doses de fomesafen + fluazifop-p-butil (Figura 10B). Verificou-se redução da MSR com o incremento da dose de fomesafen + fluazifop-p-butil. A aplicação da meia, da dose e do dobro das doses recomendadas (62,5 + 62,5; 125,0 + 125,0 e 250,0 + 250,0 g ha<sup>-1</sup>) acarretaram a redução de aproximadamente 14, 28 e 56% respectivamente da MSR (Figura 10B).

Os resultados demonstram que os herbicidas que mais causaram prejuízos ao sistema radicular das plantas foram o fomesafen + fluazifop-p-butil, nicosulfuron e oxyfluorfen não diferindo estatisticamente entre si dentro da maior dose testada (Tabela 5). Pode-se inferir que o efeito de contato do herbicida, reduziu a área fotossinteticamente ativa, e por consequência a produção de fotoassimilados das plantas, influenciando diretamente no desenvolvimento das raízes.

Brighenti e Muller (2014) observaram reduções de até de 86% da MSR de cedro australiano sob efeito de doses de diferentes herbicidas em relação a testemunha. Resultados similares foram encontrados por Brandão et al. (2014) ao constatarem redução de até 50% na MSR de plantas de açaí que receberam aplicação de herbicidas no estágio de três folhas. Tuffi Santos et al. (2006) encontraram decréscimo de aproximadamente 60% na MSR de plantas de eucalipto ao receberem a dose de 172,8 g ha<sup>-1</sup> de glyphosate.

Os herbicidas e as doses interferem de maneira diferenciada na cultura da erva-mate. O aumento das doses provocou incremento na fitotoxicidade, principalmente para oxyfluorfen e fomesafen + fluazifop-p-butil até os 28 DAT. Sendo que posterior a este período metsulfuron-methyl e nicosulfuron mostraram-se mais fitotóxicos à cultura, com efeitos de longa duração. De forma que em todo período avaliado (49 DAT), a menor fitotoxicidade foi observada em plantas sob efeito das doses de chlorimuron-ethyl e sethoxydim + diclosulam, em que mesmo na maior dose utilizada, a fitotoxicidade não ultrapassou 12%, mostrando seletividade da cultura aos herbicidas e potencial de uso em ervais, para o controle de mono e dicitoledoneas.

O aumento da fitotoxicidade e o período em que as plantas ficaram sob efeito dos diferentes herbicidas, refletiu diretamente nas características morfofisiológicas da cultura. Observou-se redução na altura das plantas, assim como massa seca da parte aérea e da raiz. O maior nível de injúria foi constatado principalmente com a utilização de oxyfluorfen, fomesafen + fluazifop-p-butil e nicosulfuron. Na tentativa de detoxificar os herbicidas e

emitir novas brotações observou-se aumento do metabolismo das plantas e consequente incremento das características fisiológicas.

Sendo a erva-mate uma cultura que ainda não passou por processos de melhoramento genético e apresenta elevada heterogeneidade, há a necessidade de realização de mais trabalhos com a cultura, principalmente com relação a seletividade de herbicidas a campo.

## REFERÊNCIAS

- Agostinetto D. et al. Seletividade de genótipos de eucalipto a doses de herbicidas. **Semina: Ciências Agrárias**. 2010;31:585-98.
- Brandão B.B. et al. Selectivity of herbicides on the growth of initial culture of açai (*Euterpe oleracea* Mart.). **Journal of Biotechnology and Biodiversity**. 2014;5:95-100.
- Brighenti A.M., Muller M.D. Tolerância de plantas de *Khaya ivorensis* e *Toona ciliata* a herbicidas. **Floresta**. 2014;44:747-54.
- Brodribb T.J., Holbrook N.M. Stomatal closure during leaf dehydration, correlation with other leaf physiological traits. **Plant Physiology**. 2003;132:2166-73.
- Cardozo Junior E.L. et al. Qualitative genetic analysis of methylxanthines and phenolic compounds in mate progênies. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**. 2010;45:171-77.
- Concenço G. et al. Características fisiológicas de *Crambe abyssinica* sob aplicação de herbicidas. **Revista de Ciência Agrárias**. 2014;37:361-69.
- Constantin J. **Efeitos de diferentes períodos de controle e convivência da *Brachiaria decumbens* Stapf. com a cana-de-açúcar (*Saccharum spp.*)** [dissertação]. Botucatu: Universidade Estadual Paulista, 1993.
- Das A.C. et al. Effect of the herbicides oxadiazon and oxyfluorfen on phosphates solubilizing microorganisms and their persistence in rice fields. **Chemosphere**. 2003;53:217-21.
- Feng P.C.C. et al. Glyphosate inhibits rustdiseases in glyphosate-resistant wheat and soybean. **Proceedings of the National Academy Sciences**. 2005;102:17290-95.
- Ferreira E.A. et al. Sensibilidade de cultivares de cana-de-açúcar à mistura trifloxysulfuron-sodium + ametryn. **Planta Daninha**. 2005;23:93-99.
- Freitas S.P. et al. Controle químico de *Rottboellia exaltata* em cana-de-açúcar. **Planta Daninha**. 2004;22:461-66.
- Galon L. et al. Influência de herbicidas na qualidade da matéria-prima de genótipos de cana-de-açúcar. **Planta Daninha**. 2009(a);27:555-62.
- Galon L. et al. Influence of *Brachiaria brizantha* in physiological characteristics related to photosynthesis and efficient use of water in sugarcane. **Planta Daninha**. 2009(b);29:1037-1043.
- Galon L. et al. Tolerância de novos genótipos de cana-de-açúcar a herbicidas. **Planta Daninha**. 2010;28:329-38.
- Galon L. et al. Características fisiológicas de biótipos de *Conyza bonariensis* resistentes ao glyphosate cultivados sob competição. **Planta Daninha**. (2013a);31:859-66.
- Galon L. et al. Efeito de herbicidas nos componentes de rendimento de genótipos de cana-de-açúcar. **Revista Brasileira de Herbicidas**. (2013b);12:131-42.

Galon L. et al. Influência de herbicidas do grupo das imidazolinonas em características fisiológicas de plantas cultivadas no inverno. **Pesquisa Agropecuária Gaúcha**. 2014;20:41-50.

Kirschbaum M.U.F., Percy R.W. Gas exchange analysis of the relative importance of stomatal and biochemical factors in photosynthetic induction in *Alocasia macrorrhiza*. **Plant Physiol**. 1988;86:782-85.

Loreto F., Bonghi G. Combined low temperature-high light effects on gas exchange properties of jojoba leaves. **Plant Physiol**. 1989;91:1580-85.

Machado A.F.L. et al. Eficiência fotossintética e uso da água em plantas de eucalipto pulverizadas com glyphosate. **Planta Daninha**. 2010; 28:319-27.

Manabe P.M.S. et al. Características fisiológicas de feijoeiro em competição com plantas daninhas. **Bioscience Journal**. 2014;30:1721-28.

Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento – MAPA. **Agrofit**. Disponível em: <[http://agrofit.agricultura.gov.br/agrofit\\_cons/principal\\_agrofit\\_cons](http://agrofit.agricultura.gov.br/agrofit_cons/principal_agrofit_cons)>. Acesso em: 02 de fev. 2017.

Negrisoni E. et al. Seletividade de herbicidas aplicados em pré-emergência na cultura da cana-de-açúcar tratada com nematicidas. **Planta Daninha**. 2004;22:567-75.

Oliveira Júnior R.S. Mecanismos de Ação de Herbicidas. In: Oliveira Júnior R.S., Constantin J., Inoue M.H., editores. **Biologia e manejo de plantas daninhas**. Curitiba: Ompix, 2011. p.141-92.

Rede Oficial de Laboratórios de Análise de Solo e de Tecido Vegetal - ROLAS. **Manual de adubação e calagem para os estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina**. Porto Alegre: 2004. 400p.

Reis R.M. et al. Aspectos fisiológicos e crescimento do girassol após aplicação de herbicidas em pré-emergência. **Revista Agroambiente**. 2014;8:352-58.

Rizzardi M.A. et al. Ação de herbicidas sobre mecanismos de defesa das plantas aos patógenos. **Ciência Rural**. 2003;33:957-65.

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

Secretaria de Estado da Agricultura e do Abastecimento - SEAB. **Produtos Florestais – Erva-mate**. Curitiba: 2014. 9p.

Sharkey T.D., Raschke K. Effect of light quality on stomatal opening in leaves of *Xanthium strumarium* L. **Plant Physiol**. 1981;68:1170-74.

Silva A.S. et al. Herbicidas: Classificação e mecanismo de ação. In: Silva A.A., Silva J.F., editores. **Tópicos em manejo de plantas daninhas**. Viçosa: UFV, 2007. p.83-148.

Silveira H.M. et al. Características fisiológicas de cultivares de mandioca após aplicação do mesotrione. **Planta Daninha**. 2013;31:403-09.

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

Spader V., Vidal R.A. Seletividade e dose de injúria econômica de nicosulfuron aplicado em diferentes estádios de desenvolvimento da cultura do milho. **Ciência Rural**. 2001;31:929-34.

Tiburcio R.A.S. et al. Crescimento de mudas de clones de eucalipto submetidos à deriva simulada de diferentes herbicidas. **Revista Árvore**. 2012;36:65-73.

Toledo R.E.B. et al. Efeito de períodos de controle de plantas daninhas sobre o desenvolvimento inicial de plantas de eucalipto. **Planta Daninha**. 2000;18:395-404.

Torres L.G. et al. Alterações nas características fisiológicas de cultivares de cana-de-açúcar submetida à aplicação de herbicidas. **Planta Daninha**. 2012;30:581-87.

Tuffi Santos L.D. et al. Glyphosate sobre a resistência à ferrugem (*Puccinia psidii*) do eucalipto. **Planta Daninha**. 2007;25:139-47.

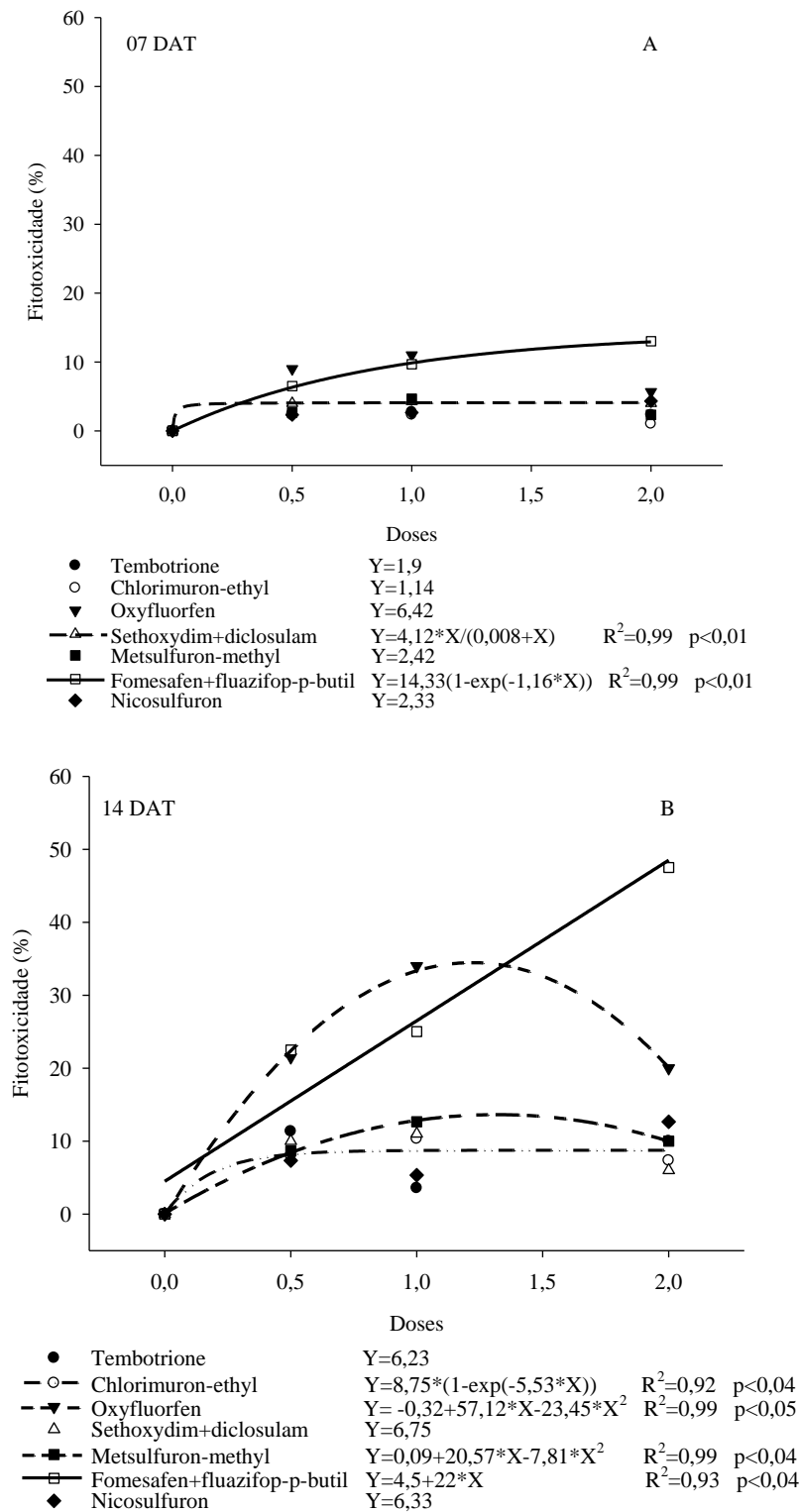
Tuffi Santos L.D. et al. Intoxicação de eucalipto submetido à deriva simulada de diferentes herbicidas. **Planta Daninha**. 2006;24:521-26.

Vargas L., Roman, E.S. Seletividade e eficiência de herbicidas em cereais de inverno. **Revista Brasileira de Herbicidas**. 2005;4:1-10.

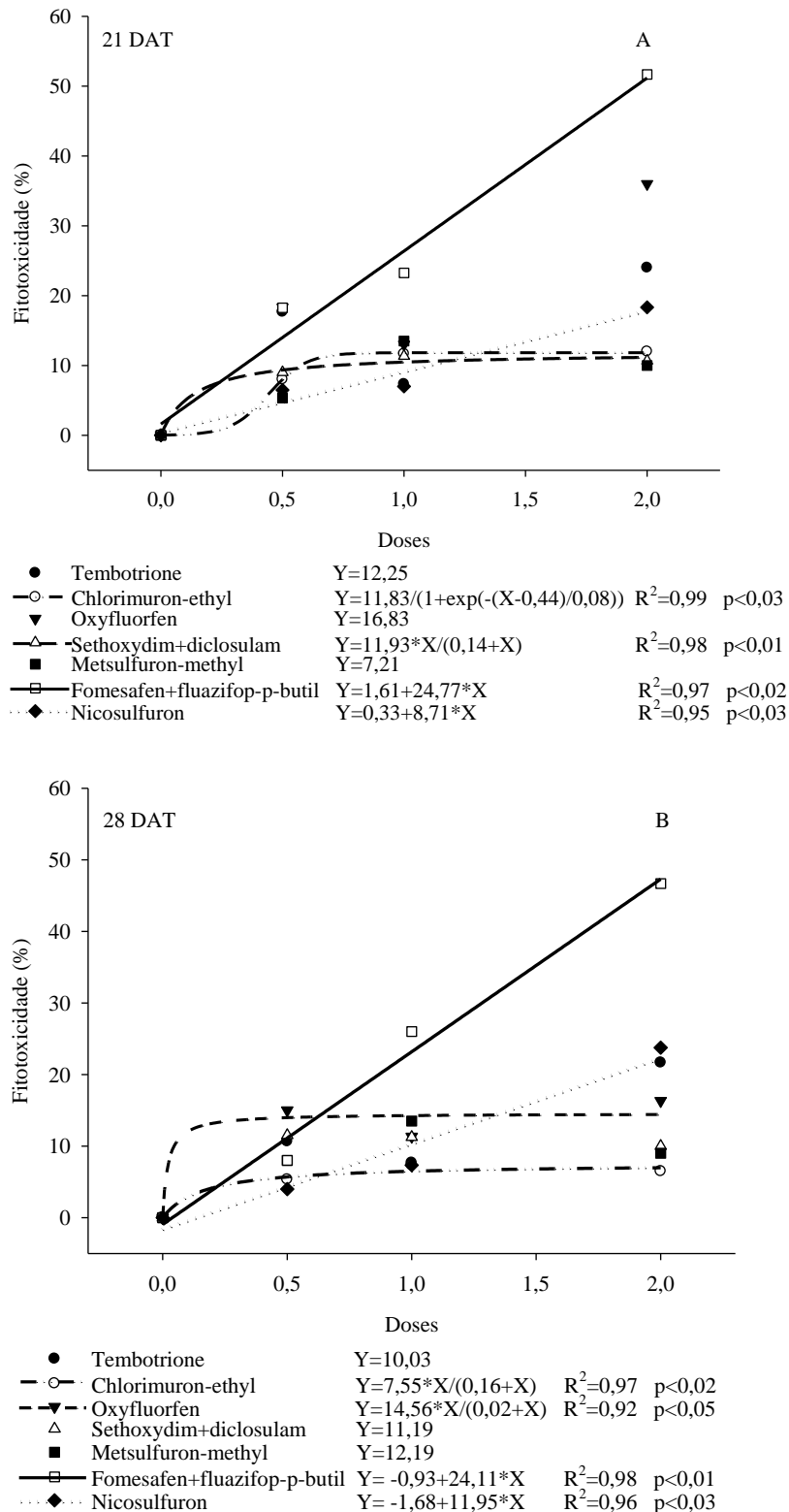
Velini E.D. et al. Avaliação dos efeitos de doses do herbicida clomazone, aplicado em pós-emergência inicial, sobre o crescimento e produtividade de soqueira de cana-de-açúcar (*Saccharum officinarum* cv. SP71-1406). **STAB**. 1993;12:30-35.

Velini E.D. et al. Avaliação da seletividade da mistura de oxyfluorfen e ametryne, aplicada em pré e pós-emergência, a dez variedades de cana-de-açúcar (cana planta). **Planta Daninha**. 2000;18:123-34.

Vidal R.A., Merotto J.A. **Herbicidologia**. 1. ed. Porto Alegre: UFRGS, 2001. 152p.

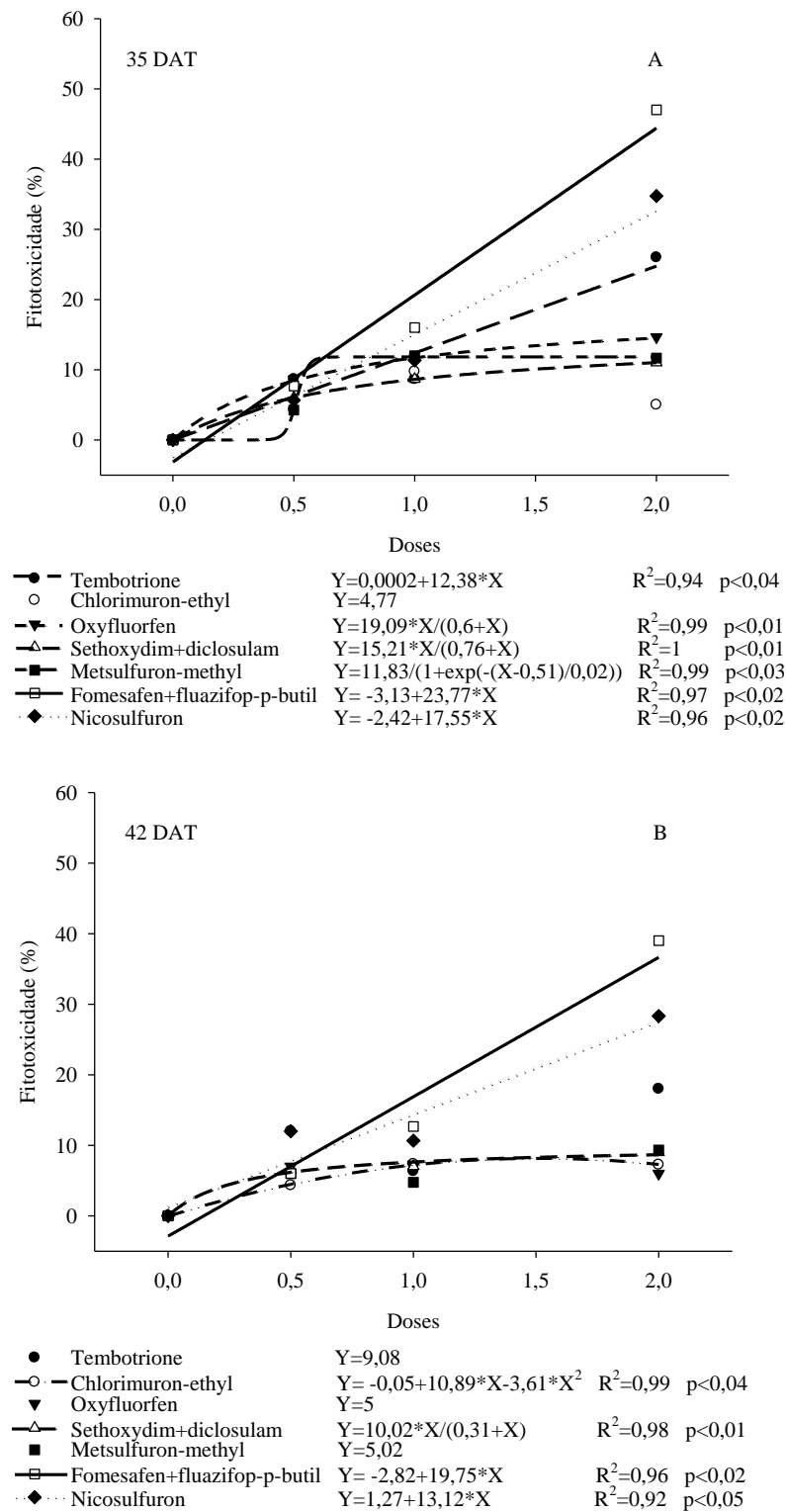


**Figura 1.** Fitotoxicidade (%) às plantas da erva-mate genótipo nativo em função da aplicação de herbicidas e doses múltiplas da comercial ( $g\ ha^{-1}$ ), avaliada aos 07 (A) e 14 (B) dias após a aplicação dos tratamentos. UFFS-Erechim, 2016

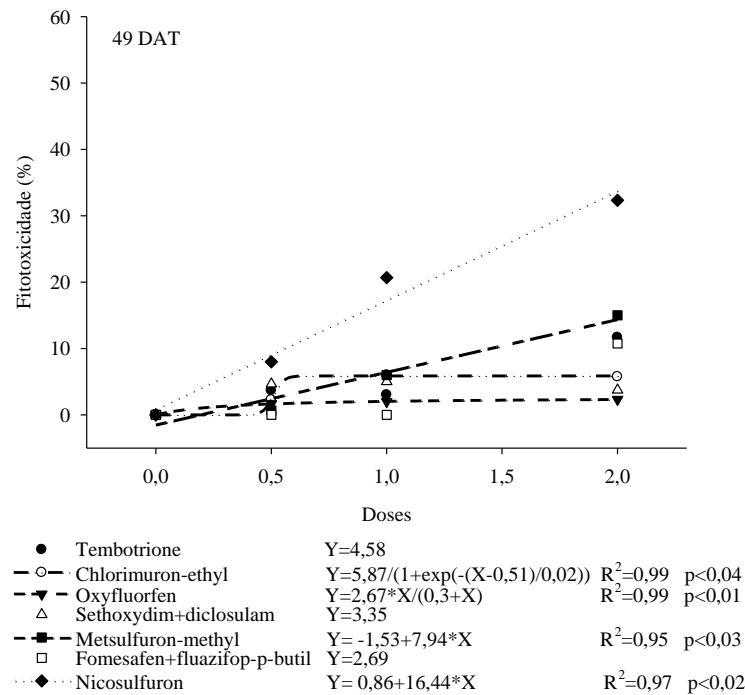


**Figura 2.** Fitotoxicidade (%) às plantas de erva-mate genótipo nativo em função da aplicação de herbicidas e doses múltiplas da comercial ( $g\ ha^{-1}$ ), avaliada aos 21 (A) e 28 (B) dias após a aplicação. UFFS-Erechim, 2016

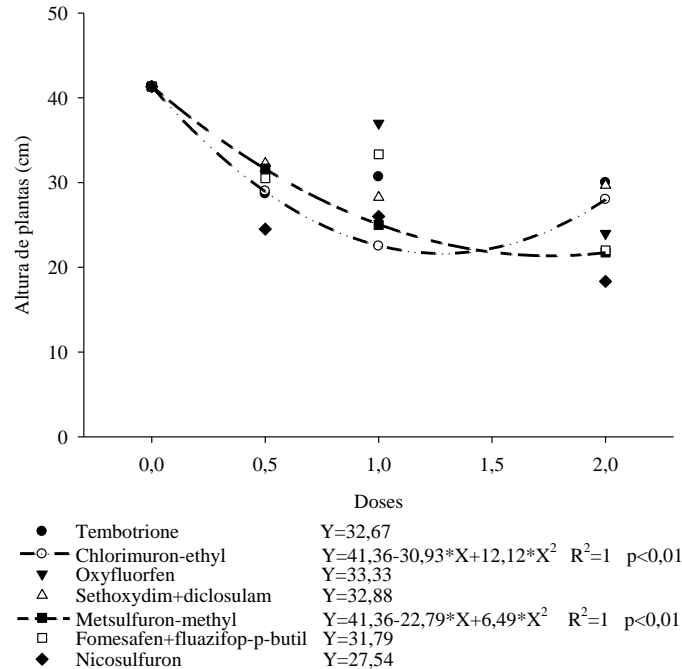




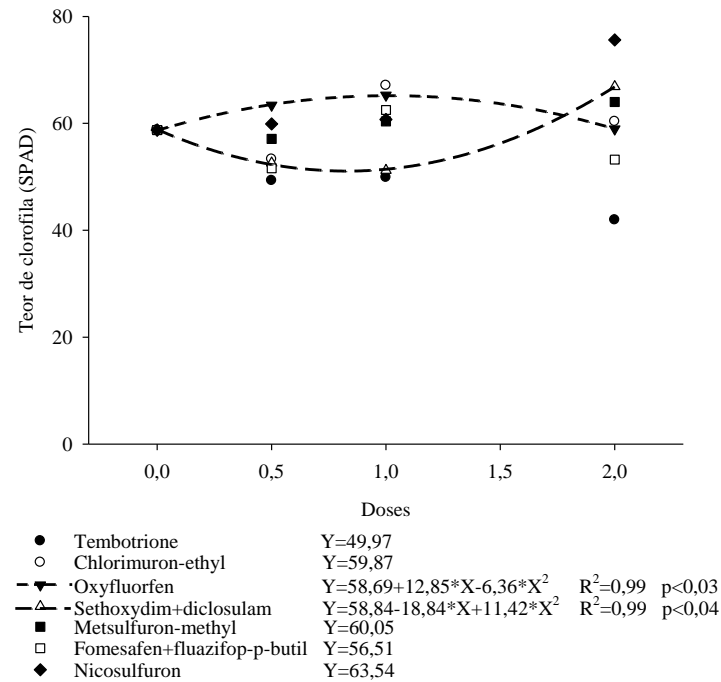
**Figura 3.** Fitotoxicidade (%) às plantas de erva-mate genótipo nativo em função da aplicação de herbicidas e doses múltiplas da comercial ( $\text{g ha}^{-1}$ ), avaliada aos 35 (A) e 42 (B) dias após a aplicação. UFFS-Erechim, 2016



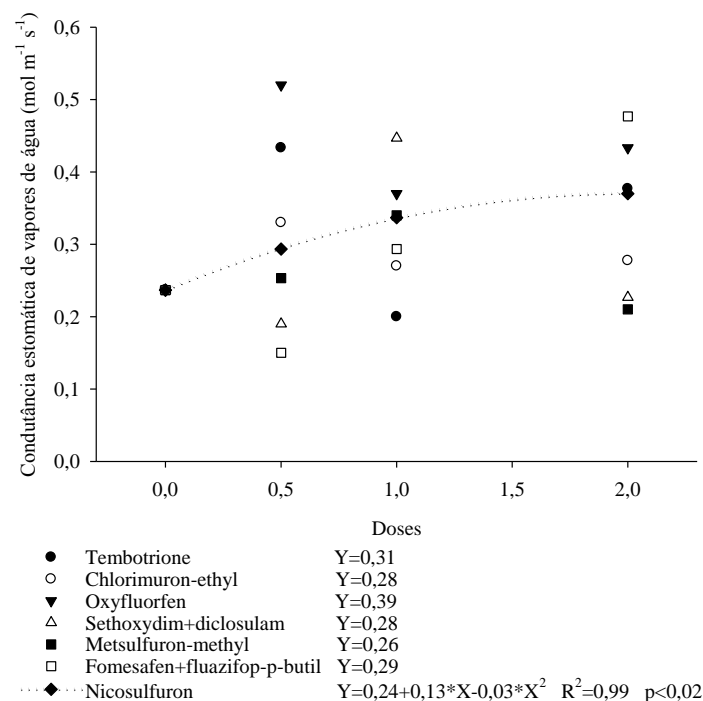
**Figura 4.** Fitotoxicidade (%) às plantas de erva-mate genótipo nativo em função da aplicação de herbicidas e doses múltiplas da comercial (g ha<sup>-1</sup>), avaliada aos 49 dias após a aplicação. UFFS-Erechim, 2016



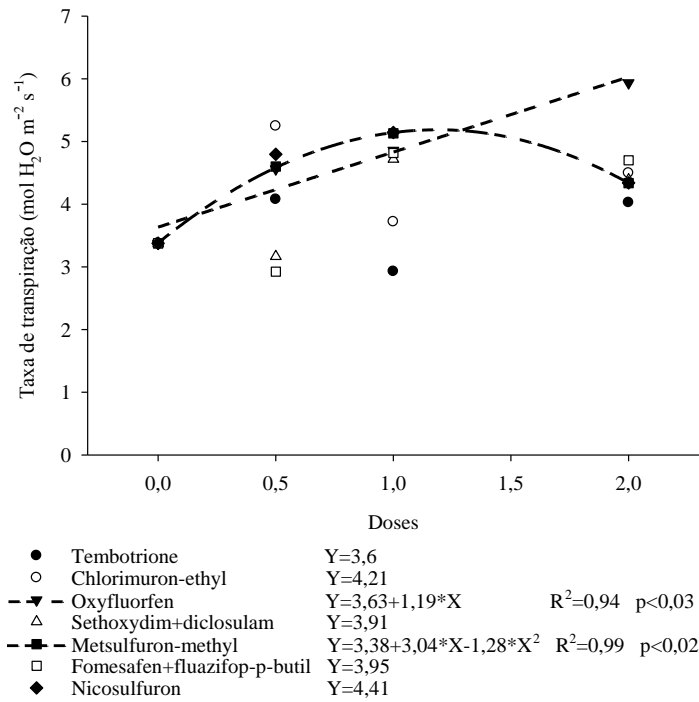
**Figura 5.** Altura (cm) de plantas de erva-mate genótipo nativo em função da aplicação de herbicidas e doses múltiplas da comercial (g ha<sup>-1</sup>). UFFS-Erechim, 2016



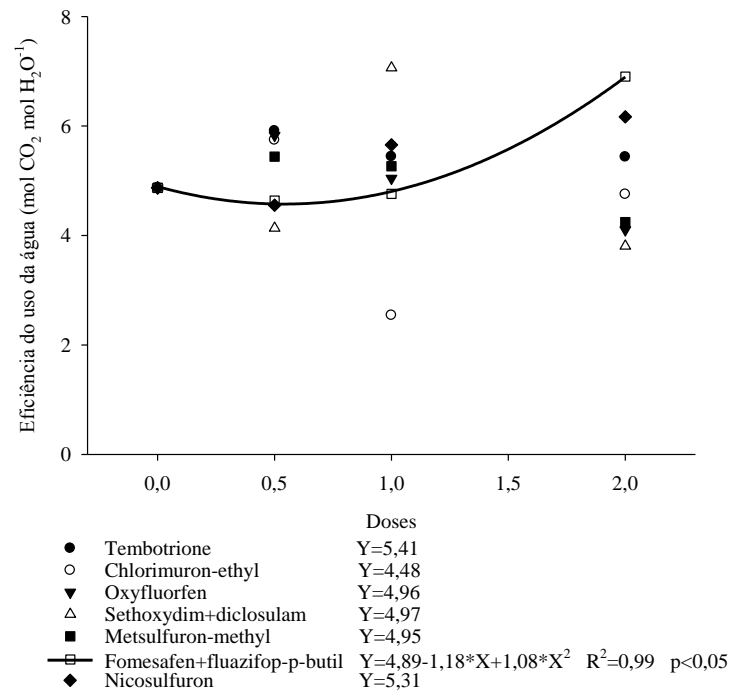
**Figura 6.** Teor de clorofila (SPAD) de plantas de erva-mate genótipo nativo em função da aplicação de herbicidas e doses múltiplas da comercial ( $\text{g ha}^{-1}$ ). UFFS-Erechim, 2016



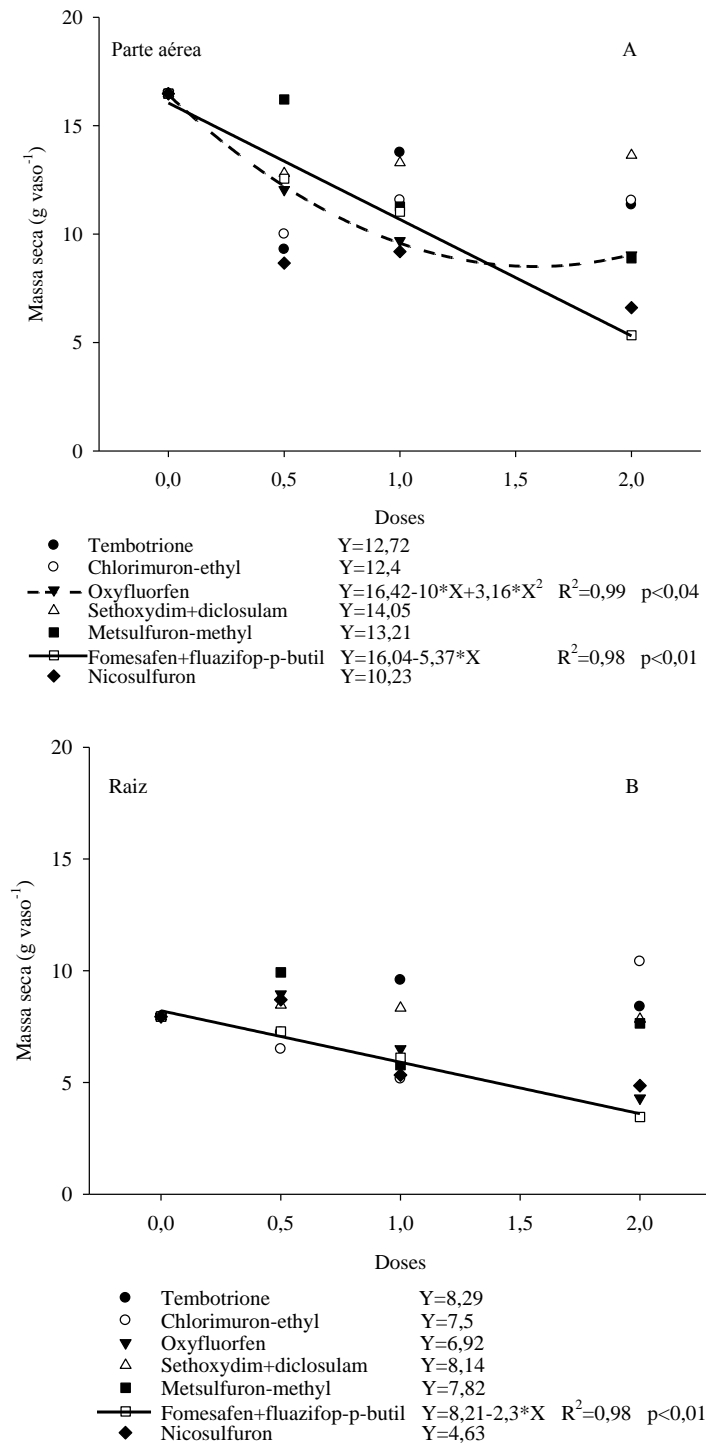
**Figura 7.** Condutância estomática de vapores de água ( $\text{mol m}^{-1} \text{s}^{-1}$ ) de plantas de erva-mate genótipo nativo em função da aplicação de herbicidas e doses múltiplas da comercial ( $\text{g ha}^{-1}$ ). UFFS-Erechim, 2016



**Figura 8.** Taxa de transpiração ( $\text{mol H}_2\text{O m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ) de plantas de erva-mate genótipo nativo em função da aplicação de herbicidas e doses múltiplas da comercial ( $\text{g ha}^{-1}$ ). UFFS-Erechim, 2016



**Figura 9.** Eficiência do uso da água ( $\text{mol CO}_2 \text{mol H}_2\text{O}^{-1}$ ) de plantas de erva-mate genótipo nativo em função da aplicação de herbicidas e doses múltiplas da comercial ( $\text{g ha}^{-1}$ ). UFFS-Erechim, 2016



**Figura 10.** Massa seca (g) da parte aérea (A) e da raiz (B) de plantas de erva-mate genótipo nativo em função da aplicação de herbicidas e doses múltiplas da comercial (g ha<sup>-1</sup>). UFFS-Erechim, 2016

**Tabela 2.** Fitotoxicidade (%) às plantas de erva-mate, genótipo nativo, em função da aplicação de herbicidas e doses dos mesmos. UFFS, Erechim-RS, 2016.

Dose	Herbicida	Dias após aplicação dos herbicidas						
		07	14	21	28	35	42	49
		Fitotoxicidade (%)						
<b>0</b>	Tembotrione	0,0 a <sup>1</sup>	0,0 a	0,0 a	0,0 a	0,0 a	0,0 a	0,0 a
	Chlorimuron-ethyl	0,0 a	0,0 a	0,0 a	0,0 a	0,0 a	0,0 a	0,0 a
	Oxyfluorfen	0,0 a	0,0 a	0,0 a	0,0 a	0,0 a	0,0 a	0,0 a
	Sethoxydim + diclosulam	0,0 a	0,0 a	0,0 a	0,0 a	0,0 a	0,0 a	0,0 a
	Metsulfuron-methyl	0,0 a	0,0 a	0,0 a	0,0 a	0,0 a	0,0 a	0,0 a
	Fomesafen + fluazifop-p-butyl	0,0 a	0,0 a	0,0 a	0,0 a	0,0 a	0,0 a	0,0 a
	Nicosulfuron	0,0 a	0,0 a	0,0 a	0,0 a	0,0 a	0,0 a	0,0 a
<b>0,5</b>	Tembotrione	2,50 cd	11,33 b	17,67 a	10,67 ab	8,67 a	12,00 a	3,67 ab
	Chlorimuron-ethyl	2,25 d	8,00 bc	8,00 b	5,33 c	4,33 b	4,33 b	2,25 b
	Oxyfluorfen	9,00 a	21,50 a	18,33 a	15,00 a	8,67 a	7,00 ab	1,67 b
	Sethoxydim + diclosulam	4,00 c	10,00 bc	9,00 b	11,50 ab	6,0 ab	6,50 b	4,67 ab
	Metsulfuron-methyl	2,67 cd	8,67 bc	5,33 b	8,00 bc	4,25 b	6,00 b	0,67 b
	Fomesafen + fluazifop-p-butyl	6,50 b	22,50 a	18,25 a	8,00 bc	7,67 ab	6,00 b	0,00 b
	Nicosulfuron	2,33 cd	7,33 c	6,50 b	4,00 c	5,67 ab	12,00 a	8,00 a
<b>1</b>	Tembotrione	2,75 b	3,57 e	7,33 c	7,67 c	8,67 a	6,33 ab	3,00 bcd
	Chlorimuron-ethyl	2,33 b	10,33 cd	11,67 bc	7,33 c	9,75 a	7,33 ab	6,00 b
	Oxyfluorfen	11,00 a	34,00 a	13,00 b	11,33 bc	11,33 a	7,00 ab	2,00 cd
	Sethoxydim + diclosulam	4,25 b	11,00 c	11,33 bc	11,25 bc	8,67 a	7,00 ab	5,00 bc
	Metsulfuron-methyl	4,67 b	12,67 c	13,50 b	13,50 b	12,00 a	4,75 b	6,00 b
	Fomesafen + fluazifop-p-butyl	9,67 a	25,00 b	23,25 a	26,00 a	16,00 a	12,67 a	0,00 d
	Nicosulfuron	2,67 b	5,33 de	7,00 c	7,33 c	11,33 a	10,67 ab	20,67 a
<b>2</b>	Tembotrione	2,33 cd	10,00 c	24,00 bc	21,67 b	26,00 c	18,00 c	11,67 bc
	Chlorimuron-ethyl	1,00 d	7,33 c	12,00 cd	6,50 d	5,00 e	7,25 d	5,75 d
	Oxyfluorfen	5,67 b	20,00 b	36,00 b	16,33 bc	14,67 d	6,00 d	2,33 d
	Sethoxydim + diclosulam	4,00 bc	6,00 c	10,67 d	10,00 cd	11,00 d	9,00 d	3,75 d
	Metsulfuron-methyl	2,33 cd	10,00 c	10,00 d	9,00 cd	11,67 d	9,33 cd	15,00 b
	Fomesafen + fluazifop-p-butyl	13,00 a	47,50 a	51,67 a	46,67 a	47,00 a	39,00 a	10,75 c
	Nicosulfuron	4,33 bc	12,67 c	18,33 cd	23,75 b	34,75 b	28,33 b	32,33 a
<b>C.V. (%)</b>		<b>27,93</b>	<b>19,72</b>	<b>25,78</b>	<b>23,13</b>	<b>28,88</b>	<b>34,17</b>	<b>28,21</b>

<sup>1</sup> Médias seguidas de mesma letra minúscula na coluna dentro da mesma dose não diferem entre si pelo teste de Tukey ( $p \leq 0,05$ ).

**Tabela 3.** Altura de plantas (AP), diâmetro de caule (DC) e teor de clorofila (TC) de plantas de erva-mate, genótipo nativo, em função da aplicação de herbicidas e doses. Universidade Federal da Fronteira Sul, Erechim-RS, 2016.

<b>Doses</b>	<b>Herbicidas</b>	<b>Altura (m)</b>	<b>Diâmetro (mm)</b>	<b>Teor clorofila (SPAD)</b>
<b>0</b>	Tembotrione	41,33 a <sup>1</sup>	5,51 a	58,73 a
	Chlorimuron-ethyl	41,33 a	5,51 a	58,73 a
	Oxyfluorfen	41,33 a	5,51 a	58,73 a
	Sethoxydim + diclosulam	41,33 a	5,51 a	58,73 a
	Metsulfuron-methyl	41,33 a	5,51 a	58,73 a
	Fomesafen + fluazifop-p-butyl	41,33 a	5,51 a	58,73 a
	Nicosulfuron	41,33 a	5,51 a	58,73 a
<b>0,5</b>	Tembotrione	28,67 c	4,99 ab	49,30 d
	Chlorimuron-ethyl	29,00 bc	3,67 c	53,30 cd
	Oxyfluorfen	31,00 abc	4,18 bc	63,40 a
	Sethoxydim + diclosulam	32,25 a	5,26 a	52,57 cd
	Metsulfuron-methyl	31,67 ab	5,27 a	57,10 bc
	Fomesafen + fluazifop-p-butyl	30,50 abc	4,66 abc	51,59 cd
	Nicosulfuron	24,50 d	4,52 abc	59,90 ab
<b>1</b>	Tembotrione	30,67 abc	5,49 a	49,90 b
	Chlorimuron-ethyl	22,50 c	4,33 bc	67,10 a
	Oxyfluorfen	37,00 a	4,19 c	65,27 a
	Sethoxydim + diclosulam	28,25 bc	4,89 ab	51,20 b
	Metsulfuron-methyl	25,00 c	4,16 c	60,37 a
	Fomesafen + fluazifop-p-butyl	33,33 ab	4,63 bc	62,50 a
	Nicosulfuron	26,00 bc	4,98 ab	60,73 a
<b>2</b>	Tembotrione	30,00 a	4,34 bc	41,95 e
	Chlorimuron-ethyl	28,00 a	4,43 abc	60,35 bc
	Oxyfluorfen	24,00 b	3,77 cd	58,93 cd
	Sethoxydim + diclosulam	29,67 a	5,06 a	66,87 b
	Metsulfuron-methyl	21,75 b	4,66 ab	64,00 bc
	Fomesafen + fluazifop-p-butyl	22,00 b	4,25 bc	53,20 d
	Nicosulfuron	18,33 c	3,52 d	75,60 a
<b>C.V. (%)</b>		<b>6,64</b>	<b>6,36</b>	<b>4,83</b>

<sup>1</sup> Médias seguidas de mesma letra minúscula na coluna dentro de mesma dose não diferem entre si pelo teste de Tukey ( $p \leq 0,05$ ).

**Tabela 4.** CO<sub>2</sub> consumido ( $\Delta C$  -  $\mu\text{mol mol}^{-1}$ ), concentração de CO<sub>2</sub> sub-estomática ( $C_i$  -  $\mu\text{mol mol}^{-1}$ ), taxa de transpiração ( $E$  -  $\text{mol H}_2\text{O m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ), condutância estomática de vapores de água ( $G_s$  -  $\text{mol m}^{-1} \text{s}^{-1}$ ), taxa fotossintética ( $A$  -  $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ) e eficiência do uso da água ( $EUA$  -  $\text{mol CO}_2 \text{ mol H}_2\text{O}^{-1}$ ) de plantas de erva-mate, genótipo nativo, em função da aplicação de herbicidas e doses. UFFS, Erechim-RS, 2016.

Dose	Herbicidas	$\Delta C$	$C_i$	$E$	$G_s$	$A$	$EUA$
<b>0</b>	Tembotrione	51 a <sup>1</sup>	201,33 a	3,37 a	0,24 a	16,45 a	4,87 a
	Chlorimuron-ethyl	51 a	201,33 a	3,37 a	0,24 a	16,45 a	4,87 a
	Oxyfluorfen	51 a	201,33 a	3,37 a	0,24 a	16,45 a	4,87 a
	Sethoxydim + diclosulam	51 a	201,33 a	3,37 a	0,24 a	16,45 a	4,87 a
	Metsulfuron-methyl	51 a	201,33 a	3,37 a	0,24 a	16,45 a	4,87 a
	Fomesafen + fluazifop-p-butyl	51 a	201,33 a	3,37 a	0,24 a	16,45 a	4,87 a
	Nicosulfuron	51 a	201,33 a	3,37 a	0,24 a	16,45 a	4,87 a
<b>0,5</b>	Tembotrione	74,50 ab	230,00 ab	4,07 c	0,43 ab	23,98 ab	5,91 a
	Chlorimuron-ethyl	94,00 a	190,00 bc	5,25 a	0,33 abc	30,16 a	5,74 a
	Oxyfluorfen	83,00 ab	184,66 bc	4,56 bc	0,52 a	26,55 ab	5,83 a
	Sethoxydim + diclosulam	41,00 c	239,33 a	3,16 d	0,19 bc	13,13 c	4,13 a
	Metsulfuron-methyl	78,00 ab	180,50 c	4,60 bc	0,25 bc	25,05 ab	5,44 a
	Fomesafen + fluazifop-p-butyl	41,66 c	224,33 abc	2,92 d	0,15 c	13,41 c	4,64 a
	Nicosulfuron	67,66 b	226,00 ab	4,79 ab	0,29 abc	21,74 b	4,55 a
<b>1</b>	Tembotrione	49,50 cd	235,00 bc	2,93 b	0,20 d	15,86 c	5,44 ab
	Chlorimuron-ethyl	29,33 d	307,33 a	3,72 b	0,27 cd	9,36 c	2,54 c
	Oxyfluorfen	83,75 ab	246,33 b	4,86 a	0,37 ab	24,39 b	5,04 b
	Sethoxydim + diclosulam	102,67 a	206,00 cd	4,72 a	0,45 a	32,95 a	7,06 a
	Metsulfuron-methyl	83,50 ab	223,00 bc	5,13 a	0,34 bc	26,85 ab	5,26 ab
	Fomesafen + fluazifop-p-butyl	71,50 bc	229,00 bc	4,81 a	0,29 bcd	22,89 b	4,76 b
	Nicosulfuron	90,50 ab	186,67 d	5,14 a	0,34 bc	29,08 ab	5,65 ab
<b>2</b>	Tembotrione	68,50 bcd	233,50 ab	4,03 b	0,38 ab	21,91 bc	5,43 bc
	Chlorimuron-ethyl	66,50 bcd	208,67 bc	4,49 b	0,28 bcd	21,36 bc	4,75 cd
	Oxyfluorfen	77,67 abc	252,75 a	5,93 a	0,43 a	24,33 bc	4,10 d
	Sethoxydim + diclosulam	53,00 d	235,00 ab	4,39 b	0,23 cd	16,98 c	3,81 d
	Metsulfuron-methyl	57,67 cd	187,00 c	4,34 b	0,21 d	18,54 c	4,24 cd
	Fomesafen + fluazifop-p-butyl	100,00 a	201,33 c	4,70 b	0,48 a	32,10 a	6,90 a
	Nicosulfuron	83,67 ab	232,00 ab	4,34 b	0,37 abc	26,75 ab	6,18 ab
<b>C.V. (%)</b>		<b>13,78</b>	<b>7,03</b>	<b>8,28</b>	<b>24,93</b>	<b>13,06</b>	<b>13,01</b>

<sup>1</sup> Médias seguidas de mesma letra minúscula na coluna dentro de mesma dose não diferem entre si pelo teste de Tukey ( $p \leq 0,05$ ).



**Tabela 5.** Massa seca da parte aérea (MSA) e massa seca da raiz (MSR) de plantas da erva-mate genótipo nativo, em função da aplicação de herbicidas e doses. Universidade Federal da Fronteira Sul, Erechim-RS, 2016.

<b>Doses</b>	<b>Herbicidas</b>	<b>Massa seca da parte aérea (g)</b>	<b>Massa seca de raíz (g)</b>
<b>0</b>	Tembotrione	16,47 a <sup>1</sup>	7,95 a
	Chlorimuron-ethyl	16,47 a	7,95 a
	Oxyfluorfen	16,47 a	7,95 a
	Sethoxydim + diclosulam	16,47 a	7,95 a
	Metsulfuron-methyl	16,47 a	7,95 a
	Fomesafen + fluazifop-p-butyl	16,47 a	7,95 a
	Nicosulfuron	16,47 a	7,95 a
<b>0,5</b>	Tembotrione	9,29 d	7,24 bc
	Chlorimuron-ethyl	10,00 cd	6,49 c
	Oxyfluorfen	12,05 bc	8,95 ab
	Sethoxydim + diclosulam	12,80 b	8,46 abc
	Metsulfuron-methyl	16,21 a	9,93 a
	Fomesafen + fluazifop-p-butyl	12,55 b	7,28 bc
	Nicosulfuron	8,66 d	8,70 ab
<b>1</b>	Tembotrione	13,77 a	9,58 a
	Chlorimuron-ethyl	11,57 ab	5,16 c
	Oxyfluorfen	9,69 ab	6,50 bc
	Sethoxydim + diclosulam	13,29 ab	8,33 ab
	Metsulfuron-methyl	11,27 ab	5,78 c
	Fomesafen + fluazifop-p-butyl	11,03 ab	6,10 bc
	Nicosulfuron	9,19 b	5,33 c
<b>2</b>	Tembotrione	11,35 b	8,39 ab
	Chlorimuron-ethyl	11,55 b	10,41 a
	Oxyfluorfen	9,04 c	4,3 c
	Sethoxydim + diclosulam	13,64 a	7,83 b
	Metsulfuron-methyl	8,88 c	7,64 b
	Fomesafen + fluazifop-p-butyl	5,33 e	3,45 c
	Nicosulfuron	6,61 d	4,86 c
<b>C.V. (%)</b>		<b>9,37</b>	<b>11,93</b>

<sup>1</sup> Médias seguidas de mesma letra minúscula na coluna dentro de mesma dose não diferem entre si pelo teste de Tukey ( $p \leq 0,05$ ).

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

A competição com diferentes espécies de plantas daninhas, bem como a aplicação de doses de herbicidas interferem de maneira diferenciada no desenvolvimento inicial da cultura da erva-mate genótipo nativo. Em geral, o aumento das populações de plantas daninhas e das doses dos herbicidas causa decréscimo nas variáveis morfofisiológicas da erva-mate.

O aumento da população de plantas daninhas competindo, causa redução do metabolismo da erva-mate genótipo nativo. Enquanto o metabolismo das plantas daninhas, independente da população permaneceu constante, demonstrando que não ocorreu competição intraespecífica e sim interespecífica entre as espécies que conviveram em comunidade. O papuã, independente da população, é espécie daninha que mais limitou o desenvolvimento da erva-mate.

Em termos nutricionais, todas as espécies daninhas reduziram os níveis de nutrientes das folhas da erva-mate genótipo nativo, com destaque para o papuã, o picão-preto e a buva foram mais competitivos por N em comparação à corda-de-viola. O picão-preto mostrou-se extremamente competitivo por P.

O aumento das doses dos herbicidas promoveu incremento da fitotoxicidade, além disso, o período em que as plantas ficaram sob efeito dos diferentes herbicidas, refletiu negativamente nas características morfofisiológicas da cultura. Sendo o maior nível de injúria ocasionado principalmente com a utilização de oxyfluorfen, fomesafen + fluazifop-p-butil e nicosulfuron. De forma que, na tentativa de detoxificar os herbicidas e emitir novas brotações observou-se aumento do metabolismo das plantas e conseqüente incremento das características fisiológicas da erva-mate. Contudo, os herbicidas sethoxydim + diclosulam e chlorimuron-ethyl mostraram potencial de uso para a cultura da erva-mate.

Com relação à altura, área foliar e massa seca da erva-mate genótipo nativo, em competição com as plantas daninhas e sob aplicação dos herbicidas, ocorreu decréscimo das variáveis à medida que houve aumento das populações de plantas daninhas e incremento das doses dos herbicidas.

Sendo a erva-mate, uma cultura que ainda não passou por processos de melhoramento genético e apresenta elevada heterogeneidade, há a necessidade de realização de mais trabalhos com a cultura.