

**Universidade de São Paulo
Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”**

**Dessecação de plantas daninhas com o herbicida glyphosate
associado a fertilizantes nitrogenados**

Saul Jorge Pinto de Carvalho

**Tese apresentada para obtenção do título de Doutor em
Ciências. Área de concentração: Fitotecnia**

**Piracicaba
2009**

Livros Grátis

<http://www.livrosgratis.com.br>

Milhares de livros grátis para download.

Saul Jorge Pinto de Carvalho
Engenheiro Agrônomo

**Dessecação de plantas daninhas com o herbicida glyphosate
associado a fertilizantes nitrogenados**

Orientador:
Prof. Dr. **PEDRO JACOB CHRISTOFFOLETI**

**Tese apresentada para obtenção do título de Doutor em
Ciências. Área de concentração: Fitotecnia**

**Piracicaba
2009**

**Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
DIVISÃO DE BIBLIOTECA E DOCUMENTAÇÃO - ESALQ/USP**

Carvalho, Saul Jorge Pinto de
Dessecação de plantas daninhas com o herbicida glyphosate associado a fertilizantes nitrogenados / Saul Jorge Pinto de Carvalho. - - Piracicaba, 2009.
116 p. : il.

Tese (Doutorado) - - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", 2009.
Bibliografia.

1. Controle químico 2. Fertilizantes nitrogenados 3. Herbicidas 4. Plantas daninhas 5. Uréia I. Título

CDD 632.58
C331d

"Permitida a cópia total ou parcial deste documento, desde que citada a fonte – O autor"

Aos meus pais, Antonio Carlos e Marisa,
e a minha querida irmã, Anita

DEDICO

AGRADECIMENTOS

- À Deus pela minha existência, por iluminar os caminhos e por trazer paz nos momentos de dificuldade;
- Aos meus pais Antonio Carlos Pinto de Carvalho e Marisa Cardoso Jorge de Carvalho e à minha querida irmã Anita Jorge de Carvalho, por todas as ocasiões em que me apoiaram e estiveram presentes ao meu lado;
- À Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, em especial ao Departamento de Produção Vegetal, pela oportunidade concedida para realização deste trabalho;
- Ao Professor Dr. Pedro Jacob Christoffoleti pela orientação, amizade, colaboração, oportunidade e pelas contribuições à minha formação profissional;
- Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico - CNPq, pela bolsa concedida, em nível de doutorado;
- À minha querida avó, Juracy Cardoso Jorge, pela amizade, dedicação e carinho;
- Ao amigo Engenheiro Agrônomo Dr. Marcelo Nicolai, pela contribuição prestada a este trabalho, pela companhia em muitas horas de almoço, longas conversas, sugestões, amizade e paciência;
- À Eng.^a Agr.^a Dra. Virginia Damin, pela amizade e paciência, pela criteriosa revisão dos capítulos e pelas extensas discussões sobre a fisiologia e metabolismo do nitrogênio;
- À Eng.^a Agr.^a M.Sc. Ana Carolina Ribeiro Dias, pela extensa contribuição prestada às fases experimentais deste trabalho;

- Aos Engenheiros Agrônomos Ramiro Fernando López Ovejero, Murilo Sala Moreira, Victor Domiciano de Silos Labonia e Vitor Henrique Vaz Mondo por toda a amizade e companheirismo;
- Aos amigos Luiz Henrique Franco de Campos, Renato Rodrigues Ferreira e Guy Mitsuyuki Tsumanuma, pela confiança, amizade e extensas parcerias científicas;
- Aos professores e funcionários do Departamento de Produção Vegetal da Esalq/USP, em especial à Luciane Aparecida Lopes, Horst Bremer Neto, Erreinaldo Bortolazzo e Edson Moraes;
- À Eng.^a Agr.^a M.Sc. Helena Maria Carmignani Pescarin Chamma, por todo auxílio e amizade oferecidos durante a minha vida esalqueana;
- Aos amigos e companheiros na Ciência das Plantas Daninhas: Marcel Sereguin Cabral de Melo, Diego Schmidt, Marcelo Osório Francisco, Heryaldo Tarozzo Filho, Gustavo Shiomi, Gaspar Miura Yamasaki, Marcelo Hideki Minamiguchi, Rodrigo Muradás e Fabio Cherubim de Barros;
- A todos que de alguma forma contribuíram para a realização deste trabalho;

MUITO OBRIGADO.

SUMÁRIO

RESUMO.....	9
ABSTRACT.....	11
1 INTRODUÇÃO.....	13
Referências.....	15
2 DESSECAÇÃO DE PLANTAS DANINHAS COM GLYPHOSATE ASSOCIADO AOS FERTILIZANTES NITROGENADOS URÉIA OU SULFATO DE AMÔNIO.....	17
Resumo.....	17
Abstract.....	17
2.1 Introdução.....	18
2.2 Material e Métodos.....	19
2.3 Resultados e Discussão.....	23
2.4 Conclusões.....	29
Referências.....	29
3 GLYPHOSATE APLICADO COM DIFERENTES CONCENTRAÇÕES DE URÉIA OU SULFATO DE AMÔNIO PARA DESSECAÇÃO DE PLANTAS DANINHAS.....	33
Resumo.....	33
Abstract.....	33
3.1 Introdução.....	34
3.2 Material e Métodos.....	35
3.3 Resultados e Discussão.....	39
3.4 Conclusões.....	44
Referências.....	45
4 EFICÁCIA E pH DE CALDAS DE GLYPHOSATE APÓS ADIÇÃO DE FERTILIZANTES NITROGENADOS E UTILIZAÇÃO DE PULVERIZADOR PRESSURIZADO POR CO ₂	49
Resumo.....	49
Abstract.....	49
4.1 Introdução.....	50
4.2 Material e Métodos.....	51
4.3 Resultados e Discussão.....	56

4.4 Conclusões.....	61
Referências.....	61
5 ADIÇÃO SIMULTÂNEA DE SULFATO DE AMÔNIO E URÉIA À CALDA DE PULVERIZAÇÃO DO HERBICIDA GLYPHOSATE.....	65
Resumo.....	65
Abstract.....	65
5.1 Introdução.....	66
5.2 Material e Métodos.....	67
5.3 Resultados e Discussão.....	71
5.4 Conclusões.....	78
Referências.....	78
6 PARTICIPAÇÃO DO NITROGÊNIO NA INDUÇÃO DE INJÚRIAS FOLIARES E NA EFICÁCIA DO HERBICIDA GLYPHOSATE.....	81
Resumo.....	81
Abstract.....	81
6.1 Introdução.....	82
6.2 Material e Métodos.....	83
6.3 Resultados e Discussão.....	88
6.4 Conclusões.....	94
Referências.....	95
7 DESSECAÇÃO DE PLANTAS DANINHAS UTILIZANDO SOLUÇÃO DE URÉIA + SULFATO DE AMÔNIO COMO VEÍCULO PARA PULVERIZAÇÃO DE GLYPHOSATE.....	99
Resumo.....	99
Abstract.....	99
7.1 Introdução.....	100
7.2 Material e Métodos.....	101
7.3 Resultados e Discussão.....	105
7.4 Conclusões.....	110
Referências.....	111
8 CONCLUSÕES GERAIS.....	115

RESUMO

Dessecação de plantas daninhas com o herbicida glyphosate associado a fertilizantes nitrogenados

A expansão dos sistemas conservacionistas de manejo do solo e das culturas geneticamente modificadas para tolerância a herbicidas contribuiu sobremaneira para a crescente adoção do herbicida glyphosate que, atualmente, pode ser considerado o herbicida de maior importância mundial. Na tentativa de elevar a eficácia deste herbicida, diversas substâncias têm sido adicionadas à calda de pulverização, dentre elas a uréia e o sulfato de amônio. Neste sentido, este trabalho foi desenvolvido com o objetivo de avaliar aspectos da dessecação da cobertura vegetal com o herbicida glyphosate quando influenciada pela adição de uréia e/ou sulfato de amônio à calda de pulverização, incluindo a análise de doses, alterações no pH da calda, participação fisiológica do nitrogênio, aplicação conjunta dos fertilizantes e controle de diferentes espécies vegetais. Para tanto, nove experimentos foram desenvolvidos em campo, em áreas da Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” – Esalq/USP, em Piracicaba – SP. Em complementação, cinco experimentos foram desenvolvidos em casa-de-vegetação e outros quatro experimentos foram desenvolvidos no Laboratório de Biologia de Plantas Daninhas, ambos do Departamento de Produção Vegetal, também da Esalq/USP. Todos os trabalhos foram realizados entre abril de 2008 e abril de 2009. Com frequência, melhor controle das plantas daninhas foi obtido após adição dos fertilizantes à calda, com destaque para o sulfato de amônio e para a combinação dos fertilizantes às menores doses do glyphosate. A massa seca residual da cobertura vegetal foi a variável com mensuração mais complexa e que, em alguns casos, não esteve em concordância com as avaliações de controle. A concentração mais adequada do sulfato de amônio na calda herbicida foi de 15 g L^{-1} , enquanto a da uréia foi da ordem de 5 g L^{-1} . Constatou-se que a ação tamponante do glyphosate tem maior efeito sobre o pH da calda do que as interferências promovidas pelos fertilizantes nitrogenados, de modo que a alteração na eficácia do herbicida está pouco relacionada com esta variável. A adoção do pulverizador costal pressurizado por CO_2 também pouco alterou o pH da calda de glyphosate, sem importância prática. Foram encontradas evidências que justificaram a aplicação conjunta de glyphosate com sulfato de amônio e uréia ($7,5 + 2,5 \text{ g L}^{-1}$). Somente a aplicação de caldas concentradas em até 20% de nitrogênio não foi eficaz para dessecar a cobertura vegetal. A aplicação de sulfato de amônio via solo elevou a eficácia do glyphosate na dessecação da cobertura vegetal, indicando a participação deste fertilizante em mecanismos fisiológicos relacionados com a maior ação herbicida. Considerando-se as espécies vegetais, não foram obtidos resultados satisfatórios para a adição dos fertilizantes nitrogenados à calda de glyphosate visando à dessecação de apaga-fogo (*Alternanthera tenella*), trapoeraba (*Commelina benghalensis*) e capim-braquiária (*Brachiaria decumbens*). Por outro lado, resultados positivos desta associação foram observados sobre o capim-massambará (*Sorghum halepense*), capim-amargoso (*Digitaria insularis*) e corda-de-viola (*Ipomoea triloba*). A adição de fertilizantes nitrogenados à calda do herbicida glyphosate é uma técnica alternativa que pode elevar a eficácia do produto para dessecação da cobertura vegetal. Neste sentido, novos experimentos devem ser estimulados com o objetivo de avaliar diferentes proporções entre os fertilizantes dissolvidos na calda, quando adicionados concomitantemente, bem como a eficácia da técnica sobre outras espécies vegetais.

Palavras-chave: Sulfato de Amônio; Ureia; Controle químico; Nitrogênio; Manejo

ABSTRACT

Weed desiccation with the herbicide glyphosate associated to nitrogen fertilizers

The expansion of soil management conservationist systems and genetically modified crops for herbicide tolerance strongly contributed for the growing adoption of the herbicide glyphosate that, currently, might be considered the world most important herbicide. Intending to increase the efficacy of this herbicide, several substances have been added to the spray solution, including urea and ammonium sulfate. In this sense, this work was developed with the objective of evaluating aspects of weed desiccation with the herbicide glyphosate when influenced by the addition of urea and/or ammonium sulfate to the spray solution, including the analysis of rates, changing on spray solution's pH, physiological participation of the nitrogen, joint application of the fertilizers and control of different plant species. For that, nine experiments were developed in field conditions, in areas of the "Escola Superior de Agricultura 'Luiz de Queiroz'" – Esalq/USP, in Piracicaba – SP. Complementing, five trials were developed in greenhouse and other four trials were developed in the Laboratory of Weed Biology, both of Crop Science Department, also at Esalq/USP. All the trials were carried out between April / 2008 and April / 2009. Frequently, higher percentages of weed control were reached after the addition of nitrogen fertilizers to the spray solution, detaching the effects of ammonium sulfate and fertilizer combination with the lower glyphosate rate. Weed dry mass was the most complex measuring variable and, in some cases, it was not in agreement with the evaluations of percentage control. The most adequate concentration of ammonium sulfate in the herbicide spray solution was 15 g L^{-1} , while for urea it was 5 g L^{-1} . It was also observed that the buffering action of glyphosate has stronger effects on solution's pH than the interferences provided by the nitrogen fertilizers, as well as one could suppose that the modifications on herbicide efficacy have minor relation with this variable. The adoption of CO_2 -pressurized backpack sprayer also changed slightly the glyphosate spray solution's pH, without practical importance. Experimental evidences were found to justify glyphosate joint application with ammonium sulfate and urea ($7.5 + 2.5 \text{ g L}^{-1}$). The exclusive application of nitrogen concentrated spray solutions, up to 20%, was not efficient to desiccate plant species. Soil application of ammonium sulfate increased the efficacy of glyphosate for weed desiccation, emphasizing the participation of this fertilizer on physiological mechanisms related to higher herbicide action. Regarding to the plant species, satisfactory results were not reached when nitrogen fertilizers were added to glyphosate spray solution aiming to desiccated *Alternanthera tenella*, *Commelina benghalensis* and *Brachiaria decumbens*. On the other side, positive results arising from this association were observed over *Sorghum halepense*, *Digitaria insularis* and *Ipomoea triloba*. The addition of nitrogen fertilizers to glyphosate spray solution is an alternative technique that might increase herbicide efficacy for weed desiccation. In this sense, new experiments should be stimulated in order to evaluate different proportions of the nitrogen fertilizers concomitantly dissolved in the spray solution, as well as to evaluate the efficacy of this technique on other weed species.

Keywords: Ammonium sulfate; Urea; Chemical control; Nitrogen; Management

1 INTRODUÇÃO

A agricultura mundial tem evoluído continuamente no sentido de desenvolver sistemas de produção sustentáveis econômica e ambientalmente, de modo a produzir alimentos, energia e fibras de alta qualidade, em quantidade que viabilize a atividade agrícola e com a manutenção dos recursos naturais. Para tanto, deve-se atentar para técnicas que envolvam o menor revolvimento do solo, menor uso de agroquímicos, adoção racional de doses e momentos de aplicação, manejo integrado de pragas, doenças e plantas daninhas, ou seja, técnicas que possibilitem a continuidade temporal da atividade agrícola. Neste sentido, os sistemas conservacionistas de manejo do solo têm recebido especial atenção dos produtores e consultores rurais, com destaque para o sistema de semeadura direta (plantio direto) e o cultivo mínimo.

Freqüentemente, os sistemas de produção conservacionistas estão fundamentados na aplicação de herbicidas para eliminação da cobertura vegetal em período anterior à semeadura das culturas. Esta prática é conhecida por dessecação, e é caracterizada pela aplicação de herbicidas não-seletivos, com amplo espectro de controle, em área total. Segundo Nicolai; Carvalho e Christoffoleti (2007), a dessecação da cobertura vegetal é uma das etapas mais importantes em qualquer época do ano, pois contribui para a perfeita emergência da cultura a ser semeada, cujo crescimento inicial ocorre sem competição com as plantas daninhas.

Dentre as moléculas herbicidas disponíveis para a dessecação da cobertura vegetal pode-se destacar o glyphosate (N-(fosfonometil) glicina). Trata-se de um herbicida com aplicação em pós-emergência (foliar), não-seletivo, de ação sistêmica, usado no controle de plantas daninhas anuais e perenes e na eliminação das culturas de cobertura (RODRIGUES; ALMEIDA, 2005; TIMOSSI; DURIGAN; LEITE, 2006). Este produto tem grande importância em sistemas de produção com pequeno impacto ambiental, devido ao custo relativamente baixo, alta eficácia sobre grande número de espécies vegetais, facilidade de aplicação (GIOLO et al., 2005) e baixa toxicidade a organismos não-alvo (TRIGO; CAP, 2003; CHRISTOFFOLETI et al., 2008). Ainda, o desenvolvimento de culturas agrícolas geneticamente modificadas para tolerância a herbicidas também contribuiu para a crescente adoção do glyphosate (YOUNG et al., 2003), de modo que, atualmente, pode ser considerado o herbicida de maior importância mundial (MOREIRA; CHRISTOFFOLETI, 2008).

As principais propriedades físico-químicas do glyphosate são: solubilidade em água de 15.700 mg L⁻¹ a 25 °C e pH 7; pressão de vapor de 1,84 x 10⁻⁷ mm Hg; Log K_{ow} de -4,10; e quatro constantes de dissociação (pKa), sendo estas: <2,0, 2,6, 5,6 e 10,6 (AMARANTE JÚNIOR; SANTOS, 2002; COUTINHO; MAZO, 2005; RODRIGUES; ALMEIDA, 2005). A partir destas propriedades, considera-se o glyphosate como uma molécula que possui elevada afinidade por água, baixa afinidade a solventes orgânicos e baixo potencial de volatilização. Sua molécula é derivada do aminoácido glicina, com caráter zwitteriônico; contudo, em água, comporta-se como um ácido fraco. No solo, é rapidamente sorvido às frações coloidais, resultando em restrito potencial de lixiviação e contaminação dos lençóis freáticos.

A absorção foliar do glyphosate é um processo bifásico, que envolve rápida penetração inicial pela cutícula, seguida de absorção simplástica lenta, dependente de fatores como a idade da planta, ambiente, adjuvantes e concentração do herbicida na calda. Trata-se de um herbicida bastante móvel nas plantas, sendo transportado com facilidade das folhas tratadas para outras estruturas vegetais. Sua translocação segue predominantemente a rota de transporte de fotoassimilados, no sentido fonte-dreno, com acúmulo nas raízes, pontos de crescimento e regiões meristemáticas (CASELEY; COUPLAND, 1985; MONQUERO et al., 2004).

Nas células, a molécula inibe a EPSPs (enol piruvil shiquimato fosfato sintase), enzima que participa da rota de síntese dos aminoácidos aromáticos fenilalanina, tirosina e triptofano (COLE, 1985). Os sintomas resultantes da aplicação do glyphosate são lentos, iniciando pelo amarelecimento progressivo das folhas, murchamento com posterior necrose e morte das plantas, que pode demorar de 4 a 20 dias, conforme a espécie e estágio fenológico (RODRIGUES; ALMEIDA, 2005).

Na tentativa de elevar a eficácia do herbicida glyphosate sobre a cobertura vegetal, acelerar a senescência, bem como a penetração cuticular e absorção celular da molécula, diversas substâncias têm sido adicionadas à calda de pulverização. Considerando-se a nomenclatura destas substâncias, de acordo com a legislação brasileira, Lei nº 7.802, de 11 de julho de 1989, regulamentada pelo Decreto nº 4.074, de 4 de janeiro de 2002, entende-se por *adjuvante* o produto utilizado em mistura com as formulações para melhorar sua aplicação. Os *aditivos*, por sua vez, são considerados como substâncias adicionadas intencionalmente ao defensivo, com intuito de incrementar a ação, função, durabilidade, estabilidade e detecção, ou para facilitar o processo de produção.

Dentre os adjuvantes comumente adicionados à calda do glyphosate, destacam-se a uréia e o sulfato de amônio. Embora na prática agrícola a adição destes fertilizantes nitrogenados à calda herbicida seja usual, poucas são as informações científicas disponíveis no Brasil que fundamentam tal técnica e, ainda, algumas das informações disponíveis são controversas e/ou incompletas. Por exemplo, Roman et al. (2007) comentam sobre a adição de sulfato de amônio em calda herbicida para atenuar o efeito da água dura (altas concentrações de cálcio e magnésio), em dose de 3 kg de fertilizante por 100 L de água. Rizzardi et al. (2004), por sua vez, apresentam doses de sulfato de amônio variáveis entre 1 e 2 kg ha⁻¹; enquanto Silva et al. (2007) especulam sobre concentrações da ordem de 1 a 10% (m/v).

A carência de informações científicas reduz a confiabilidade das técnicas agrícolas, além de possibilitar a ocorrência de falhas de controle, incompatibilidades, comprometimento de dose e momento de aplicação. Neste sentido, este trabalho foi desenvolvido com o objetivo de avaliar diferentes aspectos da dessecação da cobertura vegetal com o herbicida glyphosate quando influenciada pela adição de uréia e/ou sulfato de amônio à calda de pulverização, incluindo a análise de diferentes doses, alterações no pH da calda, participação fisiológica do nitrogênio, aplicação conjunta dos fertilizantes e controle de diferentes espécies vegetais.

Referências

AMARANTE JÚNIOR, O.P.; SANTOS, T.C.R. Glifosato: propriedades, toxicidade, usos e legislação. **Química Nova**, São Paulo, v.25, n.4, p.589-593, 2002.

CASELEY, J.C.; COUPLAND, D. Environmental and plant factors affecting glyphosate uptake movement and acidity. In: GROSSBARD, E.; ATKINSON, D.A. (Ed.). **The herbicide glyphosate**. London: Butterworths, 1985. p.92-123.

CHRISTOFFOLETI, P.J.; GALLI, A.J.B.; CARVALHO, S.J.P.; MOREIRA, M.S.; NICOLAI, M.; FOLONI, L.L.; MARTINS, B.A.B.; RIBEIRO, D.N. Glyphosate sustainability in South American cropping systems. **Pest Management Science**, London, v.64, n.4, p.422-427, 2008.

COLE, D.J. Mode of action of glyphosate – a literature analysis. In: GROSSBARD, E.; ATKINSON, D.A. (Ed.). **The herbicide glyphosate**. London: Butterworths, 1985. p.48-74.

COUTINHO, C.F.B.; MAZO, L.H. Complexos metálicos com o herbicida glifosato: revisão. **Química Nova**, São Paulo, v.28, n.6, p.1038-1045, 2005.

GIOLO, F.P.; GRÜTZMACHER, A.D.; PROCÓPIO, S.O.; MANZONI, C.G.; LIMA, C.A.B.; NÖRNBERG, S.D. Seletividade de formulações de glyphosate a *Trichogramma pretiosum* (Hymenoptera: Trichogrammatidae). **Planta Daninha**, Viçosa - MG, v. 23, n.3, p. 457-462, 2005.

MONQUERO, P.A.; CHRISTOFFOLETI, P.J.; OSUNA, M.D.; DE PRADO, R.A. Absorção, translocação e metabolismo do glyphosate por plantas tolerantes e suscetíveis a este herbicida. **Planta Daninha**, Viçosa – MG, v.22, n.3, p.445-451, 2004.

MOREIRA, M.S.; CHRISTOFFOLETI, P.J. Resistência de plantas daninhas aos herbicidas inibidores da EPSPs (Grupo G). In.: CHRISTOFFOLETI, P.J. (Coord.) **Aspectos de resistência de plantas daninhas a herbicidas**. 3.ed. Piracicaba: HRAC-BR, 2008. p.78-96.

NICOLAI, M.; CARVALHO, S.J.P.; CHRISTOFFOLETI, P.J. Manejo de plantas daninhas e novos herbicidas para a cultura do milho. In: FANCELLI, A.L.; DOURADO NETO, D. (Ed.) **Milho: fatores determinantes da produtividade**. Piracicaba: ESALQ/USP/LPV, 2007. p.1-78.

RIZZARDI, M.A.; VARGAS, L.; ROMAN, E.S.; KISSMANN, K. Aspectos gerais do manejo e controle de plantas daninhas. In: VARGAS, L.; ROMAN, E.S. (Ed.). **Manual de manejo e controle de plantas daninhas**. Bento Gonçalves: Embrapa Uva e Vinho, 2004. p.105-144.

RODRIGUES, B.N.; ALMEIDA, F.S. **Guia de herbicidas**. 5.ed. Londrina, 2005. 592p.

ROMAN, E.S.; BECKIE, H.; VARGAS, L.; HALL, L.; RIZZARDI, M.A.; WOLF, T.M. **Como funcionam os herbicidas: da biologia à aplicação**. Passo Fundo: Berthier, 2007. 160p.

SILVA, J.F.; SILVA, J.F.; FERREIRA, L.R.; FERREIRA, F.A. Herbicidas: absorção, translocação, metabolismo, formulação e misturas. In: SILVA, A.A.; SILVA, J.F. (Ed.) **Tópicos em manejo de plantas daninhas**. Viçosa: Ed. UFV, 2007. p.149-188.

TIMOSSI, P.C.; DURIGAN, J.C.; LEITE, G.J. Eficácia de glyphosate em plantas de cobertura. **Planta Daninha**, Viçosa – MG, v.24, n.3, p.475-480, 2006.

TRIGO, E.J.; CAP, E.J. The impact of the introduction of transgenic crops in Argentinian agriculture. **AgBio Forum**, Columbia, v.6, n.3, p.87-94, 2003.

YOUNG, B.G.; KNEPP, A.W.; WAX, L.M.; HART, S.E. Glyphosate translocation in common lambsquarters (*Chenopodium album*) and velvetleaf (*Abutilon theophrasti*) in response to ammonium sulfate. **Weed Science**, Lawrence, v.51, n.2, p.151-156, 2003.

2 DESSECAÇÃO DE PLANTAS DANINHAS COM GLYPHOSATE ASSOCIADO AOS FERTILIZANTES NITROGENADOS URÉIA OU SULFATO DE AMÔNIO

Resumo

A absorção das moléculas de glyphosate ocorre pelos tecidos fotossinteticamente ativos das plantas, porém alguns fatores podem interferir nesta etapa do processo, destacando-se a morfologia e diversidade de espécies, chuva após pulverização, qualidade da água utilizada no preparo da calda e eventuais misturas em tanque com outros produtos químicos. Sendo assim, este trabalho foi desenvolvido com o objetivo de avaliar a eficácia do herbicida glyphosate na dessecação de plantas daninhas após adição dos fertilizantes nitrogenados sulfato de amônio ou uréia à calda de pulverização. Dois experimentos foram desenvolvidos no município de Piracicaba – SP, com aplicações de glyphosate (720 e 1.440 g ha⁻¹) isolado ou combinado com duas doses de sulfato de amônio (7,5 e 15,0 g L⁻¹) ou uréia (2,5 e 5,0 g L⁻¹), sobre as plantas daninhas apaga-fogo (*Alternanthera tenella*) e capim-massambará (*Sorghum halepense*). Para a espécie menos suscetível ao herbicida (capim-massambará), a adição de fontes nitrogenadas à menor dose de glyphosate acelerou a morte das plantas, elevando os níveis de controle em até 7,3%, avaliado aos 21 dias após aplicação (DAA) dos tratamentos. Porém, os efeitos não foram observados nas avaliações de controle, massa fresca e seca, realizadas aos 28 DAA. A dose recomendada de glyphosate para cada espécie proporcionou controle satisfatório, sem a necessidade de adição de sulfato de amônio ou uréia.

Palavras-chave: *Sorghum halepense*; *Alternanthera tenella*; Eficácia; Manejo

Weed desiccation with glyphosate associated to the nitrogen fertilizers urea or ammonium sulfate

Abstract

The absorption of glyphosate molecules occur through plant's photosynthetically-active tissues; however, some factors might interfere in this step of the process, such as morphology and specific diversity, rain fastness, quality of the water used to prepare the spray solution, and eventual tank mixtures with other chemical products. Thus, this research was developed with the objective of evaluating glyphosate efficacy for weed desiccation after addition of the nitrogen fertilizers ammonium sulfate or urea in the spray solution. Two trials were carried out in Piracicaba – SP, with applications of glyphosate (720 and 1.440 g ha⁻¹) alone or combined with two rates of ammonium sulfate (7.5 and 15.0 g L⁻¹) or urea (2.5 and 5.0 g L⁻¹), over the weeds *Alternanthera tenella* and *Sorghum halepense*. For the least susceptible species (*S. halepense*), the addition of nitrogen sources to the lower rate of glyphosate accelerated plant death, increasing the control levels up to 7.3%, evaluated at 21 days after application (DAA). However, the effects were not observed when control, fresh and dry mass were evaluated at 28 DAA. Glyphosate recommended rate for each species promoted appropriate control, without the need of adding ammonium sulfate or urea.

Keywords: *Sorghum halepense*; *Alternanthera tenella*; Efficacy; Management

2.1 Introdução

Com o advento das culturas geneticamente modificadas para resistência a herbicidas, a adoção do glyphosate cresceu significativamente nos últimos anos (YOUNG et al., 2003). A ampliação das áreas sob sistemas conservacionistas de manejo de solo (plantio direto, cultivo mínimo, etc.), freqüentemente baseados em dessecação pré-semeadura, também contribuiu para a ampla utilização desta molécula (CHRISTOFFOLETI et al., 2008), que atualmente é considerada como o herbicida de maior importância mundial (MOREIRA; CHRISTOFFOLETI, 2008).

O glyphosate é um herbicida não-seletivo, de ação sistêmica, usado mundialmente para controle de plantas daninhas de ciclo de vida anual ou perene, cuja absorção se dá exclusivamente pelas estruturas fotossinteticamente ativas das plantas. Atua inibindo a enol piruvil shiquimato fosfato sintase (EPSPs), que participa da rota de síntese dos aminoácidos aromáticos fenilalanina, tirosina e triptofano (RODRIGUES; ALMEIDA, 2005). A absorção via cutícula é lenta, sendo que, para as formulações convencionais de glyphosate, é necessário período de quatro a seis horas sem chuvas após a aplicação para ocorrer o controle satisfatório das plantas suscetíveis (JAKELAITIS et al., 2001; PEDRINHO JÚNIOR et al., 2002).

Além da remoção do produto das folhas das plantas daninhas devido à ocorrência de chuvas após aplicação, outros fatores podem contribuir para redução da eficácia do glyphosate, dentre eles: mistura em tanque com outros herbicidas (COSTA; APPLEBY, 1986); morfologia foliar, variabilidade nos processos de absorção, translocação e metabolismo nas espécies vegetais (NORSWORTHY; BURGOS; OLIVER, 2001; MONQUERO et al., 2004); e presença de sais na água utilizada como veículo de pulverização (NALEWAJA; MATYSIAK, 1991; GAUVRIT, 2003), que potencialmente podem ser minimizados com a adição de fontes nitrogenadas à calda. Segundo Nalewaja e Matysiak (1991), a intensidade do antagonismo entre glyphosate e cátions ocorre na seguinte ordem decrescente: ferro > zinco > cálcio \geq magnésio > sódio > potássio. Por outro lado, Wills e McWhorter (1985) observaram que sais de cátions monovalentes (NH_4^+ , K^+ e Na^+), geralmente, resultaram em maior toxicidade do glyphosate, enquanto sais de cátions bi ou trivalentes (Zn^{2+} e Fe^{3+}) proporcionaram menor atividade herbicida.

Trabalhos têm sido desenvolvidos visando quantificar a influência de concentrações de sais na água de pulverização sobre a eficácia do herbicida glyphosate. Mueller et al. (2006), observaram que a eficácia do herbicida glyphosate (420 e 840 g ha⁻¹) foi reduzida quando a

concentração de cátions (cálcio ou magnésio) na água foi superior a 250 ppm, porém este antagonismo foi minimizado com a adição de sulfato de amônio a 2%. Shea e Tupy (1984), por sua vez, observaram menor controle de trigo (*Triticum aestivum*) com glyphosate a 100 g ha⁻¹ quando da presença de 50 ppm de cálcio na calda de pulverização.

Com a redução do antagonismo proporcionado pela presença de sais na calda de pulverização tem-se também possibilidade de diminuir a quantidade de glyphosate necessária para controle eficaz das plantas daninhas, além de aumentar a consistência dos resultados (NALEWAJA; MATYSIAK, 1993). A adição de sulfato de amônio às caldas de aplicação de glyphosate utilizando água livre de agentes contaminantes também pode promover maior eficácia do herbicida, em razão da absorção facilitada nas folhas e membranas; porém esta resposta pode ser diferencial entre as espécies (YOUNG et al., 2003).

A temática da adição de sulfato de amônio à calda do herbicida glyphosate tem sido estudada intensamente (SALISBURY; CHANDLER; MERKLE, 1991; THELEN; JACKSON; PENNER, 1995; RAMSDALE; MESSERSMITH; NALEWAJA, 2003), no entanto somente alguns trabalhos contemplaram espécies com ocorrência no Brasil. Por outro lado, poucos foram os estudos que avaliaram os efeitos da adição de uréia à calda, prática esta comumente utilizada por produtores brasileiros. Neste sentido, Durigan (1992) avaliou o efeito da adição de diferentes adjuvantes à calda de aplicação de glyphosate para controle de capim-colonião (*Panicum maximum*), e constatou que a dissolução de 0,2% de uréia, em volume de calda de 500 L ha⁻¹, proporcionou redução da dose de glyphosate em 360 g ha⁻¹.

Assim sendo, este trabalho foi desenvolvido com o objetivo de avaliar a eficácia do herbicida glyphosate na dessecação de plantas daninhas após adição dos fertilizantes nitrogenados sulfato de amônio ou uréia à calda de pulverização.

2.2 Material e Métodos

Dois experimentos foram desenvolvidos em áreas próximas (adjacentes), pertencentes ao Departamento de Produção Vegetal da Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” – Esalq/USP, em Piracicaba – SP – Brasil (22° 42’ 30” Latitude Sul, 47° 38’ 00” Longitude Oeste e 546 m de altitude), no período compreendido entre abril e maio de 2008. O solo de ambas as

áreas é classificado como Nitossolo Vermelho eutrófico (EMBRAPA, 2006), de textura argilosa, pH 5,4, com 2,5% de matéria orgânica e 68% de saturação por bases. No primeiro experimento havia na área a predominância de apaga-fogo (*Alternanthera tenella* Colla) com média de 30 plantas m⁻², já no segundo experimento a espécie predominante foi o capim-massambará (*Sorghum halepense* (L.) Pers.) com média de 20 plantas m⁻².

Em ambos os estudos, o delineamento experimental adotado foi o de blocos ao acaso, com doze tratamentos e três repetições, totalizando 36 parcelas. Cada parcela foi composta por áreas total e útil de 10,0 e 8,0 m², respectivamente. Os tratamentos resultaram da combinação entre doses do herbicida glyphosate (sal de isopropilamina - Roundup Original[®] - 720 e 1.440 g e.a. ha⁻¹), e das fontes nitrogenadas: uréia (2,5 e 5,0 g L⁻¹) ou sulfato de amônio (7,5 e 15,0 g L⁻¹); acrescidos de um tratamento com herbicida de outro mecanismo de ação, inibição da glutamina sintetase (glufosinato de amônio – 400 g ha⁻¹) e testemunha sem aplicação. Todos os tratamentos estão detalhadamente descritos na Tabela 2.1. As doses de glyphosate foram estimadas de acordo com as recomendações de registro para as duas espécies (RODRIGUES; ALMEIDA, 2005). Os fertilizantes nitrogenados utilizados foram provenientes de fontes convencionalmente utilizadas nas adubações agrícolas, com concentrações de 21 e 45% de nitrogênio no sulfato de amônio e uréia, respectivamente. A procedência e as doses destes fertilizantes foram escolhidas de acordo com o uso rotineiro em campo e com os trabalhos disponíveis na literatura científica (COSTA; APPLEBY, 1986; DURIGAN, 1992; YOUNG et al., 2003).

As aplicações dos herbicidas foram realizadas dia 4 de abril de 2008, das 14:20 às 15:20h, em plantas de apaga-fogo com estágio fenológico de pleno florescimento e capim-massambará em pré-florescimento. No momento das aplicações, as médias das condições meteorológicas foram: umidade relativa de 81,2%; temperatura do ar de 25,2 °C; céu parcialmente encoberto (50%) e ventos de 3,7 km h⁻¹. A primeira chuva foi registrada 48 h após a aplicação; as precipitações e temperatura média diária do período em que o experimento foi desenvolvido estão apresentadas na Figura 2.1.

Tabela 2.1 – Tratamentos herbicidas aplicados nos dois experimentos¹. Piracicaba – SP, 2008

Nº	Herbicida		Fertilizante Nitrogenado		
	Condição	Dose (g ha ⁻¹)	Tipo	Dose (g L ⁻¹)	Dose (kg ha ⁻¹)
1	Testemunha sem aplicação		Ausente	0,0	0,0
2	Glyphosate ²	720	Ausente	0,0	0,0
3	Glyphosate	720	Sulfato de Amônio	7,5	1,5
4	Glyphosate	720	Sulfato de Amônio	15,0	3,0
5	Glyphosate	720	Uréia	2,5	0,5
6	Glyphosate	720	Uréia	5,0	1,0
7	Glyphosate	1.440	Ausente	0,0	0,0
8	Glyphosate	1.440	Sulfato de Amônio	7,5	1,5
9	Glyphosate	1.440	Sulfato de Amônio	15,0	3,0
10	Glyphosate	1.440	Uréia	2,5	0,5
11	Glyphosate	1.440	Uréia	5,0	1,0
12	Glufosinato de Amônio ³	400 g ha ⁻¹	Ausente		

¹ Volume de calda correspondente a 200 L ha⁻¹; ² Roundup Original®, 360 g e.a. L⁻¹; ³ Finale®, 200 g i.a. L⁻¹.

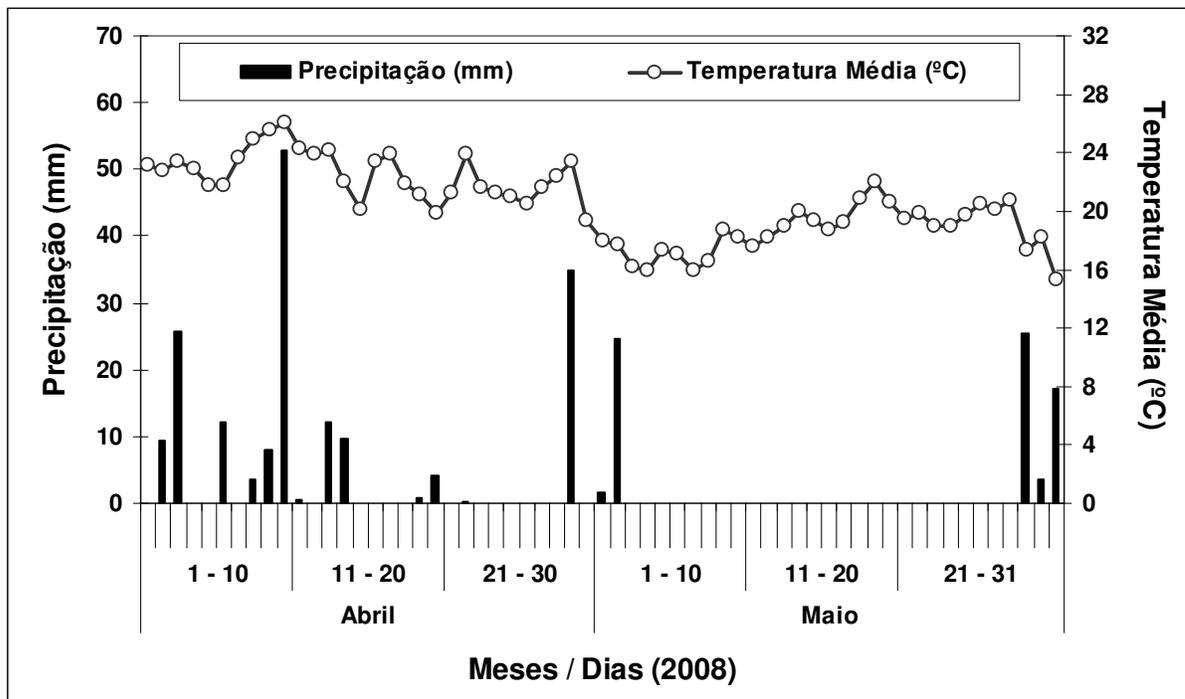


Figura 2.1 – Temperatura média (°C) e precipitações (mm) diárias registradas durante o período de desenvolvimento dos experimentos. Piracicaba – SP, 2008

Para as aplicações, utilizou-se pulverizador costal de precisão pressurizado por CO₂, acoplado a uma barra de pulverização com largura total de 2 m, com quatro pontas de aplicação do tipo jato plano, modelo XR 110.02, espaçadas em 0,50 m, o que proporcionou a aplicação de 200 L ha⁻¹ de calda herbicida. A água utilizada nas aplicações procede de tratamento comum para distribuição pública, realizado na própria Esalq/USP, cuja análise completa está apresentada na Tabela 2.2.

As variáveis avaliadas foram: controle percentual das plantas daninhas aos 7, 14, 21 e 28 dias após a aplicação (DAA) dos tratamentos, massa fresca e seca aos 28 DAA. Para as avaliações de controle, utilizou-se escala visual atribuindo-se notas de 0 a 100%, em que zero representou a ausência de sintomas e 100 a morte de todas as plantas. Para a coleta das massas fresca e seca, utilizou-se um quadro de madeira de 0,25 m² (0,5 x 0,5 m), sendo lançado aleatoriamente uma vez em área representativa de cada parcela. Após a coleta da parte aérea do material vegetal, este foi seco em estufa (70 °C) por 72 horas, quando se determinou a massa fresca e seca. Para permitir comparação dos experimentos, as massas foram ajustadas a termos percentuais, considerando-se como 100% a parcela testemunha de cada bloco.

Tabela 2.2 – Análise da água utilizada nas aplicações, submetida a tratamento usual para distribuição pública, realizado na Esalq/USP. Piracicaba – SP, 2008

Parâmetro	Unidade	Resultado	Parâmetro	Unidade	Resultado
Cloreto (Cl ⁻)	mg L ⁻¹	26,0	Zinco (Zn)	mg L ⁻¹	0,09
Nitrato (N-NO ₃ ⁻)	mg L ⁻¹	11,5	Alcalinidade (2CO ₃ ²⁻ + HCO ₃ ⁻)	mg L ⁻¹	40,2
Sulfato (SO ₄ ²⁻)	mg L ⁻¹	68,3	Nitrogênio Amoniacal (N – NH ₃)	mg L ⁻¹	0,2
Fósforo (P)	mg L ⁻¹	0,01	Cor Aparente	PtCo	0
Sódio (Na ⁺)	mg L ⁻¹	36,5	Turbidez	FTU	0
Potássio (K ⁺)	mg L ⁻¹	4,8	Sedimentos em suspensão	mg L ⁻¹	1,0
Cálcio (Ca ²⁺)	mg L ⁻¹	38,8	Condutividade elétrica (CE)	mS cm ⁻¹	0,26
Magnésio (Mg ²⁺)	mg L ⁻¹	2,7	pH	--	8,2
Ferro (Fe)	mg L ⁻¹	0,02	Gás Carbônico (CO ₂)	mg L ⁻¹	0,4
Cobre (Cu)	mg L ⁻¹	0	Acidez (CaCO ₃)	mg L ⁻¹	1,0
Manganês (Mn)	mg L ⁻¹	0,02	Dureza Total* (CaCO ₃)	mg L ⁻¹	107,8

Análises realizadas pelo Laboratório de Ecologia Aplicada, Departamento de Ciências Florestais, Esalq/USP.
 *Dureza Total calculada com base no equivalente de Carbonato de Cálcio (CaCO₃) segundo Franson (1995): 2,497 [Ca, mg L⁻¹] + 4,118 [Mg, mg L⁻¹].

Procedeu-se análise por grupo de experimentos, com aplicação do teste F na análise da variância, seguido da aplicação do teste 't' para comparação das espécies (experimentos) e teste de Scott-Knott (SCOTT; KNOTT, 1974) para agrupamento das médias dos tratamentos herbicidas, todos com 5% de significância.

2.3 Resultados e Discussão

Foi identificada interação dos tratamentos herbicidas com os diferentes experimentos (espécies) para todas as avaliações de controle, contudo não houve interação para massa fresca e seca. Aos 7 DAA, constatou-se efeito da dose de glyphosate no controle das espécies daninhas, em que a aplicação de 1.440 g ha^{-1} apresentou maior índice de controle, com diferença média de 10 e 20% em relação a 720 g ha^{-1} , para apaga-fogo e capim-massambará, respectivamente. Dentre as espécies, o capim-massambará foi menos sensível ao glyphosate, uma vez que o controle obtido com a dose de 720 g ha^{-1} foi menor que o obtido para apaga-fogo quando se aplicou o herbicida isolado ou combinado com sulfato de amônio (Tabela 2.3).

A adição de $2,5 \text{ g L}^{-1}$ de uréia à calda de glyphosate (720 g ha^{-1}) resultou em incremento de controle de capim-massambará aos 7 DAA, pois além de proporcionar igualdade entre as espécies, diferenciou-se do tratamento com glyphosate isolado na mesma dose. Por outro lado, para a maior dose de glyphosate, a adição de uréia a $5,0 \text{ g L}^{-1}$ resultou em menor controle, indicando possível antagonismo quando do uso de maiores concentrações deste fertilizante nitrogenado (Tabela 2.3).

Resultados semelhantes foram observados aos 14 DAA (Tabela 2.3). Nesta avaliação, para o apaga-fogo, novamente não foram observados efeitos da adição de fontes nitrogenadas à calda do herbicida, o que pode estar relacionado com a aplicação de doses iguais ou superiores à recomendada para a espécie (RODRIGUES; ALMEIDA, 2005). Sobre o capim-massambará, constatou-se incremento de controle com a aplicação de glyphosate (720 g ha^{-1}) acrescido de $2,5 \text{ g L}^{-1}$ de uréia. Houve diferenciação das espécies apenas quando se aplicou glyphosate a 720 g ha^{-1} . A adição de quaisquer doses de sulfato de amônio ou uréia permitiu a igualdade dos níveis de controle das espécies, o que sugere efeito das fontes nitrogenadas (Tabela 2.3).

Tabela 2.3 – Controle percentual de apaga-fogo (ALRTE) e capim-massambará (SORHA), avaliado aos 7 e 14 dias após aplicação (DAA) dos tratamentos. Piracicaba – SP, 2008

Tratamentos	Doses		Controle Percentual*			
	Herbicida g ha ⁻¹	FN ³ g L ⁻¹	7 DAA		14 DAA	
			ALRTE	SORHA	ALRTE	SORHA
Testemunha sem aplicação	--	--	0,0 D a	0,0 D a	0,0 C a	0,0 C a
Glyphosate ¹	720	--	68,9 B a	53,6 C b	92,7 A a	86,0 B b
Glyphosate + SA ²	720	7,5	66,1 B a	54,6 C b	92,7 A a	87,7 B a
Glyphosate + SA	720	15,0	66,3 B a	53,3 C b	91,7 A a	86,7 B a
Glyphosate + Uréia	720	2,5	63,3 B a	66,7 B a	94,3 A a	91,7 A a
Glyphosate + Uréia	720	5,0	61,1 B a	54,5 C a	92,7 A a	89,3 B a
Glyphosate	1.440	--	75,0 A a	83,8 A a	98,3 A a	97,7 A a
Glyphosate + SA	1.440	7,5	81,2 A a	78,1 A a	95,7 A a	93,0 A a
Glyphosate + SA	1.440	15,0	78,3 A a	75,0 A a	96,7 A a	94,0 A a
Glyphosate + Uréia	1.440	2,5	71,1 A a	76,3 A a	96,7 A a	95,3 A a
Glyphosate + Uréia	1.440	5,0	78,3 A a	72,2 B a	96,0 A a	94,3 A a
Glufosinato de Amônio	400	--	51,1 C b	66,1 B a	41,6 B b	85,0 B a
				2,99**		19,62**
				10,68		6,14
				10,41		4,49

¹ Dose de glyphosate em g ha⁻¹; ² SA - Sulfato de Amônio; ³ FN – Fertilizantes nitrogenados, * Em cada avaliação, médias seguidas por letras iguais, maiúsculas nas colunas e minúsculas nas linhas, não diferem entre si segundo teste de agrupamento de médias de Scott-Knott (coluna) ou teste 't' (linha), com 5% de significância; ** Teste F significativo a 1%.

Com relação à uréia, Durigan (1992) relata tratar-se de uma substância que penetra com relativa facilidade a cutícula das folhas. Mesmo sem receber energia metabólica, passa do apoplasto para o simplasto foliar por difusão facilitada, resultante do acúmulo de energia cinética pelas moléculas. Segundo o autor, a uréia também pode romper algumas ligações éster, éter e dieter da cutina, o que contribui para maior absorção de outros elementos presentes na calda, por consequência do aumento dos espaços de entrada. Suwunnamek e Parker (1975) observaram que a adição de uréia, fosfato-butil-amônio e fosfato de amônio também elevaram o controle de tiririca (*Cyperus rotundus*) pelo glyphosate, porém não apresentaram vantagens em relação ao sulfato de amônio.

Salisbury; Chandler e Merkle. (1991), também estudaram a adição de sulfato de amônio à calda de pulverização para incremento de controle de capim-massambará com o herbicida glyphosate. Constataram que a adição de sulfato de amônio ($3,33 \text{ kg ha}^{-1}$) à calda de 420 g ha^{-1} de glyphosate proporcionou controle comparável à dose de 840 g ha^{-1} e que efeitos antagônicos só foram observados com doses de sulfato de amônio superiores a $9,7 \text{ kg ha}^{-1}$. Hall; Hart e Jones (2000), por sua vez, não observaram incremento significativo no controle de capim-massambará em decorrência da adição de sulfato de amônio à calda de pulverização.

Para caldas oriundas da utilização de “água dura” (água com presença de níveis elevados de cálcio e magnésio) como veículo de pulverização, a maior eficácia do glyphosate em presença do sulfato de amônio tem sido explicada, dentre outras teorias, pela ligação do Ca^{2+} com o ânion sulfato oriundo do fertilizante nitrogenado, resultando em precipitados de CaSO_4 . Com a remoção do cálcio, o íon NH_4^+ pode se ligar ao glyphosate, gerando um sal que atravessa mais facilmente a cutícula (THELEN; JACKSON; PENNER, 1995).

Os resultados positivos da adição de fontes nitrogenadas à calda do herbicida glyphosate foram evidentes na avaliação de controle conduzida aos 21 DAA (Tabela 2.4). Dentre os tratamentos herbicidas, observou-se menor controle do capim-massambará para aplicação de 720 g ha^{-1} de glyphosate. Para esta espécie, a adição de quaisquer doses de uréia e sulfato de amônio à menor dose de glyphosate proporcionou igualdade desta à maior dose e, também, igualdade de controle entre as espécies, com incrementos de até 7,3%. Também na avaliação realizada aos 21 DAA, o capim-massambará manteve-se como espécie menos suscetível ao glyphosate, o que está de acordo com as doses recomendadas por Rodrigues e Almeida (2005).

Vale destacar que no momento da aplicação dos herbicidas não havia sedimentos ou excessiva quantidade de poeira sobre as folhas, devido à ocorrência de chuva na véspera. Ainda, considerando-se que não ocorreu chuva logo após a aplicação, que as condições meteorológicas foram adequadas à eficácia dos herbicidas (Figura 2.1) e que a água utilizada nas aplicações não continha níveis elevados de cálcio, magnésio, ferro ou dureza total (Tabela 2.2), os incrementos provenientes da adição de fontes nitrogenadas à calda devem estar relacionados com outras vias de resposta que não a redução da atividade de cátions antagônicos.

Nurse et al. (2008), observaram que a adição de sulfato de amônio (2%) à calda com água livre de impurezas proporcionou maior eficácia do glyphosate sobre algumas espécies daninhas, porém somente para doses inferiores às recomendadas, o que está em concordância com os dados

avaliados neste trabalho. Uma das teorias para explicar os incrementos de controle sugere que a adição de sulfato de amônio à calda de glyphosate altera a morfologia das gotas, atrasando ou prevenindo a cristalização do glyphosate na superfície foliar. Desta forma, há maior tempo para que a molécula atravesse a cutícula (MacISAAC; PAUL; DEVINE, 1991).

Outros estudos demonstraram que o aumento da eficácia do glyphosate proporcionada pela adição de sulfato de amônio se deve à maior absorção do herbicida pelas plantas (COSTA; APPLEBY, 1986; SATCHIVI et al., 2000). Isto resultaria em maior translocação do produto das folhas tratadas para toda a planta (YOUNG et al., 2003). Segundo Nalewaja; Matysiak e Freeman (1992), e Thelen; Jackson e Penner (1995), o aumento da eficácia está relacionado com a formação de complexos de sais glyphosate-amônio, que são mais facilmente absorvidos pelas folhas, através da cutícula, que complexos glyphosate-cálcio ou glyphosate-sódio.

Tabela 2.4 – Controle percentual de apaga-fogo (ALRTE) e capim-massambará (SORHA) avaliado aos 21 e 28 dias após aplicação (DAA) dos tratamentos. Piracicaba – SP, 2008

Tratamentos	Doses		Controle Percentual*			
	Herbicida	FN ³	21 DAA		28 DAA	
	g ha ⁻¹	g L ⁻¹	ALRTE	SORHA	ALRTE	SORHA
Testemunha sem aplicação	--	--	0,0 C a	0,0 D a	0,0 C a	0,0 C a
Glyphosate ¹	720	--	97,3 A a	90,7 B b	97,3 A a	95,7 A a
Glyphosate + SA ²	720	7,5	96,7 A a	95,7 A a	96,3 A a	98,0 A a
Glyphosate + SA	720	15,0	96,7 A a	93,3 A a	97,0 A a	96,7 A a
Glyphosate + Uréia	720	2,5	97,0 A a	98,0 A a	97,0 A a	98,0 A a
Glyphosate + Uréia	720	5,0	97,3 A a	94,3 A a	96,7 A a	97,7 A a
Glyphosate	1.440	--	98,7 A a	97,0 A a	98,7 A a	98,0 A a
Glyphosate + SA	1.440	7,5	98,3 A a	97,3 A a	97,3 A a	98,7 A a
Glyphosate + SA	1.440	15,0	98,0 A a	96,7 A a	97,0 A a	98,3 A a
Glyphosate + Uréia	1.440	2,5	97,7 A a	96,7 A a	98,3 A a	97,7 A a
Glyphosate + Uréia	1.440	5,0	99,0 A a	98,0 A a	98,0 A a	97,3 A a
Glufosinato de Amônio	400	--	45,0 B b	83,3 C a	41,7 B b	90,3 B a
			F_(Trat x Exp)		25,38**	
			DMS_{Espécies}		4,69	
			CV (%)		3,32	
					99,85**	
					2,83	
					1,98	

¹ Dose de glyphosate em g ha⁻¹; ² SA - Sulfato de Amônio; ³ FN – Fertilizantes nitrogenados * Em cada avaliação, médias seguidas por letras iguais, maiúsculas nas colunas e minúsculas nas linhas, não diferem entre si segundo teste de agrupamento de médias de Scott-Knott (coluna) ou teste ‘t’ (linha), com 5% de significância; ** Teste F significativo a 1%.

O caráter ácido-fraco, hidrofílico e zwitteriônico do glyphosate sugere impermeabilidade da membrana celular ao produto para entrada nas células por simples difusão. Estudos propõem vias de penetração do glyphosate no simplasto por difusão passiva não-facilitada ou por absorção ativa, viabilizada por transportadores de fosfato (RUITER; MEINEN, 1996). Young et al. (2003) comentam também que a acidificação da calda provocada pelo sulfato de amônio permitiria que mais moléculas permanecessem sob a forma não-dissociada, que atravessa a membrana plasmática com maior facilidade. Ruiten e Meinen (1996) observaram que o sulfato de amônio elevou a absorção de glyphosate por protoplastos isolados de *Elytrigia repens*, com pequeno incremento no pH citoplasmático. No interior das células, em razão do pH mais alcalino que o meio intercelular, as moléculas de glyphosate passariam novamente para a forma dissociada, atuando como herbicidas (YOUNG et al., 2003).

Aos 28 DAA, não foram observados efeitos de diferenciação de dose ou de fonte nitrogenada, o que sugere que a adição de fontes nitrogenadas à calda de pulverização somente acelerou a morte das plantas, o que também ocorreu com a aplicação de glyphosate isolado a 720 g ha^{-1} (Tabela 2.4). Em todas as avaliações, observou-se controle diferenciado das duas espécies com o herbicida glufosinato de amônio, em que o apaga-fogo foi mais tolerante à dose de 400 g ha^{-1} deste herbicida (Tabelas 2.3 e 2.4), o que está em coerência com a ausência de registro para *A. tenella* (RODRIGUES; ALMEIDA, 2005).

Não foram observados incrementos de controle proporcionados pela adição das fontes nitrogenadas nas avaliações de massa fresca ou seca (Tabelas 2.5 e 2.6), porém a comparação das espécies manteve a caracterização do capim-massambará como menos sensível à aplicação de herbicidas. Para a avaliação de massa fresca, observou-se diferença entre as espécies para o herbicida glufosinato de amônio, cuja massa residual foi superior à dos tratamentos com glyphosate e inferior à testemunha sem aplicação (Tabela 2.5), o que está em concordância com os dados de controle.

Tabela 2.5 – Massa fresca (%) de apaga-fogo (ALRTE) e capim-massambará (SORHA), avaliada aos 28 dias após aplicação (DAA) dos tratamentos. Piracicaba – SP, 2008

Tratamentos	Doses		Massa Fresca Residual ³ (%)		
	Herbicida g ha ⁻¹	FN ² g L ⁻¹	ALRTE	SORHA	Média
Testemunha sem aplicação	--	--	100,0	100,0	100,0 C
Glyphosate ¹	720	--	18,1	24,6	21,3 A
Glyphosate + Sulfato de Amônio	720	7,5	20,6	32,1	26,4 A
Glyphosate + Sulfato de Amônio	720	15,0	11,5	23,7	17,6 A
Glyphosate + Uréia	720	2,5	6,7	31,5	19,1 A
Glyphosate + Uréia	720	5,0	10,6	27,7	19,2 A
Glyphosate	1440	--	14,5	14,0	14,2 A
Glyphosate + Sulfato de Amônio	1440	7,5	13,4	18,2	15,8 A
Glyphosate + Sulfato de Amônio	1440	15,0	19,9	19,7	19,8 A
Glyphosate + Uréia	1440	2,5	15,8	18,5	17,2 A
Glyphosate + Uréia	1440	5,0	11,6	15,7	13,6 A
Glufosinato de Amônio	400	--	83,4	57,2	70,3 B
Média	--	--	27,2 a	31,9 b	--
F_(Trat x Exp) = 1,72^{NS}		CV (%) = 21,20	F_{Trat} = 21,20**	F_{Exp} = 7,23*	

¹Round up Original[®]; ²FN = Fertilizantes nitrogenados; ³Dados previamente transformados por $\sqrt{x+0,5}$; Médias seguidas por letras iguais, maiúsculas nas colunas e minúsculas nas linhas, não diferem entre si segundo teste de agrupamento de médias de Scott-Knott (coluna) ou teste 't' (linha), com 5% de significância; ^{NS}Não significativo; *Teste F significativo a 5%; **Teste F significativo a 1%.

Tabela 2.6 – Massa seca residual (%) de apaga-fogo (ALRTE) e capim-massambará (SORHA), avaliada aos 28 dias após aplicação (DAA) dos tratamentos. Piracicaba – SP, 2008

Tratamentos	Doses		Massa Seca Residual ^{3*} (%)		
	Herbicida g ha ⁻¹	FN ² g L ⁻¹	ALRTE	SORHA	Média
Testemunha sem aplicação	--	--	100,0	100,0	100,0 B
Glyphosate ¹	720	--	33,5	50,1	41,8 A
Glyphosate + Sulfato de Amônio	720	7,5	19,9	67,9	43,9 A
Glyphosate + Sulfato de Amônio	720	15,0	25,9	51,4	38,6 A
Glyphosate + Uréia	720	2,5	15,7	53,2	34,4 A
Glyphosate + Uréia	720	5,0	21,3	59,3	40,3 A
Glyphosate	1440	--	37,4	41,6	39,5 A
Glyphosate + Sulfato de Amônio	1440	7,5	30,8	47,7	39,3 A
Glyphosate + Sulfato de Amônio	1440	15,0	46,0	51,1	48,5 A
Glyphosate + Uréia	1440	2,5	33,5	49,6	41,5 A
Glyphosate + Uréia	1440	5,0	31,9	44,1	38,0 A
Glufosinato de Amônio	400	--	60,7	71,2	65,9 A
Média	--	--	38,1 a	57,3 b	--
F_(Trat x Exp) = 1,41^{NS}		CV (%) = 19,89	F_{Trat} = 5,00**	F_{Exp} = 25,96**	

¹Round up Original[®]; ²FN = Fertilizantes nitrogenados; ³Dados previamente transformados por $\sqrt{x+0,5}$; Médias seguidas por letras iguais, maiúsculas nas colunas e minúsculas nas linhas, não diferem entre si segundo teste de agrupamento de médias de Scott-Knott (coluna) ou teste 't' (linha), com 5% de significância; ^{NS}Não significativo; **Teste F significativo a 1%.

Os mecanismos que promovem incrementos de controle relacionados com a adição de uréia ou sulfato de amônio à calda do glyphosate ainda não estão completamente esclarecidos. Porém, observou-se que a adição de fontes nitrogenadas acelerou a morte da espécie mais tolerante, com controle diferenciado em relação à aplicação de somente glyphosate na dose de 720 g ha⁻¹. A aplicação de glyphosate com sulfato de amônio e uréia mostrou potencial de utilização em áreas agrícolas brasileiras, principalmente na ocorrência de água dura, espécies de maior tolerância a herbicidas ou possibilidade de chuvas em curto intervalo de tempo. No entanto, maiores estudos devem ser desenvolvidos visando à diferenciação de resposta das espécies às combinações de herbicida-fonte nitrogenada, bem como à dose do fertilizante a ser adicionada.

2.4 Conclusões

Para a espécie menos suscetível ao herbicida (capim-massambará), a adição de fontes nitrogenadas à menor dose de glyphosate acelerou a morte das plantas, elevando os níveis de controle em até 7,3%, avaliado aos 21 dias após aplicação (DAA) dos tratamentos. Porém, os efeitos não foram observados nas avaliações de controle, massa fresca e seca, conduzidas aos 28 DAA. A dose recomendada de glyphosate para cada espécie proporcionou controle satisfatório, sem a necessidade de adição de sulfato de amônio ou uréia.

Referências

CHRISTOFFOLETI, P.J.; GALLI, A.J.B.; CARVALHO, S.J.P.; MOREIRA, M.S.; NICOLAI, M.; FOLONI, L.L.; MARTINS, B.A.B.; RIBEIRO, D.N. Glyphosate sustainability in South American cropping systems. **Pest Management Science**, London, v.64, n.4, p.422–427, 2008.

COSTA, J.; APPLEBY, A.P. Effects of ammonium sulphate on leaf growth inhibition by glyphosate in *Cyperus esculentus* L. **Crop Protection**, Guildford, v.5, n.5, p.314-318, 1986.

DURIGAN, J.C. Efeito de adjuvantes na calda e no estágio de desenvolvimento das plantas, no controle do capim-colonião (*Panicum maximum*) com glyphosate. **Planta Daninha**, Brasília, v.10, n.1/2, p.39-44, 1992.

EMBRAPA - EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 2.ed. Rio de Janeiro: EMBRAPA, 2006. 306p.

FRANSON, M.A.H. **Standard methods for the examination of water and wastewater**. 19th. ed. Washington: American Public Health Association, 1995. 1074p.

GAUVRIT, C. Glyphosate response to calcium, ethoxylated amine surfactant, and ammonium sulfate. **Weed Technology**, Lawrence, v.17, n.4, p.799-804, 2003.

HALL, G.J.; HART, C.A.; JONES, C.A. Plants as sources of cations antagonistic to glyphosate activity. **Pest Management Science**, London, v. 56, n.4, p.351-358, 2000.

JAKELAITIS, A.; FERREIRA, L.R.; SILVA, A.A.; MIRANDA, G.V. Controle de *Digitaria horizontalis* pelos herbicidas glyphosate, sulfosate e glyphosate potássico submetidos a diferentes intervalos de chuva após a aplicação. **Planta Daninha**, Viçosa – MG, v.19, n.2, p.279-285, 2001.

MacISAAC, S.A.; PAUL, R.N.; DEVINE, M.D. A scanning electron microscope study of glyphosate deposits in relation to foliar uptake. **Pesticide Science**, London, v.31, n.1, p.53-64, 1991.

MONQUERO, P.A.; CHRISTOFFOLETI, P.J.; OSUNA, M.D.; DE PRADO, R.A. Absorção, translocação e metabolismo do glyphosate por plantas tolerantes e suscetíveis a este herbicida. **Planta Daninha**, Viçosa – MG, v.22, n.3, p.445-451, 2004.

MOREIRA, M.S.; CHRISTOFFOLETI, P.J. Resistência de plantas daninhas aos herbicidas inibidores da EPSPs (Grupo G). In.: CHRISTOFFOLETI, P.J. (Coord.) **Aspectos de resistência de plantas daninhas a herbicidas**. 3.ed. Piracicaba: HRAC-BR, 2008. p.78-96.

MUELLER, T.C.; MAIN, C.L.; THOMPSON, M.A.; STECKEL, L.E. Comparison of glyphosate salts (isopropylamine, diammonium and potassium) and calcium and magnesium concentrations on the control of various weeds. **Weed Technology**, Lawrence, v.20, n.1, p.164-171, 2006.

NALEWAJA, J.D.; MATYSIAK, R. Salt antagonism of glyphosate. **Weed Science**, Champaign, v.39, n.4, p.622-628, 1991.

NALEWAJA, J.D.; MATYSIAK, R. Optimizing adjuvants to overcome glyphosate antagonistic salts. **Weed Technology**, Champaign, v.7, n.2, p.337-342, 1993.

NALEWAJA, J.D.; MATYSIAK, R.; FREEMAN, T.P. Spray droplet residual of glyphosate in various carriers. **Weed Science**, Champaign, v.40, n.4, p.576-589, 1992.

NORSWORTHY, J.K.; BURGOS, N.R.; OLIVER, L.R. Differences in weed tolerance to glyphosate involve different mechanisms. **Weed Technology**, Lawrence, v.15, n.4, p.725-731, 2001.

NURSE, R.E.; HAMILL, A.S.; KELLS, J.J.; SIKKEMA, P.H. Annual weed control may be improved when AMS is added to below-label glyphosate doses in glyphosate-tolerant maize (*Zea mays* L.). **Crop Protection**, Guildford, v.27, n.3/5, p.452-458, 2008.

PEDRINHO JÚNIOR, A.F.F.; MARTINI, G.; FELICI, G.V.; PIVA, F.M.; DURIGAN, J.C. Momento da chuva após a aplicação e a eficácia dos herbicidas sulfosate e glyphosate aplicados em diferentes formulações. **Planta Daninha**, Viçosa – MG, v.20, n.1, p.115-123, 2002.

RAMSDALE, B.K.; MESSERSMITH, C.G.; NALEWAJA, J.D. Spray volume, formulation, ammonium sulfate, and nozzle effects on glyphosate efficacy. **Weed Technology**, Lawrence, v.17, n.3, p.589-598, 2003.

RODRIGUES, B.N.; ALMEIDA, F.S. **Guia de herbicidas**. 5.ed. Londrina, 2005. 592p.

RUITER, H.D.; MEINEN, E. Adjuvant-increased glyphosate uptake by protoplasts isolated from quackgrass *Elytrigia repens* (L.) Nevski. **Weed Science**, Champaign, v.44, n.1, p.38-45, 1996.

SALISBURY, C.D.; CHANDLER, J.M.; MERKLE, M.G. Ammonium sulfate enhancement of glyphosate and SC-0224 control of johnsongrass (*Sorghum halepense*). **Weed Technology**, Champaign, v.5, n.1, p.18-21, 1991.

SATCHIVI, N.M.; WAX, L.M.; STOLLER, E.W.; BRISKIN, D.P. Absorption and translocation of glyphosate isopropylamine and trimethylsulfonium salts in *Abutilon theophrasti* and *Setaria faberi*. **Weed Science**, Lawrence, v.48, n.6, p.675-679, 2000.

SCOTT, A.J.; KNOTT, M.A. Cluster analysis method for grouping means in the analysis of variance. **Biometrics**, Washington, v.30, n.2, p.507-512, 1974.

SHEA, P.J.; TUPY, D.R. Reversal of cation-induced reduction in glyphosate activity with EDTA. **Weed Science**, Champaign, v.16, n.1, p.1-6, 1984.

SUWUNNAMEK, U.; PARKER, C. Control of *Cyperus rotundus* with glyphosate: the influence of ammonium sulfate and other additives. **Weed Research**, Oxford – UK, v.15, n.1, p.13-20, 1975.

THELEN, K.D.; JACKSON, E.P.; PENNER, D. The basis for the hard-water antagonism of glyphosate activity. **Weed Science**, Champaign, v.43, n.4, p.541-548, 1995.

WILLS, G.D.; McWHORTER, C.G. Effect of inorganic salts on the toxicity and translocation of glyphosate and MSMA in purple nutsedge (*Cyperus rotundus*). **Weed Science**, Champaign, v.33, n.6, p.755-761, 1985.

YOUNG, B.G.; KNEPP, A.W.; WAX, L.M.; HART, S.E. Glyphosate translocation in common lambsquarters (*Chenopodium album*) and velvetleaf (*Abutilon theophrasti*) in response to ammonium sulfate. **Weed Science**, Lawrence, v.51, n.2, p.151-156, 2003.

3 GLYPHOSATE APLICADO COM DIFERENTES CONCENTRAÇÕES DE URÉIA OU SULFATO DE AMÔNIO PARA DESSECAÇÃO DE PLANTAS DANINHAS

Resumo

Este trabalho foi desenvolvido com objetivo de avaliar a eficácia agrônômica do herbicida glyphosate para dessecação de plantas daninhas, quando aplicado isolado ou em mistura com diferentes concentrações dos fertilizantes nitrogenados sulfato de amônio ou uréia. Foram realizados três experimentos, sendo dois em campo e um em condição de casa-de-vegetação. Os tratamentos aplicados em campo foram: glyphosate (360 g ha⁻¹), isolado ou em mistura com quatro concentrações de sulfato de amônio (2,5; 5,0; 10,0 e 20,0 g L⁻¹ de calda) ou uréia (1,5; 3,0; 6,0 e 12,0 g L⁻¹ de calda); glyphosate a 720 g ha⁻¹, aplicado isoladamente; e testemunha sem aplicação. Em casa-de-vegetação, visando ao controle específico da trapoeraba (*Commelina benghalensis*), as doses de glyphosate foram elevadas para 720 (isolado e nas mesmas combinações com fertilizantes nitrogenados do experimento de campo) e 1.440 g ha⁻¹. A adição de sulfato de amônio à calda do glyphosate elevou o controle das espécies daninhas em campo, para as concentrações com até 10 g L⁻¹ de calda. O herbicida glyphosate não foi eficaz no controle da trapoeraba, em nenhuma das doses utilizadas. A adição de uréia não promoveu incrementos de controle em condição de campo; porém, melhorou o controle da trapoeraba em casa-de-vegetação, somente na avaliação conduzida aos 28 dias após aplicação e para concentrações de até 6 g L⁻¹ de calda.

Palavras-chave: *Commelina benghalensis*; Trapoeraba; Eficácia; Herbicida; Controle químico

Glyphosate applied with different concentrations of urea or ammonium sulfate for weed desiccation

Abstract

This work was developed with the objective of evaluating glyphosate agronomic efficacy for weed desiccation, when isolated-applied or combined to different concentrations of the nitrogen fertilizers ammonium sulfate or urea. Three experiments were carried out, two in field conditions and one at greenhouse. Treatments applied in field conditions were: glyphosate at 360 g ha⁻¹, isolated or combined to four concentrations of ammonium sulfate (2.5; 5.0; 10.0 and 20.0 g L⁻¹) or urea (1.5; 3.0; 6.0 and 12.0 g L⁻¹); glyphosate at 720 g ha⁻¹, applied isolated; and checks without application. At greenhouse, studying the specific control of Bengal dayflower (*Commelina benghalensis*), glyphosate rates were increase to 720 (isolated or in the same combination with nitrogen fertilizers, such as field applied treatments) and to 1.440 g ha⁻¹. Ammonium sulfate addition to glyphosate spray solution increased field weed species control, when concentrations up to 10 g L⁻¹ were used. None of the glyphosate rates were efficient to control Bengal dayflower. Urea addition to spray solution did not improve weed control in field conditions; however, it increased Bengal dayflower control in greenhouse, only at the evaluation of 28 days after application and for concentrations up to 6 g L⁻¹.

Keywords: *Commelina benghalensis*; Bengal dayflower; Efficacy; Herbicide; Chemical control

3.1 Introdução

Atualmente, tem-se observado crescente preocupação do setor agrícola pela adoção de sistemas de produção conservacionistas, que têm por base o revolvimento mínimo do solo e a manutenção da cobertura vegetal em sua superfície. Com este objetivo, o sistema de semeadura direta ou o de cultivo mínimo têm sido largamente utilizados por produtores da América do Sul. Contudo, esses sistemas alteram a dinâmica do manejo de plantas daninhas em razão das restrições impostas pela palhada à aplicação de alguns herbicidas diretamente ao solo (CHRISTOFFOLETI et al., 2007).

O glyphosate é um herbicida amplamente utilizado em sistemas de baixo impacto ambiental, em razão de seu amplo espectro de controle e reduzida toxicidade a organismos não-alvo (TRIGO; CAP, 2003; CHRISTOFFOLETI et al., 2008). Trata-se de um herbicida não-seletivo, de ação sistêmica, usado no controle de plantas daninhas anuais e perenes e na dessecação de culturas de cobertura (RODRIGUES; ALMEIDA, 2005; TIMOSSO; DURIGAN; LEITE, 2006). A molécula inibe a EPSPs (enol piruvil shiquimato fosfato sintase), enzima que participa da rota de síntese dos aminoácidos aromáticos fenilalanina, tirosina e triptofano (COLE, 1985). Sua absorção é um processo bifásico, que envolve rápida penetração pela cutícula, seguida de absorção simplástica lenta, dependente de fatores como a idade da planta, condições ambientais, surfactantes e concentração do herbicida na calda (MONQUERO et al., 2004).

O advento das culturas geneticamente modificadas para tolerância a herbicidas também contribuiu sobremaneira para a maior adoção do glyphosate (YOUNG et al., 2003); e problemas decorrentes do seu uso repetitivo já foram relatados, dentre os quais a seleção de espécies tolerantes ou de biótipos de plantas daninhas resistentes ao produto (MONQUERO; CHRISTOFFOLETI, 2003; CHRISTOFFOLETI et al., 2008). A trapoeraba (*Commelina benghalensis* L.), por exemplo, tem sido selecionada em áreas com sucessivas aplicações de glyphosate. Isto se deve, dentre outras características, à tolerância dessa espécie ao herbicida, que está correlacionada com sua habilidade de metabolizar a molécula a compostos menos tóxicos (MONQUERO; CHRISTOFFOLETI, 2003; MONQUERO et al., 2004).

Considerando-se a importância do glyphosate para a agricultura mundial, estudos têm sido conduzidos com o objetivo de avaliar a contribuição de diferentes variáveis em sua eficácia, podendo-se destacar: dose (JORDAN et al., 1997), volume de calda (O'SULLIVAN;

O'DONOVAN; HAMMAN, 1981; RAMSDALE; MESSERSMITH; NALEWAJA, 2003), qualidade da água utilizada como veículo de pulverização (THELEN; JACKSON, PENNER, 1995; RAMOS; DURIGAN, 1998; GAUVRIT, 2003), estágio fenológico das plantas daninhas (DURIGAN, 1992; JORDAN et al., 1997) e atividade de adjuvantes (O'SULLIVAN; O'DONOVAN, HAMMAN, 1981; PRATT; KELLS; PENNER, 2003; NURSE et al., 2008).

A inclusão de fontes nitrogenadas como adjuvantes à calda do herbicida tem sido relacionada à redução de doses, ao antagonismo de cátions em água dura e à melhor absorção e conseqüente translocação da molécula do glyphosate (TURNER, 1985; COSTA; APPLEBY, 1986; SALISBURY; CHANDLER; MERKLE, 1991; NALEWAJA; MATYSIAK, 1993; SALAS-PINO, 1996; MASCHHOFF; HART; BALDWIN, 2000; PRATT; KELLS; PENNER, 2003; YOUNG et al., 2003; MUELLER et al., 2006); porém, poucos estudos foram desenvolvidos para a realidade brasileira, em que a composição específica da comunidade infestante é diferenciada, o que pode ter reflexos importantes nos resultados obtidos em campo.

Assim sendo, este trabalho foi desenvolvido com o objetivo de avaliar a eficácia agrônômica do herbicida glyphosate na dessecação de plantas daninhas, com destaque para a trapoeraba, quando combinado na calda de pulverização a diferentes concentrações das fertilizantes nitrogenados sulfato de amônio ou uréia.

3.2 Material e Métodos

Três experimentos foram desenvolvidos no município de Piracicaba – SP – Brasil (22° 42' 30" Latitude Sul, 47° 38' 00" Longitude Oeste e 546 m de altitude), no período compreendido entre Abril e Julho de 2008, sendo dois em campo e um em casa-de-vegetação. O primeiro experimento em campo foi instalado em área do Departamento de Produção Vegetal da Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz (Esalq/USP). O solo foi classificado como Nitossolo Vermelho eutrófico (EMBRAPA, 2006) de textura argilosa, pH 5,4, com 2,5% de matéria orgânica e 69% de saturação por bases. Constatou-se intensa infestação por plantas daninhas na área (média de 40 plantas m⁻²), com destaque para o apaga-fogo (*Alternanthera tenella* Colla), em pleno florescimento, que foi caracterizado como a espécie dominante na comunidade de plantas daninhas (85% de infestação).

O segundo experimento em campo foi instalado em área pertencente à Fazenda Areão, da Esalq/USP, também localizada em Piracicaba – SP. O solo foi classificado como Argissolo eutroférico (EMBRAPA, 2006) de textura argilosa, pH 5,2, com 2,8% de matéria orgânica e 60% de saturação por bases. A densidade total de plantas daninhas foi estimada em 120 plantas m⁻², composta por aproximadamente 30% de guanxuma (*Sida* spp.), em pré-florescimento; 15% de capim-amargoso (*Digitaria insularis* (L.) Fedde) em florescimento; 20% de capim-rabo-de-raposa (*Setaria geniculata* P. Beauv.) em florescimento; 20% de capim-carrapicho (*Cenchrus echinatus* L.) em florescimento e 15% de outras espécies com distribuição heterogênea.

O terceiro experimento foi realizado em casa-de-vegetação, no Departamento de Produção Vegetal da Esalq/USP. As parcelas constaram de vasos plásticos com capacidade para 0,5 L, preenchidos com mistura de substrato comercial (Plantimax Citros) e vermiculita, na proporção de 2:1, e fertilizados com 2 g do adubo comercial 10:10:10, fornecendo 200 mg de N, P₂O₅ e K₂O por parcela. Em cada vaso, cultivou-se uma planta de trapoeraba (*Commelina benghalensis* L.) que, no momento da aplicação do herbicida, continha 5-6 folhas no ramo principal, 4-5 ramos laterais basais e média de 0,15 m de altura.

Em campo, cada parcela contou com as dimensões de 2,5 x 4,0 m e área útil de 8,0 m². Para todos os experimentos, o delineamento experimental foi o de blocos ao acaso, com onze tratamentos. Adotaram-se três repetições para as conduções em campo e cinco para o experimento em casa-de-vegetação. Os tratamentos aplicados em campo foram: glyphosate (Sal de isopropilamina – Roundup Original[®] - 360 g e.a. ha⁻¹), isolado ou acrescido de quatro concentrações das fontes nitrogenadas na calda de pulverização, sendo estas: sulfato de amônio (2,5; 5,0; 10,0 e 20,0 g L⁻¹) ou uréia (1,5; 3,0; 6,0 e 12,0 g L⁻¹); glyphosate a 720 g e.a. ha⁻¹, aplicado isoladamente; e testemunha sem aplicação de herbicidas.

Em casa-de-vegetação, visando o controle específico da trapoeraba, as doses de glyphosate foram maiores que aquelas utilizadas no experimento de campo, ou seja, adotaram-se 720 g e.a. ha⁻¹ (isolado ou em associação com as mesmas concentrações de sulfato de amônio e uréia, conforme descrito no experimento de campo) e isolado na dose de 1.440 g e.a. ha⁻¹ (Tabela 3.1). As doses de glyphosate foram baseadas nas recomendações usuais para espécies de plantas daninhas (RODRIGUES; ALMEIDA, 2005). Os fertilizantes nitrogenados utilizados foram provenientes de fontes convencionalmente utilizadas nas adubações agrícolas, com concentrações de 21 e 45% de nitrogênio no sulfato de amônio e uréia, respectivamente.

Tabela 3.1 – Tratamentos adotados nos experimentos desenvolvidos em campo e casa-de-vegetação. Piracicaba – SP, 2008

Nº	Condição	Herbicida		Tipo	Fertilizante Nitrogenado	
		Dose (g e.a. ha ⁻¹)			Dose ²	
		Campo	Casa-de-Vegetação		(g L ⁻¹)	(kg ha ⁻¹)
1		Testemunha sem aplicação		Ausente	0,0	0,0
2	Glyphosate ¹	360	720	Ausente	0,0	0,0
3	Glyphosate	360	720	Sulfato de Amônio	2,5	0,5
4	Glyphosate	360	720	Sulfato de Amônio	5,0	1,0
5	Glyphosate	360	720	Sulfato de Amônio	10,0	2,0
6	Glyphosate	360	720	Sulfato de Amônio	20,0	4,0
7	Glyphosate	360	720	Uréia	1,5	0,3
8	Glyphosate	360	720	Uréia	3,0	0,6
9	Glyphosate	360	720	Uréia	6,0	1,2
10	Glyphosate	360	720	Uréia	12,0	2,4
11	Glyphosate	720	1440	Ausente	0,0	0,0

¹Roundup Original, 360 g e.a. L⁻¹; ² Volume de calda correspondente a 200 L ha⁻¹.

A aplicação de herbicidas, em campo, no primeiro experimento, foi realizada dia 11 de abril de 2008, das 11:20 às 11:45 h. No momento das aplicações, os parâmetros meteorológicos médios foram: umidade relativa (UR) de 85%; temperatura (T) de 26,9°C; céu com ausência de nuvens e ventos de 1,5 km h⁻¹. A primeira chuva foi registrada após 12h da aplicação, com cerca de 0,5 mm de precipitação. A aplicação de herbicidas, no segundo experimento em campo, também foi realizada dia 11 de abril de 2008, das 15:50 às 16:20 h. No momento das aplicações, os parâmetros meteorológicos médios foram: UR de 63,5%; T de 30,4°C; céu encoberto, com 25% de nuvens, e ventos de 4,5 km h⁻¹. A primeira chuva foi registrada após 7,5 h da aplicação, com os mesmos 0,5 mm. As precipitações e a temperatura média diária do período em que o experimento esteve no campo estão apresentadas na Figura 3.1.

Para as aplicações em campo, utilizou-se pulverizador costal pressurizado por CO₂, acoplado a uma barra de pulverização com largura total de 2 m, com quatro pontas do tipo jato plano, modelo XR 110.02, espaçadas em 0,50 m, calibrado para volume de calda proporcional a 200 L ha⁻¹. Em casa-de-vegetação, realizou-se a aplicação em 10 de junho de 2008, em câmara de pulverização pressurizada por ar comprimido, equipada com uma única ponta do tipo jato plano, 80.02, também calibrada para volume de calda de 200 L ha⁻¹. A água utilizada nas aplicações passou por tratamento comum para distribuição pública, realizado na própria Esalq/USP, cuja análise está apresentada na Tabela 3.2.

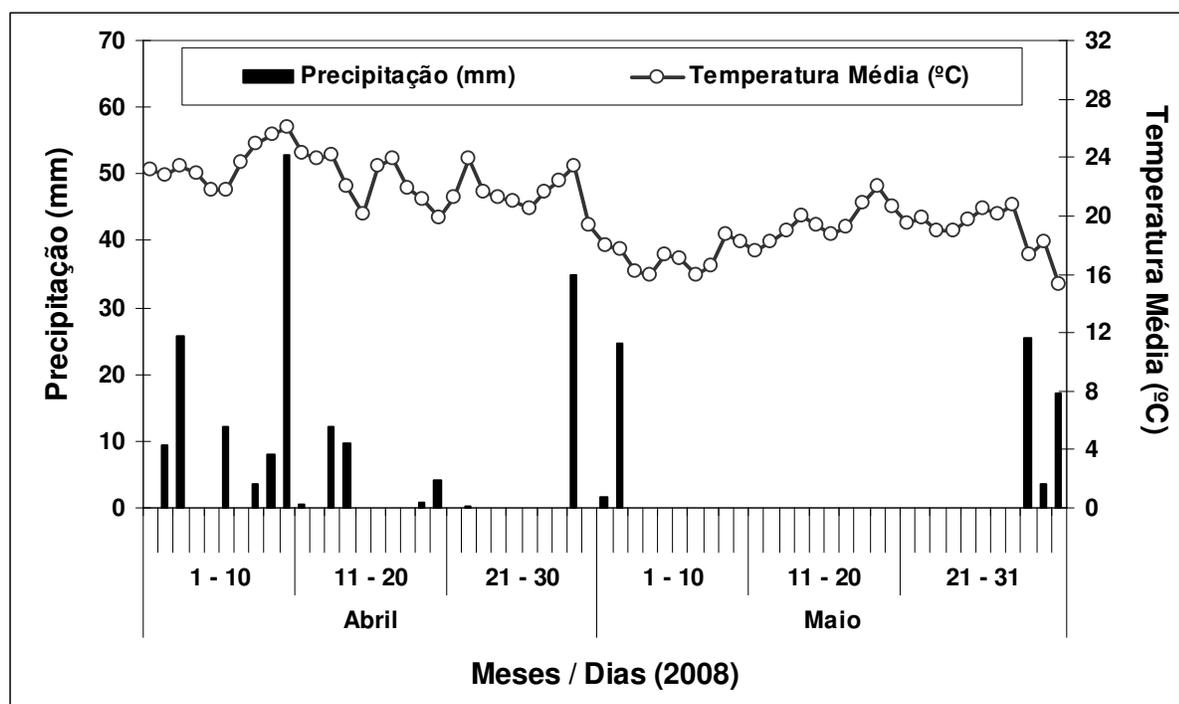


Figura 3.1 – Temperatura média (°C) e precipitações (mm) diárias observadas durante o período de desenvolvimento dos experimentos em campo. Piracicaba – SP, 2008

Tabela 3.2 – Análise da água utilizada nas aplicações, submetida a tratamento usual para distribuição pública, realizado na Esalq/USP. Piracicaba – SP, 2008

Parâmetro	Unidade	Resultado	Parâmetro	Unidade	Resultado
Cloreto (Cl ⁻)	mg L ⁻¹	26,0	Zinco (Zn)	mg L ⁻¹	0,09
Nitrato (N-NO ₃ ⁻)	mg L ⁻¹	11,5	Alcalinidade (2CO ₃ ²⁻ + HCO ₃ ⁻)	mg L ⁻¹	40,2
Sulfato (SO ₄ ²⁻)	mg L ⁻¹	68,3	Nitrogênio Amoniacal (N – NH ₃)	mg L ⁻¹	0,2
Fósforo (P)	mg L ⁻¹	0,01	Cor Aparente	PtCo	0
Sódio (Na ⁺)	mg L ⁻¹	36,5	Turbidez	FTU	0
Potássio (K ⁺)	mg L ⁻¹	4,8	Sedimentos em suspensão	mg L ⁻¹	1,0
Cálcio (Ca ²⁺)	mg L ⁻¹	38,8	Condutividade elétrica (CE)	mS cm ⁻¹	0,26
Magnésio (Mg ²⁺)	mg L ⁻¹	2,7	pH	--	8,2
Ferro (Fe)	mg L ⁻¹	0,02	Gás Carbônico (CO ₂)	mg L ⁻¹	0,4
Cobre (Cu)	mg L ⁻¹	0	Acidez (CaCO ₃)	mg L ⁻¹	1,0
Manganês (Mn)	mg L ⁻¹	0,02	Dureza Total* (CaCO ₃)	mg L ⁻¹	107,8

Análises realizadas pelo Laboratório de Ecologia Aplicada, Departamento de Ciências Florestais, Esalq/USP.
 *Dureza Total calculada com base no equivalente de Carbonato de Cálcio (CaCO₃) segundo Franson (1995): 2,497 [Ca, mg L⁻¹] + 4,118 [Mg, mg L⁻¹].

As variáveis avaliadas foram: controle percentual das plantas daninhas aos 14, 21 e 28 dias após a aplicação (DAA) e massa seca residual aos 28 DAA. Para as avaliações de controle, utilizou-se escala visual que variou entre 0 e 100%, em que zero representou a ausência de sintomas e 100 a morte de todas as plantas. Para massa seca, em campo, um quadro de madeira de 0,5 x 0,5 m foi lançado uma vez em área representativa de cada parcela. Todo o material vegetal presente na área do quadrado foi cortado rente à superfície do solo e secado em estufa (70 °C) por 72 horas. Em casa-de-vegetação, cortaram-se as plantas de trapoeraba rente à superfície do substrato e também se procedeu à secagem em estufa.

Os dados obtidos em campo foram submetidos à análise por grupo de experimentos, com aplicação do teste F na análise da variância. Separadamente, analisaram-se os dados obtidos em casa-de-vegetação, também por meio da aplicação do teste F. Na ocorrência de efeitos significativos, aplicou-se teste de Scott-Knott para agrupamentos das médias dos tratamentos (SCOTT; KNOTT, 1974). Todas as análises estatísticas foram desenvolvidas com 5% de significância.

3.3 Resultados e Discussão

Para os experimentos desenvolvidos em campo, não foi identificado efeito das diferentes conduções (Tabela 3.3, $F_{(Exp)}$) para quaisquer das avaliações realizadas, de forma que os dados apresentados são as médias dos dois experimentos analisadas em conjunto. Segundo a legislação brasileira, o controle mínimo necessário para que a eficácia de um herbicida seja considerada satisfatória é da ordem de 80%. Assim sendo, aos 14 DAA, observou-se que a aplicação de 360 g ha⁻¹ de glyphosate não foi eficaz no controle das plantas daninhas, quando o herbicida foi aplicado de forma isolada ou com adição de uréia (Tabela 3.3). É importante registrar que no instante das aplicações, aparentemente não havia sedimentos ou excessiva quantidade de poeira sobre as folhas das plantas daninhas, em razão da ocorrência de chuva na véspera; não ocorreu chuva nas primeiras seis horas após aplicação; e que as condições meteorológicas foram adequadas para garantir a eficácia do herbicida (Figura 3.1).

Por sua vez, a aplicação de glyphosate a 720 g ha⁻¹ garantiu adequados níveis de controle, superiores a 90%, aos 14 DAA. A adição de 2,5 ou 10 g L⁻¹ de sulfato de amônio à calda, na

menor dose de glyphosate, proporcionou controles semelhantes ao da maior dose, evidência de efeito inicial positivo da combinação, nessas dosagens (Tabela 3.3). Os incrementos de controle obtidos pela adição de sulfato de amônio à calda mantiveram-se evidentes nas avaliações conduzidas aos 21 e 28 DAA. Nessas datas, a adição de 2,5; 5,0 e 10 g L⁻¹ de sulfato de amônio à calda continuaram a proporcionar níveis de controle iguais à dose de 720 g ha⁻¹ do produto isolado (Tabela 3.3).

Quanto às caldas provenientes de água dura (altos teores de cálcio e magnésio), a maior eficácia do glyphosate na presença do sulfato de amônio tem sido explicada pela ligação do Ca²⁺ com o ânion sulfato, que forma precipitados de CaSO₄. Com a remoção do cálcio, o íon NH₄⁺ pode se ligar ao glyphosate e gerar um sal que atravessa mais facilmente a cutícula (THELEN; JACKSON; PENNER, 1995). Porém, neste trabalho, supõe-se que os incrementos provenientes da adição de fontes nitrogenadas à calda estejam relacionados com outras vias de resposta que não a redução da atividade de cátions antagonicos, pois a água utilizada não continha teores elevados de cálcio, magnésio, ferro ou dureza total (Tabela 3.2).

Tabela 3.3 – Controle percentual e massa seca média das plantas daninhas para os experimentos desenvolvidos em campo, após aplicação de 11 tratamentos herbicidas com adição de diferentes doses das fontes nitrogenadas (FN), avaliados aos 14, 21 e 28 dias após aplicação (DAA)¹. Piracicaba – SP, 2008

Tratamentos	Controle Percentual (DAA)*			Massa Seca (g m ⁻²)
	14	21	28	
Testemunha sem aplicação	0,0 C	0,0 C	0,0 C	584,2 B
Glyphosate 360 g ha ⁻¹	72,0 B	82,7 B	87,5 B	239,9 A
Glyphosate 360 g ha ⁻¹ + SA ² 2,5 g L ⁻¹	81,7 A	90,8 A	93,5 A	191,8 A
Glyphosate 360 g ha ⁻¹ + SA 5,0 g L ⁻¹	77,5 B	89,8 A	93,3 A	200,5 A
Glyphosate 360 g ha ⁻¹ + SA 10,0 g L ⁻¹	84,0 A	91,2 A	94,3 A	223,3 A
Glyphosate 360 g ha ⁻¹ + SA 20,0 g L ⁻¹	76,7 B	84,8 B	89,3 B	196,1 A
Glyphosate 360 g ha ⁻¹ + Uréia 1,5 g L ⁻¹	75,8 B	86,3 B	91,2 B	173,1 A
Glyphosate 360 g ha ⁻¹ + Uréia 3,0 g L ⁻¹	75,7 B	85,3 B	88,3 B	209,1 A
Glyphosate 360 g ha ⁻¹ + Uréia 6,0 g L ⁻¹	73,7 B	85,7 B	88,8 B	207,8 A
Glyphosate 360 g ha ⁻¹ + Uréia 12,0 g L ⁻¹	75,5 B	85,2 B	89,0 B	208,9 A
Glyphosate 720 g ha ⁻¹	90,8 A	94,5 A	96,3 A	151,8 A
F _(entre experimentos)	3,407 ^{NS}	0,446 ^{NS}	0,239 ^{NS}	1,577 ^{NS}
F _(tratamentos)	56,819**	136,596**	180,869**	38,342**
F _(interação tratamentos x experimentos)	0,952 ^{NS}	0,808 ^{NS}	0,221 ^{NS}	1,006 ^{NS}
CV (%)	11,05	6,94	6,07	19,87

¹ Médias seguidas por letras iguais, nas colunas, não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott, a 5% de probabilidade. ²SA: sulfato de amônio; ** Significativo a 1% de probabilidade pelo teste F.

Trabalhando com água de boa qualidade, Nurse et al. (2008) observaram que a adição de sulfato de amônio (20 g L^{-1}) à calda de glyphosate proporcionou melhor controle de algumas espécies de plantas daninhas, porém somente para doses do herbicida inferiores às recomendadas. Neste sentido, Young et al. (2003) comentam que a acidificação da calda, provocada pelo sulfato de amônio, permitiria que mais moléculas de glyphosate permanecessem sob a forma menos dissociada, que atravessa a membrana plasmática com maior facilidade. No simplasto, devido ao pH mais alcalino que o do meio inter-celular, as moléculas de glyphosate passariam novamente para a forma menos dissociada, que impediria seu retorno para o meio extra-celular facilitando assim sua atuação como herbicidas.

Outra teoria, que também pode explicar os incrementos de controle observados com a adição de sulfato de amônio à calda com glyphosate, sugere alteração na morfologia das gotas, em razão dessa adição, que atrasa ou impede a cristalização do glyphosate na superfície foliar. Desta forma, tem-se acréscimo no tempo disponível para a penetração do herbicida, o que eleva a possibilidade de difusão através da cutícula (MacISAAC; PAUL; DEVINE, 1991).

A adição de 20 g L^{-1} de sulfato de amônio ($4,0 \text{ kg ha}^{-1}$) à calda não resultou em incrementos de controle, em nenhuma das avaliações, porém, tampouco reduziu o controle (Tabela 3.3). Esse resultado pode indicar o início de efeito antagônico resultante da adição excessiva do fertilizante. Salisbury; Chandler e Merkle (1991) também estudaram a adição de sulfato de amônio à calda de pulverização, para incremento no controle de capim-massambará, com o herbicida glyphosate. Constataram que a adição de sulfato de amônio ($3,33 \text{ kg ha}^{-1}$) à calda de 420 g ha^{-1} de glyphosate proporcionou controle comparável à dose de 840 g ha^{-1} e que efeitos antagônicos só foram observados com doses de sulfato de amônio superiores a $9,7 \text{ kg ha}^{-1}$. Ao comparar doses de sulfato de amônio, Donald (1988) também concluiu que concentrações de $56,0$ e 110 g L^{-1} não foram mais benéficas que 28 g L^{-1} para o controle de *Hordeum jubatum*.

Um fator preponderante para a escolha da concentração de sulfato de amônio a ser adicionada à calda de pulverização é a concentração de cátions na água, ou mesmo sua dureza total. Considera-se que a água utilizada variou significativamente entre os experimentos relatados na literatura, o que valida os diferentes resultados obtidos, inclusive para concentrações mais elevadas do fertilizante. Neste sentido, trabalhando com água dura, Nalewaja e Matysiak (1993) propuseram a seguinte equação para escolha da dose de sulfato de amônio (SA):

$$SA_{(g/100L)} = 0,6.[Na^+_{(ppm)}] + 0,2.[K^+_{(ppm)}] + 1,0.[Ca^{2+}_{(ppm)}] + 1,7.[Mg^{2+}_{(ppm)}]$$

Em trabalhos publicados no exterior, a adição de 20 g L^{-1} de sulfato de amônio à calda de herbicidas é uma prática corriqueira para análise da atividade deste fertilizante nitrogenado como adjuvante de calda, garantindo outros efeitos fisiológicos positivos, além da atividade do sulfato como antagonista de cátions. Maschhoff; Hart e Baldwin (2000) e Young et al. (2003), por exemplo, observaram que esta concentração de sulfato de amônio proporcionou maior absorção e, conseqüentemente, maior translocação de glyphosate e glufosinate por *Abutilon theophrasti*. Ainda, Costa e Appleby (1986), Pratt; Kells e Penner (2003) e Mueller et al. (2006) observaram melhor controle, de diferentes espécies de plantas daninhas, quando adicionaram 20 g L^{-1} de sulfato de amônio à calda herbicida. Jordan et al. (1997) observaram incremento no controle de *Sida spinosa* e *Ipomoea hederacea* var. *Intergriuscula* com a adição de sulfato de amônio ($17,5 - 20,0 \text{ g L}^{-1}$) à calda do herbicida glyphosate.

As diferenças observadas nas avaliações de controle com adição de sulfato de amônio não foram observadas na análise da massa seca (Tabela 3.3), o que indica ser essa variável menos sensível a pequenas oscilações. Para maior sensibilidade na análise de massa, pode-se optar por maior número de repetições, maior número de amostragens por parcela ou instalação de experimentos em áreas semeadas com quantidades exatas de propágulos da espécie de interesse.

Nos experimentos em campo, não foram observados incrementos de controle resultantes da adição de uréia à calda do herbicida glyphosate (Tabela 3.3). Ao estudar o efeito da adição de adjuvantes à calda do glyphosate, para controle de capim-colonião (*Panicum maximum*), Durigan (1992) constatou que a adição de uréia (2 g L^{-1}) proporcionou redução da dose de glyphosate em 360 g ha^{-1} . Suwunnamek e Parker (1975) observaram que a adição de uréia, fosfato-butil-amônio e fosfato de amônio também elevaram o controle de tiririca (*Cyperus rotundus*) pelo glyphosate, porém não apresentaram vantagens em relação à adição de sulfato de amônio.

No que se refere ao controle da trapoeraba, nenhum tratamento com o herbicida glyphosate foi eficaz no manejo dessa espécie em condição de casa-de-vegetação, em quaisquer das avaliações realizadas (Tabela 3.4). Aos 14 DAA, o maior nível de controle foi obtido com aplicação de glyphosate a 1.440 g ha^{-1} , porém limitou-se a apenas 50% de controle. Adicionalmente, todos os tratamentos com a menor dose do herbicida diferenciaram-se da maior dose, sem evidência do efeito da adição das fontes nitrogenadas à calda (Tabela 3.4). Esses resultados estão em concordância com o trabalho de Culpepper et al. (2004), que também não observaram controle adequado da trapoeraba com aplicações isoladas de glyphosate, que

necessitou de complementação com herbicidas com outro mecanismo de ação. Timossi; Durigan e Leite (2006) observaram que a aplicação de 1.440 g ha⁻¹ de glyphosate foi eficaz para manejo da comunidade infestante, porém as plantas de trapoeraba mostraram-se tolerantes ao glyphosate em doses de até 2.880 g ha⁻¹.

Ao estudar a absorção, translocação e metabolismo do glyphosate em plantas daninhas, Monquero et al. (2004) encontraram o metabólito ácido aminometilfosfônico (AMPA) em plantas de trapoeraba, evidência de que a espécie é capaz de converter a molécula de glyphosate a compostos menos tóxicos. Concluíram que a absorção diferencial e o metabolismo do glyphosate são os mecanismos envolvidos na maior tolerância da espécie ao herbicida. Neste sentido, Pline; Wu e Hatzios (1999) observaram que a adição de sulfato de amônio à calda de herbicidas não alterou as taxas de metabolismo do glufosinato de amônio nas plantas. Portanto, sugere-se que a adição de sulfato de amônio à calda do glyphosate pode ser uma técnica eficiente de incremento de controle, porém aplicável para plantas que não tenham rotas de detoxificação deste herbicida.

Tabela 3.4 – Controle percentual e massa seca da trapoeraba (*Commelina benghalensis*) após aplicação de 11 tratamentos herbicidas com adição de diferentes doses das fontes nitrogenadas (FN), avaliados aos 14, 21 e 28 dias após aplicação (DAA)¹. Piracicaba – SP, 2008

Tratamentos	Controle Percentual (DAA)*			Massa Seca (g parcela ⁻¹)
	14	21	28	
Testemunha sem aplicação	0,0 C	0,0 B	0,0 C	7,3 B
Glyphosate 720 g ha ⁻¹	30,0 B	47,6 A	44,0 B	4,6 A
Glyphosate 720 g ha ⁻¹ + SA ² 2,5 g L ⁻¹	29,0 B	44,8 A	46,0 B	4,1 A
Glyphosate 720 g ha ⁻¹ + SA 5,0 g L ⁻¹	28,6 B	46,0 A	43,0 B	4,1 A
Glyphosate 720 g ha ⁻¹ + SA 10,0 g L ⁻¹	32,2 B	48,0 A	51,0 B	3,6 A
Glyphosate 720 g ha ⁻¹ + SA 20,0 g L ⁻¹	29,0 B	48,2 A	47,4 B	4,0 A
Glyphosate 720 g ha ⁻¹ + Uréia 1,5 g L ⁻¹	29,6 B	48,4 A	54,0 A	3,6 A
Glyphosate 720 g ha ⁻¹ + Uréia 3,0 g L ⁻¹	30,2 B	46,4 A	44,0 B	3,6 A
Glyphosate 720 g ha ⁻¹ + Uréia 6,0 g L ⁻¹	37,6 B	52,6 A	58,0 A	3,1 A
Glyphosate 720 g ha ⁻¹ + Uréia 12,0 g L ⁻¹	32,0 B	48,8 A	47,0 B	3,8 A
Glyphosate 1440 g ha ⁻¹	50,4 A	59,0 A	61,4 A	2,8 A
F _(tratamentos)	6,794**	14,910**	12,736**	9,493**
CV (%)	33,82	19,86	22,40	21,97

¹ Médias seguidas por letras iguais, nas colunas, não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott, a 5% de probabilidade. ²SA: sulfato de amônio; **Significativo a 1% de probabilidade pelo teste F.

Aos 21 DAA, novamente, o maior controle obtido com aplicação de glyphosate sobre a trapoeraba não foi considerado satisfatório e, nesse caso, não foram observadas diferenças para quaisquer dos tratamentos herbicidas. Vale ressaltar que, no momento da aplicação, as plantas de trapoeraba estavam em estágio avançado de desenvolvimento vegetativo, o que pode ter contribuído para os menores controles averiguados, sem atividade das fontes nitrogenadas. Em contrapartida, aos 28 DAA, a adição de 1,5 e 6,0 g L⁻¹ de uréia à calda, na menor dose do glyphosate, resultou em igualdade à aplicação isolada da maior dose do produto (Tabela 3.4).

Com relação à uréia, Malavolta (1980) e Durigan (1992) comentam tratar-se de uma substância que atravessa com relativa facilidade a cutícula das folhas. Mesmo sem receber energia metabólica, passa do apoplasto para o simplasto foliar por difusão facilitada, resultante do acúmulo de energia cinética devido ao entrelcho das moléculas. A uréia também pode romper algumas ligações éster, éter e di-éter da cutina, o que contribui para maior absorção de outros elementos presentes na calda, por consequência do aumento dos espaços de entrada. Provavelmente esta foi a causa dos pequenos incrementos de controle observados nas avaliações de controle do glyphosate em trapoeraba, aos 28 DAA (Tabela 3.4).

A variável massa seca da trapoeraba não apresentou diferenças entre os tratamentos herbicidas, com valores superiores apenas para a testemunha, sem aplicação (Tabela 3.4). Esta constatação está em concordância com as avaliações em campo, em que o efeito da adição de fontes nitrogenadas à calda do herbicida glyphosate não resultou em diferenças de massa. É provável que isso seja consequência da maior variabilidade intrínseca a estes dados.

3.4 Conclusões

A adição de sulfato de amônio à calda do glyphosate elevou o controle das plantas daninhas em campo, para as concentrações com até 10 g L⁻¹. O herbicida glyphosate não foi eficaz no controle da trapoeraba, em nenhuma das doses usadas. A adição de uréia não promoveu incrementos de controle em condição de campo; porém, na avaliação conduzida aos 28 dias após aplicação, para concentrações de até 6 g L⁻¹, melhorou o controle da trapoeraba em casa-de-vegetação, sem consistência entre as avaliações.

Referências

- CHRISTOFFOLETI, P.J.; GALLI, A.J.B.; CARVALHO, S.J.P.; MOREIRA, M.S.; NICOLAI, M.; FOLONI, L.L.; MARTINS, B.A.B.; RIBEIRO, D.N. Glyphosate sustainability in South American cropping systems. **Pest Management Science**, London, v.64, n.4, p.422–427, 2008.
- CHRISTOFFOLETI, P.J.; CARVALHO, S.J.P.; LÓPEZ-OVEJERO, R.F.; NICOLAI, M.; HIDALGO, E.; SILVA, J.E. Conservation of natural resources in Brazilian agriculture: implications on weed biology and management. **Crop Protection**, Guildford, v.26, n.3, p.383-389, 2007.
- COLE, D.J. Mode of action of glyphosate – a literature analysis. In: GROSSBARD, E.; ATKINSON, D.A. (Ed.). **The herbicide glyphosate**. London: Butterworths, 1985. p.48-74.
- COSTA, J.; APPLEBY, A.P. Effects of ammonium sulphate on leaf growth inhibition by glyphosate in *Cyperus esculentus* L. **Crop Protection**, Guildford, v.5, n.5, p.314-318, 1986.
- CULPEPPER, A.S.; FLANDERS, J.T.; YORK, A.C.; WEBSTER, T.M. Tropical spiderwort (*Commelina benghalensis*) control in glyphosate-resistant cotton. **Weed Technology**, Lawrence, v.18, n.2, p.432-436, 2004.
- DONALD, W.W. Established foxtail barley, *Hordeum jubatum*, control with glyphosate plus ammonium sulfate. **Weed Technology**, Champaign, v.2, n.3, p.364-368, 1988.
- DURIGAN, J.C. Efeito de adjuvantes na calda e no estágio de desenvolvimento das plantas, no controle do capim-colonião (*Panicum maximum*) com glyphosate. **Planta Daninha**, Brasília, v.10, n.1/2, p.39-44, 1992.
- EMBRAPA - EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 2.ed. Rio de Janeiro: EMBRAPA, 2006. 306p.
- FRANSON, M.A.H. **Standard methods for the examination of water and wastewater**. 19th. ed. Washington: American Public Health Association, 1995. 1074p.
- GAUVRIT, C. Glyphosate response to calcium, ethoxylated amine surfactant, and ammonium sulfate. **Weed Technology**, Lawrence, v.17, n.4, p.799-804, 2003.
- JORDAN, D.L.; YORK, A.C.; GRIFFIN, J.L.; CLAY, P.A.; VIDRINE, P.R.; REYNOLDS, D.B. Influence of application variables on efficacy of glyphosate. **Weed Technology**, Lawrence, v.11, n.2, p.354-362, 1997.
- MacISAAC, S.A.; PAUL, R.N.; DEVINE, M.D. A scanning electron microscope study of glyphosate deposits in relation to foliar uptake. **Pesticide Science**, London, v.31, n.1, p.53-64, 1991.

MALAVOLTA, E. **Elementos da nutrição mineral de plantas**. São Paulo: Agronômica Ceres, 1980. 252p.

MASCHHOFF, J.R.; HART, S.E.; BALDWIN, J.L. Effect of ammonium sulfate on the efficacy, absorption, and translocation of glufosinate. **Weed Science**, Lawrence, v.48, n.1, p.2-6, 2000.

MONQUERO, P.A.; CHRISTOFFOLETI, P.J.; OSUNA, M.D.; DE PRADO, R.A. Absorção, translocação e metabolismo do glyphosate por plantas tolerantes e suscetíveis a este herbicida. **Planta Daninha**, Viçosa – MG, v.22, n.3, p.445-451, 2004.

MONQUERO, P.A.; CHRISTOFFOLETI, P.J. Dinâmica do banco de sementes em áreas com aplicação freqüente do herbicida glyphosate. **Planta Daninha**, Viçosa – MG, v.21, n.1, p.63-69, 2003.

MUELLER, T.C.; MAIN, C.L.; THOMPSON, M.A.; STECKEL, L.E. Comparison of glyphosate salts (isopropylamine, diammonium and potassium) and calcium and magnesium concentrations on the control of various weeds. **Weed Technology**, Lawrence, v.20, n.1, p.164-171, 2006.

NALEWAJA, J.D.; MATYSIAK, R. Optimizing adjuvants to overcome glyphosate antagonistic salts. **Weed Technology**, Champaign, v.7, n.2, p.337-342, 1993.

NURSE, R.E.; HAMILL, A.S.; KELLS, J.J.; SIKKEMA, P.H. Annual weed control may be improved when AMS is added to below-label glyphosate doses in glyphosate-tolerant maize (*Zea mays* L.). **Crop Protection**, Guildford, v.27, n.3-5, p.452-458, 2008.

O’SULLIVAN, P.A.; O’DONOVAN, J.T.; HAMMAN, W.M. Influence of non-ionic surfactants, ammonium sulphate, water quality and spray volume on the phytotoxicity of glyphosate. **Canadian Journal of Plant Science**, Ottawa, v.61, n.2, p.391-400, 1981.

PLINE, W.A.; WU, J.; HATZIOS, K.K. Absorption, translocation, and metabolism of glufosinate in five weed species as influenced by ammonium sulfate and pelargonic acid. **Weed Science**, Lawrence, v.47, n.6, p.636-643, 1999.

PRATT, D.; KELLS, J.J.; PENNER, D. Substitutes for ammonium sulfate as additives with glyphosate and glufosinate. **Weed Technology**, Lawrence, v.17, n.3, p.576-581, 2003.

RAMOS, H.H.; DURIGAN, J.C. Efeitos da qualidade da água de pulverização sobre a eficácia de herbicidas aplicados em pós-emergência. **Bragantia**, Campinas, v.57, n.2, p.313-324, 1998.

RAMSDALE, B.K.; MESSERSMITH, C.G.; NALEWAJA, J.D. Spray volume, formulation, ammonium sulfate, and nozzle effects on glyphosate efficacy. **Weed Technology**, Lawrence, v.17, n.3, p.589-598, 2003.

RODRIGUES, B.N.; ALMEIDA, F.S. **Guia de herbicidas**. 5.ed. Londrina, 2005. 592p.

SALAS-PINO, P.A.G. **Efeito de adjuvantes, volume de calda e qualidade da água na eficácia do herbicida glyphosate.** 1996. 79p. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1996.

SALISBURY, C.D.; CHANDLER, J.M.; MERKLE, M.G. Ammonium sulfate enhancement of glyphosate and SC-0224 control of johnsongrass (*Sorghum halepense*). **Weed Technology**, Champaign, v.5, n.1, p.18-21, 1991.

SCOTT, A.J.; KNOTT, M.A. Cluster analysis method for grouping means in the analysis of variance. **Biometrics**, Washington, v.30, n.2, p.507-512, 1974.

SUWUNNAMEK, U.; PARKER, C. Control of *Cyperus rotundus* with glyphosate: the influence of ammonium sulfate and other additives. **Weed Research**, Oxford – UK, v.15, n.1, p.13-20, 1975.

THELEN, K.D.; JACKSON, E.P.; PENNER, D. The basis for the hard-water antagonism of glyphosate activity. **Weed Science**, Champaign, v.43, n.4, p.541-548, 1995.

TIMOSSI, P.C.; DURIGAN, J.C.; LEITE, G.J. Eficácia de glyphosate em plantas de cobertura. **Planta Daninha**, Viçosa – MG, v.24, n.3, p.475-480, 2006.

TRIGO, E.J.; CAP, E.J. The impact of the introduction of transgenic crops in Argentinian agriculture. **AgBio Forum**, Columbia, v.6, n.3, p.87-94, 2003.

TURNER, D.J. Effects on glyphosate performance of formulation, additives and mixing with other herbicides. In: GROSSBARD, E.; ATKINSON, D.A. (Ed.). **The herbicide glyphosate.** London: Butterworths, 1985. p.221-240.

YOUNG, B.G.; KNEPP, A.W.; WAX, L.M.; HART, S.E. Glyphosate translocation in common lambsquarters (*Chenopodium album*) and velvetleaf (*Abutilon theophrasti*) in response to ammonium sulfate. **Weed Science**, Lawrence, v.51, n.2, p.151-156, 2003.

4 EFICÁCIA E pH DE CALDAS DE GLYPHOSATE APÓS ADIÇÃO DE FERTILIZANTES NITROGENADOS E UTILIZAÇÃO DE PULVERIZADOR PRESSURIZADO POR CO₂

Resumo

Este trabalho foi desenvolvido com o objetivo de avaliar a eficácia no controle de plantas daninhas e a variação do pH de caldas de glyphosate após adição de fertilizantes nitrogenados à calda e uso de pulverizador costal pressurizado por CO₂. Para tanto, um experimento foi elaborado em campo e quatro em laboratório. Em campo, para todas as avaliações de controle, a adição de 15 g L⁻¹ de sulfato de amônio elevou a eficácia da menor dose de glyphosate (360 g ha⁻¹), sem diferença para a maior dose (720 g ha⁻¹) aplicada isoladamente. Somente foram observados efeitos benéficos da uréia aos 28 dias após aplicação, para a adição de 5 g L⁻¹ à menor dose do herbicida. A adição de glyphosate acidificou a calda de pulverização e, para concentrações superiores a 10 mL L⁻¹ (formulação com 360 g e.a. L⁻¹), houve estabilização do pH da solução em 4,5. O sulfato de amônio promoveu pequena acidificação da calda, enquanto a uréia não alterou o pH. A pressurização da calda com CO₂, utilizado em pulverizador costal, resultou em pequena alteração do pH da calda, porém sem importância prática. A maior eficácia do glyphosate no controle de plantas daninhas atingida após adição do sulfato de amônio possui pequena correlação com alterações no pH da calda de pulverização.

Palavras-chave: Sulfato de amônio; Uréia; Potencial hidrogeniônico; Absorção; Dessecação

Efficacy and pH of glyphosate spray solutions after the addition of nitrogen fertilizers and the use of CO₂-pressurized sprayer

Abstract

This work was developed with the objective of evaluating the weed control efficacy and pH variation of glyphosate spray solutions after the addition of nitrogen fertilizers to spray solution and the adoption of CO₂ back pack sprayer. For that, one field trial and four laboratory trials were carried out. In field conditions, for all the control evaluations, the addition of ammonium sulfate (15 g L⁻¹) increased the efficacy of the lower glyphosate rate (360 g ha⁻¹), without difference to the higher rate (720 g ha⁻¹) applied isolately. Urea benefits were observed only at 28 days after application, for the addition of 5 g L⁻¹ to the lower rate of the herbicide. Glyphosate addition acidified spray solution and, for concentrations superior to 10 mL L⁻¹ (formulation with 360 g a.e. ha⁻¹) whilst pH stabilized at 4.5. Ammonium sulfate promoted slight spray acidification, while urea did not modify pH. The spray solution pressurization with CO₂, used in back pack sprayer resulted in small alteration on spray pH, nevertheless without practical importance. Higher efficacy of glyphosate on weed control, reached after ammonium sulfate addition to spray solution, has minor correlation with changes on pH of spray solution.

Keywords: Ammonium sulfate; Urea; hydrogen potential; Absorption; Desiccation

4.1 Introdução

O glyphosate [N-(fosfonometil)glicina] é um herbicida não-seletivo, de ação sistêmica, usado para controle de plantas daninhas com ciclo anual ou perene e na dessecação de culturas de cobertura (RODRIGUES; ALMEIDA, 2005; TIMOSSI; DURIGAN; LEITE, 2006). Inibe a EPSPs (enol piruvil shiquimato fosfato sintase), enzima que participa da síntese dos aminoácidos aromáticos fenilalanina, tirosina e triptofano. Em água, tem comportamento de ácido fraco, com quatro constantes de dissociação (pKa): <2,0, 2,6, 5,6 e 10,6 (COUTINHO; MAZO, 2005).

O pKa é o valor de pH no qual 50% das moléculas de um ácido fraco estão na forma molecular e 50% na forma dissociada. Quando o pH de determinada solução excede em uma unidade o pKa do ácido fraco ($pKa \pm 1$), considera-se que 90% das moléculas estão na forma favorecida pela alteração do pH (CHRISTOFFOLETI; LÓPEZ-OVEJERO, 2005). No caso do herbicida glyphosate, por exemplo, quando o pH do meio tem valores entre 3,6 e 4,6, a forma predominante de suas moléculas possui duas cargas negativas (COUTINHO; MAZO, 2005).

Assim, o pH da solução e a presença de cátions na água de pulverização têm importância prática, pois interferem nos resultados de controle. Em geral, a adição de cátions monovalentes (NH_4^+ , K^+ e Na^+) à calda do glyphosate resulta em maior eficácia biológica, enquanto cátions bi (Ca^{2+} , Mg^{2+} e Zn^{2+}) ou trivalentes (Fe^{3+}) têm efeito negativo (WILLS; McWHORTER, 1985; THELEN; JACKSON; PENNER, 1995). Supõe-se que os cátions bi e trivalentes sejam mais prejudiciais ao glyphosate devido à formação de estruturas 2:1 (duas moléculas de glyphosate/um cátion) ou 1:1 com significativa alteração estrutural da molécula. Em ambos os casos, a absorção do glyphosate pelos tecidos fotossintetizantes da planta parece ser prejudicada (NALEWAJA; MATYSIAK, 1991; THELEN; JACKSON; PENNER, 1995; MUELLER et al., 2006).

Neste sentido, para água com altas concentrações de Ca^{2+} e Mg^{2+} (≥ 200 ppm), trabalhos científicos têm demonstrado maior eficácia do glyphosate após adição de sulfato de amônio à calda, devido à sua atividade como antagonista de cátions (DONALD, 1988; NALEWAJA; MATYSIAK, 1993; SALAS-PINO, 1996; PRATT; KELLS; PENNER, 2003; GAUVRIT, 2003; YOUNG et al., 2003). Porém, há evidências que a adição de sulfato de amônio à água de boa qualidade também melhora o desempenho deste herbicida (Capítulos 2 e 3; NURSE et al., 2008).

Na prática, a adição de fontes nitrogenadas à calda do glyphosate também tem sido relacionada com a acidificação do meio. O pH da calda interfere na atividade herbicida, na

facilidade de penetração cuticular e na solubilidade das moléculas (McCORMICK, 1990; McMULLAN, 2000; GREEN; CAHILL, 2003). Para herbicidas ácidos fracos, como é o caso do glyphosate, a redução do pH da calda resulta em maior eficácia, visto que moléculas menos ionizadas atravessam a cutícula e a membrana plasmática com maior facilidade (NALEWAJA; MATYSIAK, 1991). Adicionalmente, em experimentação agrícola, o pulverizador costal pressurizado por CO₂ também pode alterar o controle das plantas daninhas proporcionado pelo herbicida glyphosate, uma vez que a reação do gás carbônico com a água acidifica a solução, segundo a reação: $\text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O} \leftrightarrow [\text{H}_2\text{CO}_3] \leftrightarrow \text{H}^+ + \text{HCO}_3^-$ (McCORMICK, 1990).

Assim sendo, este trabalho foi desenvolvido com o objetivo de avaliar a eficácia no controle de plantas daninhas e a variação do pH de caldas de glyphosate após adição de fertilizantes nitrogenados e pressurização da calda com CO₂ em pulverizador costal.

4.2 Material e Métodos

Todo o trabalho foi desenvolvido no município de Piracicaba – SP – Brasil (22° 42' 30" Latitude Sul, 47° 38' 00" Longitude Oeste e 546 m de altitude), entre Abril e Agosto de 2008, e contemplou um experimento em campo e quatro em laboratório. Em campo, o experimento foi instalado em área pertencente à Fazenda Areão, da Esalq/USP. O solo foi classificado como ARGISSOLO Eutroférico (EMBRAPA, 2006) de textura argilosa, pH 5,2, com 2,8% de matéria orgânica e 60% de saturação por bases. A densidade total de plantas daninhas foi estimada em 120 plantas m⁻², composta por aproximadamente 30% de guanxuma (*Sida* spp.) em pré-florescimento; 15% de capim-amargoso (*Digitaria insularis* (L.) Fedde) em florescimento; 20% de capim-rabo-de-raposa (*Setaria geniculata* P. Beauv.) em florescimento; 20% de capim-carrapicho (*Cenchrus echinatus* L.) em florescimento, 10% de apaga-fogo (*Alternanthera tenella* Colla) em florescimento e 5% de outras espécies com distribuição heterogênea.

O delineamento experimental foi o de blocos ao acaso, com onze tratamentos e três repetições. As parcelas contaram com dimensões de 2,5 x 4,0 m e correspondente área útil de 8 m². Os tratamentos aplicados foram resultado da combinação de duas doses do herbicida glyphosate (360 e 720 g e.a. ha⁻¹; Roundup Original[®]; sal de isopropilamina), com duas doses de cada uma das fontes nitrogenadas: uréia (2,5 e 5,0 g L⁻¹) ou sulfato de amônio (7,5 e 15,0 g L⁻¹);

acrescidos de testemunha sem aplicação de herbicidas. As doses de glyphosate foram baseadas nas recomendações de registro usuais para espécies de plantas daninhas (RODRIGUES; ALMEIDA, 2005). Todos os tratamentos estão detalhadamente descritos na Tabela 4.1. Os fertilizantes nitrogenados utilizados foram provenientes de fontes convencionalmente utilizadas nas adubações agrícolas, com concentrações de 21 e 45% de nitrogênio no sulfato de amônio e uréia, respectivamente.

A aplicação de herbicidas em campo foi realizada dia 15 de abril de 2008, das 10:40 às 11:30 h. No momento das aplicações, os parâmetros meteorológicos médios foram: Umidade relativa de 87,3%; Temperatura de 21,4 °C; céu encoberto por nuvens e ventos de 4,1 km h⁻¹. A primeira chuva foi registrada em período superior a 48h após a aplicação. Utilizou-se pulverizador costal pressurizado por CO₂, acoplado a uma barra de pulverização com largura total de 2 m, com quatro pontas do tipo jato plano, modelo XR 110.02, espaçadas em 0,50 m, calibrado para um volume de calda proporcional a 200 L ha⁻¹. As precipitações e a temperatura média diária do período que o experimento esteve em campo estão apresentadas na Figura 4.1. A água utilizada nas aplicações procede de tratamento comum para distribuição pública, realizado na própria Esalq/USP, cuja análise está apresentada na Tabela 4.2.

Tabela 4.1 – Tratamentos experimentais aplicados em campo. Piracicaba – SP, 2008

Nº	Condição	Herbicida		Fertilizante Nitrogenado		
		Produto Comercial (mL ha ⁻¹)	Dose Equivalente Ácido (g ha ⁻¹)	Tipo	Dose ² (g L ⁻¹ de calda)	(kg ha ⁻¹)
1		Testemunha sem aplicação		Ausente	0,0	0,0
2	Glyphosate ¹	1000	360	Ausente	0,0	0,0
3	Glyphosate	1000	360	Sulfato de Amônio	7,5	1,5
4	Glyphosate	1000	360	Sulfato de Amônio	15,0	3,0
5	Glyphosate	1000	360	Uréia	2,5	0,5
6	Glyphosate	1000	360	Uréia	5,0	1,0
7	Glyphosate	2000	720	Ausente	0,0	0,0
8	Glyphosate	2000	720	Sulfato de Amônio	7,5	1,5
9	Glyphosate	2000	720	Sulfato de Amônio	15,0	3,0
10	Glyphosate	2000	720	Uréia	2,5	0,5
11	Glyphosate	2000	720	Uréia	5,0	1,0

¹Roundup Original®, 360 g e.a. L⁻¹; ²Volume de calda de 200 L ha⁻¹.

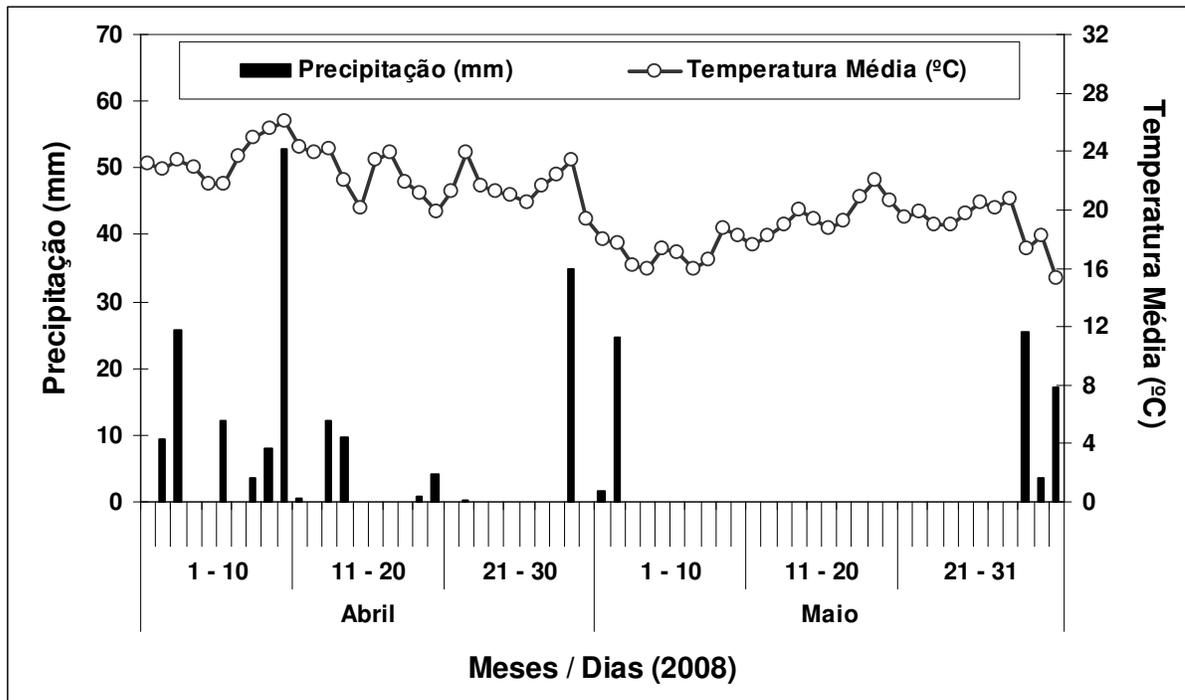


Figura 4.1 – Temperatura média (°C) e precipitações (mm) diárias observadas durante o período de desenvolvimento dos experimentos em campo. Piracicaba – SP, 2008

Tabela 4.2 – Análise da água utilizada nas aplicações, submetida a tratamento usual para distribuição pública, realizado na Esalq/USP. Piracicaba – SP, 2008

Parâmetro	Unidade	Resultado	Parâmetro	Unidade	Resultado
Cloreto (Cl ⁻)	mg L ⁻¹	26,0	Zinco (Zn)	mg L ⁻¹	0,09
Nitrato (N-NO ₃ ⁻)	mg L ⁻¹	11,5	Alcalinidade (2CO ₃ ²⁻ + HCO ₃ ⁻)	mg L ⁻¹	40,2
Sulfato (SO ₄ ²⁻)	mg L ⁻¹	68,3	Nitrogênio Amoniacal (N – NH ₃)	mg L ⁻¹	0,2
Fósforo (P)	mg L ⁻¹	0,01	Cor Aparente	PtCo	0
Sódio (Na ⁺)	mg L ⁻¹	36,5	Turbidez	FTU	0
Potássio (K ⁺)	mg L ⁻¹	4,8	Sedimentos em suspensão	mg L ⁻¹	1,0
Cálcio (Ca ²⁺)	mg L ⁻¹	38,8	Condutividade elétrica (CE)	mS cm ⁻¹	0,26
Magnésio (Mg ²⁺)	mg L ⁻¹	2,7	pH	--	8,2
Ferro (Fe)	mg L ⁻¹	0,02	Gás Carbônico (CO ₂)	mg L ⁻¹	0,4
Cobre (Cu)	mg L ⁻¹	0	Acidez (CaCO ₃)	mg L ⁻¹	1,0
Manganês (Mn)	mg L ⁻¹	0,02	Dureza Total* (CaCO ₃)	mg L ⁻¹	107,8

Análises realizadas pelo Laboratório de Ecologia Aplicada, Departamento de Ciências Florestais, Esalq/USP.
 *Dureza Total calculada com base no equivalente de Carbonato de Cálcio (CaCO₃) segundo Franson (1995): 2,497 [Ca, mg L⁻¹] + 4,118 [Mg, mg L⁻¹].

As variáveis avaliadas foram: controle percentual das plantas daninhas aos 14, 21 e 28 Dias Após a Aplicação (DAA) e massa seca residual aos 28 DAA. Nas avaliações de controle, utilizou-se escala visual variando entre 0 e 100%, em que zero representou a ausência de sintomas e 100 a morte de todas as plantas. Para massa seca, um quadro de madeira de 0,5 x 0,5 m foi lançado uma vez em área representativa de cada parcela. Todo o material vegetal presente na área do quadrado foi cortado rente à superfície do solo e secado em estufa (70°C) por 72 horas.

No Laboratório de Biologia de Plantas Daninhas, também da Esalq/USP, quatro experimentos foram desenvolvidos com delineamento experimental inteiramente casualizado e três repetições. Nestes trabalhos, avaliou-se a variação do pH de caldas de glyphosate após adição de fertilizantes nitrogenadas e utilização de pulverizador costal pressurizado por CO₂. Sabidamente, o volume de calda utilizado (L ha⁻¹) e a dose do herbicida (mL ha⁻¹) são variáveis que interferem na concentração de produto comercial na calda (mL L⁻¹). Assim, mesma concentração pode ser obtida com diferentes combinações de dose e volume de calda e a compreensão das principais correlações auxilia na discussão dos dados (Tabela 4.3). Neste sentido, adotou-se calda proporcional a 200 L ha⁻¹; a formulação comercial Roundup Original[®] foi mantida como padrão de avaliação; e o pH foi a única variável mensurada, por meio do medidor digital de pH da Tecnal, modelo TEC-3MP.

Os três primeiros experimentos foram desenvolvidos em béqueres de vidro com 200 mL de calda. No primeiro, considerou-se o efeito da concentração da calda com glyphosate. Para tanto, adotou-se esquema de tratamentos fatorial 7 x 2, em que sete foram as concentrações de glyphosate (0; 2,5; 5; 10; 20; 40 e 80 mL L⁻¹ de produto comercial) e duas foram as fontes de água utilizadas (deionizada e comum para distribuição pública – Tabela 4.2); cada combinação foi agitada por 1 min. No segundo experimento, avaliou-se o efeito do sulfato de amônio no pH da calda, adotando-se esquema fatorial 5 x 2, em que cinco foram as concentrações de sulfato de amônio (0; 2,5; 5; 10 e 20 g L⁻¹) e duas foram as doses de glyphosate (5 e 20 mL L⁻¹ de produto comercial). No terceiro experimento, avaliou-se o efeito de cinco concentrações de uréia (0; 1,25; 2,5; 5 e 10 g L⁻¹) no pH da calda de glyphosate (5 mL L⁻¹ de produto comercial). No segundo e terceiro experimentos, utilizou-se água comum e as caldas foram agitadas por 3 min.

Tabela 4.3 – Concentração (mL L⁻¹) de produto comercial oriunda da combinação de diferentes doses e volumes de calda. Piracicaba – SP, 2008

Produto Comercial ¹ (mL ha ⁻¹)	Volume de Calda (L ha ⁻¹)			
	50	100	200	400
500	10,0	5,0	2,5	1,3
1000	20,0	10,0	5,0	2,5
2000	40,0	20,0	10,0	5,0
3000	60,0	30,0	15,0	7,5
4000	80,0	40,0	20,0	10,0
6000	120,0	60,0	30,0	15,0
8000	160,0	80,0	40,0	20,0

¹Roundup Original[®], 360 g e.a. L⁻¹.

O quarto experimento em laboratório foi desenvolvido com o objetivo de avaliar a interferência do pulverizador costal pressurizado por CO₂ no pH da calda de glyphosate. Pulverizaram-se doze tratamentos, semelhantes aos apresentados na Tabela 4.1, em que se substituiu a maior dose de glyphosate por 1.440 g ha⁻¹, visando maior amplitude de resposta. As condições da experimentação foram semelhantes às utilizadas em campo, porém adotou-se única ponta XR 110.02 e somente 50% da capacidade do reservatório de 2 L foi preenchida com calda. Este procedimento visou potencializar a mistura de gás carbônico na solução, por meio de 1,0 L de espaço livre no reservatório. Alíquotas de 50 mL foram retiradas e o pH foi medido na calda original, imediatamente após simulação e após duas horas de repouso da calda pulverizada.

Inicialmente, todos os dados foram submetidos à aplicação do teste F na análise da variância, com 5% de probabilidade. Quando da significância do teste F, aplicou-se teste de Scott-Knott para agrupamento das médias dos fatores de tratamentos qualitativos (SCOTT; KNOTT, 1974), também com 5% de significância. Os níveis de fatores de tratamentos quantitativos foram ajustados a regressões logarítmicas ou polinomiais.

4.3 Resultados e Discussão

No experimento desenvolvido em campo, a aplicação do teste F na análise da variância indicou efeito de tratamentos para todas as avaliações de controle (Tabela 4.4). Constatou-se efeito de doses de glyphosate, em que a aplicação de 720 g ha⁻¹ proporcionou melhor controle das plantas daninhas que a dose de 360 g ha⁻¹. Em todas as avaliações, a adição de 15 g L⁻¹ de sulfato de amônio elevou o controle obtido pela menor dose de glyphosate, sem diferença para a maior dose. No caso da uréia, somente foram observados efeitos benéficos aos 28 DAA, para a adição de 5 g L⁻¹ à menor dose do herbicida. Todos os tratamentos reduziram a massa seca de plantas daninhas quando comparados com a testemunha, porém não foi observado efeito das doses de glyphosate ou fontes nitrogenadas sobre esta variável (Tabela 4.4).

Tabela 4.4 – Controle percentual aos 14, 21 e 28 dias após aplicação (DAA) e massa seca de plantas daninhas aos 28 DAA, em condição de campo, após aplicação dos tratamentos herbicidas com adição de diferentes fontes nitrogenadas (FN). Piracicaba – SP, 2008

Tratamentos	Doses		Controle Percentual (DAA)*			Massa Seca* (g m ⁻²)	
	Herbicida g ha ⁻¹	FN g L ⁻¹	14	21	28		
Testemunha sem aplicação	--	--	0,0 C	0,0 C	0,0 C	622,3 B	
Glyphosate ¹	360	--	79,3 B	83,7 B	93,0 B	205,3 A	
Glyphosate + SA ²	360	7,5	81,7 B	89,3 B	95,7 B	188,8 A	
Glyphosate + SA	360	15,0	91,3 A	94,0 A	98,3 A	240,3 A	
Glyphosate + Uréia	360	2,5	80,0 B	87,7 B	93,0 B	225,5 A	
Glyphosate + Uréia	360	5,0	83,3 B	89,0 B	96,7 A	188,4 A	
Glyphosate	720	--	91,7 A	93,7 A	99,0 A	223,6 A	
Glyphosate + SA	720	7,5	97,0 A	98,0 A	100,0 A	196,7 A	
Glyphosate + SA	720	15,0	95,0 A	96,3 A	98,7 A	179,1 A	
Glyphosate + Uréia	720	2,5	92,7 A	97,0 A	99,3 A	175,6 A	
Glyphosate + Uréia	720	5,0	90,7 A	96,3 A	98,7 A	272,5 A	
			F_(Tratamento)	142,561**	161,770**	348,411**	4,574**
			CV (%)	4,94	4,58	3,09	17,80

¹ Dose de glyphosate em g ha⁻¹ de equivalente ácido; Roundup Original®, 360 g e.a. L⁻¹; Volume de calda de 200 L ha⁻¹; ² SA – Sulfato de amônio; *Médias seguidas por letras iguais nas colunas não diferem entre si segundo teste de Scott-Knott, a 5% de probabilidade; **Significativo a 1% pelo teste F.

Os resultados obtidos neste experimento estão em concordância com aqueles discutidos no Capítulo 3, em que foram observados incrementos de controle para adição de até 10 g L⁻¹ de sulfato de amônio à calda de glyphosate. A adição de 20 g L⁻¹ de sulfato de amônio não incrementou o controle em relação ao glyphosate aplicado isolado. Por outro lado, no Capítulo 2 também foi utilizada a concentração de 15 g L⁻¹, que provavelmente é o ponto de máxima resposta biológica, resultando nos melhores resultados. Conforme os Capítulos 2 e 3, não foram observadas diferenças para massa seca, o que foi atribuído à menor sensibilidade da variável a pequenas variações e à necessidade de maior número de repetições ou amostragens.

Na literatura científica, diversos trabalhos comprovam a maior eficácia do glyphosate quando aplicado com sulfato de amônio. Por exemplo, Donald (1988) concluiu que a adição de sulfato de amônio elevou a eficácia e consistência do glyphosate no controle de *Hordeum jubatum*; Nalewaja e Matsiak (1993) elevaram o controle de *Triticum aestivum* (planta teste) utilizando sulfato de amônio como antagonista de sais prejudiciais ao glyphosate; Jordan et al. (1997) observaram melhor controle de *Sida spinosa* e *Ipomoea hederacea* var. *intergriuscula*; Pratt; Kells e Penner (2003) avaliaram diversos adjuvantes para controle de *Abutilon theophrasti* e concluíram que nenhum foi superior ao sulfato de amônio.

Comumente, a maior eficácia do herbicida glyphosate em presença do sulfato de amônio é atribuída à atividade do sulfato como antagonista de cátions presentes na água, sobretudo Ca²⁺ e Mg²⁺ (NALEWAJA; MATYSIAK, 1991; THELEN; JACKSON; PENNER, 1995; SALAS-PINO, 1996; GAUVRIT, 2003). Porém, não há consenso quanto aos teores máximos a partir dos quais concentrações de cálcio e magnésio passam a afetar a eficácia do glyphosate. Mueller et al. (2006) relataram que concentrações superiores a 250 e 500 mg L⁻¹ de cálcio e magnésio, respectivamente, reduziram a eficácia do herbicida. Por outro lado, Gauvrit (2003) observou menor eficácia de glyphosate aplicado com 200 mg L⁻¹ de cálcio, concentração considerada moderada.

A análise da água utilizada neste trabalho indicou baixos níveis de cálcio e magnésio, da ordem de 38,8 e 2,7 mg L⁻¹, respectivamente (Tabela 4.2). Ainda, a aplicação foi realizada de acordo com as recomendações agronômicas; não havia poeira sobre as folhas das plantas daninhas, devido à ocorrência de chuva na véspera; não houve chuva logo após a aplicação; e, nos dias que sucederam a aplicação, as condições meteorológicas foram adequadas à atividade do herbicida (Figura 4.1). Assim, sugere-se que a maior eficácia do glyphosate quando em presença

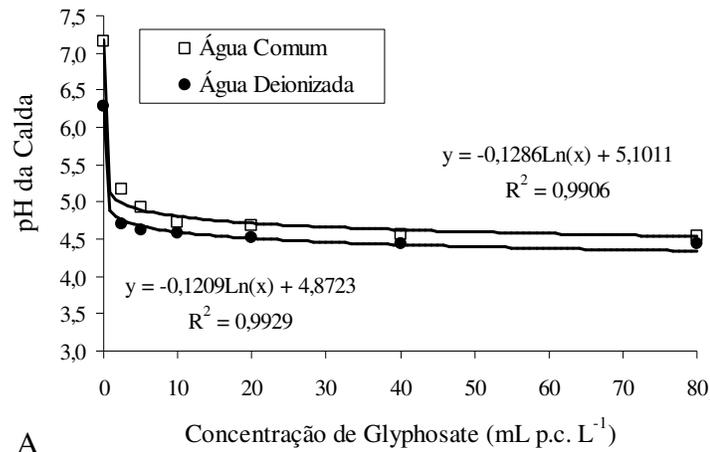
de sulfato de amônio esteve relacionada principalmente com a penetração / absorção facilitada do herbicida (RUITER; MEINEN, 1996; SATCHIVI et al., 2000; YOUNG et al., 2003).

A absorção e a metabolização de grande quantidade de íons amônio promovem desequilíbrio eletroquímico no interior das células, que ativam o processo de extrusão do hidrogênio para o apoplasto, por meio de ATPases (GRONWALD et al., 1993). A maior absorção celular de glyphosate quando da adição de sulfato de amônio à calda tem sido explicada pela maior concentração de íons hidrogênio no apoplasto, com conseqüente redução do pH.

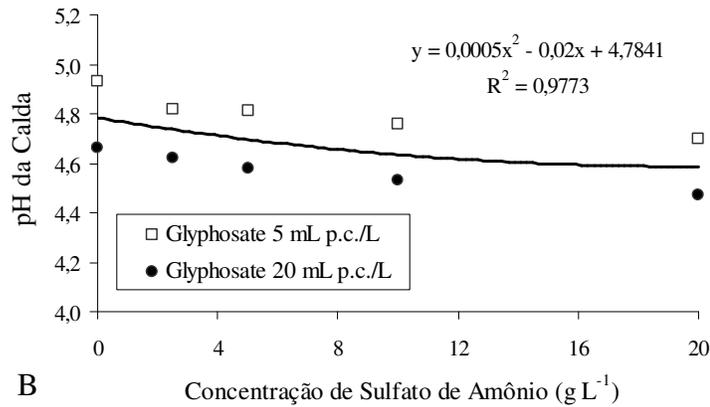
Em água, o herbicida glyphosate se comporta como um ácido fraco, ou seja, se ioniza parcialmente com liberação de íons H^+ . Este herbicida tem quatro valores de pKa, sendo que dois têm elevada importância agrônômica, ao redor de 2,6 e 5,6 (COUTINHO; MAZO, 2005). Desta forma, a acidificação do meio favorece a presença de maior proporção de formas químicas de glyphosate menos dissociadas, que atravessam mais facilmente a membrana plasmática (apolar). No interior da célula, o pH do citoplasma (7,0-7,5) facilita a ionização das moléculas, que ficam retidas na forma ativa no interior da célula, sem mecanismo de retorno ao apoplasto (GRONWALD et al., 1993; BRISKIN, 1994).

A redução do pH do apoplasto após aplicação de herbicidas com sulfato de amônio é bem documentada na literatura científica, contudo, no meio popular, comumente também são discutidos aspectos relacionados com a redução do pH da calda de pulverização. Neste trabalho, apenas a diluição do glyphosate em água foi suficiente para significativo efeito acidificante (Figura 4.2A). Devido à reduzida variabilidade dos dados laboratoriais, observou-se interação das concentrações de glyphosate com a fonte de água em todas as diluições, contudo sem importância prática. Para concentrações de produto comercial superiores a 10 mL L^{-1} , houve estabilização do pH da solução em 4,5 (Figura 4.2A); o que está em concordância com Nalewaja e Matysiak (1991) e Christoffoleti et al. (2008).

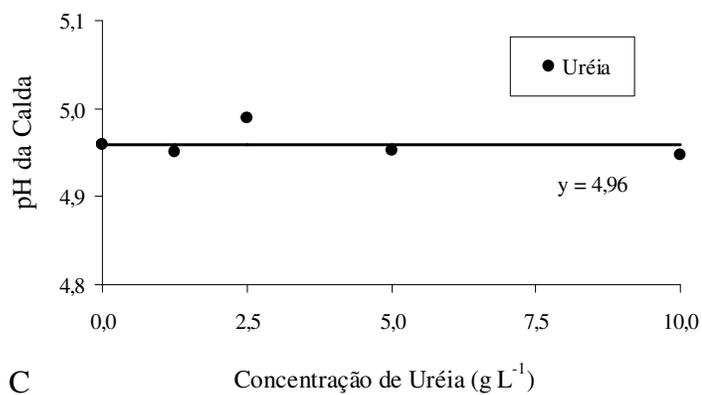
Conforme observado na Tabela 4.3, a mesma concentração de produto comercial pode ser obtida com diferentes combinações de doses e volumes de calda. Neste sentido, sempre que possível, menores volumes de calda devem ser privilegiados, pois além de resultar em valores de pH mais baixos e, portanto, benéficos ao glyphosate, facilitam a rotina agrícola e contribuem para menor proporção de cátions antagônicos ao herbicida, de forma que o controle tende a ser maximizado (BUHLER; BRUNSIDE, 1983; SALAS-PINO, 1996; RAMSDALE; MESSERSMITH; NALEWAJA, 2003).



A



B



C

Figura 4.2 – Comportamento do pH da calda do herbicida glyphosate sob diferentes condições agrônômicas (T=23,7°C). A – Glyphosate (Roundup Original[®]) adicionado à água deionizada e à água comum tratada para distribuição pública; B – Adição de sulfato de amônio à calda de glyphosate; C – Adição de uréia à calda de glyphosate (5 mL p.c. L⁻¹). Piracicaba – SP, 2008

O sulfato de amônio promoveu pequena acidificação da calda, da ordem de 0,2 unidades de pH para adição de 20 g L⁻¹ (Figura 4.2B), o que está em concordância com Green e Cahill (2003); sem ocorrência de interação com a dose de glyphosate. No entanto, esta observação tem pequena aplicabilidade prática, pois o pH alcançado pouco se aproxima do próximo pKa de importância agrônômica, de cerca de 2,6. A combinação de uréia e glyphosate não alterou o pH da calda, que se manteve em 4,96 (Figura 4.2C).

A utilização do pulverizador costal pressurizado por CO₂ reduziu o pH da água pura, porém os efeitos nas caldas herbicidas foram pequenos e de pouca significância prática (Tabela 4.5). Os valores mais baixos de pH foram encontrados para a dose de 1.440 g ha⁻¹ de glyphosate, pulverizado puro ou com sulfato de amônio. Em geral, a uréia não alterou o pH das caldas (Tabela 4.5). McCormick (1990) também observou efeito acidificante na água após pressurização com CO₂ ou adição de sulfato de amônio, contudo neste trabalho não foram incluídos herbicidas. No caso do glyphosate, o produto comercial tem pH próximo de 4,6 e sua diluição promove efeito tamponante, pouco alterado pelos fertilizantes nitrogenados.

Tabela 4.5 – Comportamento do pH da calda de pulverização do herbicida glyphosate sob influência da adição de fontes nitrogenadas e da utilização de pulverizador costal pressurizado por CO₂ (T=20°C). Piracicaba – SP, 2008

Tratamentos ²	Condição da Calda ¹		
	Original	Após Simulação	Após Simulação e Repouso (2 horas)
Água comum	7,33 F c	6,89 I a	7,03 G b
Glyphosate 360 g ha ⁻¹	5,00 E a	5,08 H b	4,96 F a
Glyphosate 360 g ha ⁻¹ + SA ³ 7,5 g L ⁻¹	4,83 D b	4,74 D a	4,74 D a
Glyphosate 360 g ha ⁻¹ + SA 15,0 g L ⁻¹	4,79 C b	4,73 D a	4,74 D a
Glyphosate 360 g ha ⁻¹ + Uréia 2,5 g L ⁻¹	4,98 E b	4,91 G a	4,89 E a
Glyphosate 360 g ha ⁻¹ + Uréia 5,0 g L ⁻¹	4,99 E b	4,87 F a	4,94 F b
Glyphosate 720 g ha ⁻¹	4,83 D b	4,83 E b	4,77 D a
Glyphosate 1440 g ha	4,66 B b	4,58 A a	4,66 C b
Glyphosate 1440 g ha ⁻¹ + SA 7,5 g L ⁻¹	4,59 A a	4,56 A a	4,56 A a
Glyphosate 1440 g ha ⁻¹ + SA 15,0 g L ⁻¹	4,60 A b	4,63 B b	4,53 A a
Glyphosate 1440 g ha ⁻¹ + Uréia 2,5 g L ⁻¹	4,69 B b	4,68 C b	4,61 B a
Glyphosate 1440 g ha ⁻¹ + Uréia 5,0 g L ⁻¹	4,68 B a	4,73 D b	4,65 C a
F _(Interação tratamentos x calda)		31,961**	
CV (%)		0,44	

¹ Médias seguidas por letras iguais, maiúsculas nas colunas e minúsculas nas linhas, não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott, a 5% de probabilidade. ² Roundup Original®, 360 g e.a. L⁻¹; Volume de calda de 200 L ha⁻¹; ³ SA: sulfato de amônio; **Significativo a 1% de probabilidade pelo teste F.

A análise conjunta dos dados sugere que os efeitos positivos da adição de sulfato de amônio em água de boa qualidade estão mais relacionados com particularidades fisiológicas da absorção do herbicida, principalmente quanto à acidificação do apoplasto. No caso da uréia, quando se observam efeitos benéficos, provavelmente, estão relacionados com danos físicos à cutícula foliar, o que facilita a penetração das moléculas (MALAVOLTA, 1980; DURIGAN, 1992). Fundamentadas nestes resultados, novas pesquisas podem ser desenvolvidas a fim de avaliar os efeitos complementares da utilização conjunta de uréia e sulfato de amônio em caldas, uma vez que as particularidades de um fertilizante parecem contornar as deficiências do outro.

4.4 Conclusões

A adição de 15 g L⁻¹ de sulfato de amônio elevou a eficácia da menor dose de glyphosate (360 g ha⁻¹), sem diferença para a maior dose (720 g ha⁻¹) aplicada isolada. Somente foram observados efeitos benéficos da uréia aos 28 dias após aplicação, para a adição de 5 g L⁻¹ à menor dose do herbicida. A adição de glyphosate acidifica a calda de pulverização e, para concentrações de produto comercial superiores a 10 mL L⁻¹, houve estabilização do pH da solução em 4,5. O sulfato de amônio promoveu pequena acidificação da calda, enquanto a uréia não alterou o pH. A utilização do pulverizador costal resultou em pequena alteração do pH da calda, porém sem importância prática. Os resultados sugerem que a maior eficácia do glyphosate após adição do sulfato de amônio está pouco relacionada com alterações no pH da calda de pulverização.

Referências

BRISKIN, D.D. Membranes and transport systems in plants: an overview. **Weed Science**, Champaign, v.42, n.2, p.255-262, 1994.

BUHLER, D.D.; BURNSIDE, O.C. Effect of spray components on glyphosate toxicity to annual grasses. **Weed Science**, Champaign, v.31, n.1, p.124-130, 1983.

CHRISTOFFOLETI, P.J.; CARVALHO, S.J.P.; NICOLAI, M.; DIAS, A.C.R.; CARDINALI, V.C.B.; FRANCISCO, M.O. Condutividade elétrica e pH da calda de glyphosate utilizado nas pulverizações. In: CONGRESO DE LA ASOCIACIÓN LATINOAMERICANA DE MALEZAS, 18., Ouro Preto, 2008. **Resumos Expandidos...** Ouro Preto: SBCPD, 2008. 6p.

CHRISTOFFOLETI, P.J.; LÓPEZ-OVEJERO, R.F. **Dinâmica dos herbicidas aplicados ao solo na cultura da cana-de-açúcar**. São Paulo: Autores, 2005. 49p.

COUTINHO, C.F.B.; MAZO, L.H. Complexos metálicos com o herbicida glifosato: revisão. **Química Nova**, São Paulo, v.28, n.6, p.1038-1045, 2005.

DONALD, W.W. Established foxtail barley, *Hordeum jubatum*, control with glyphosate plus ammonium sulfate. **Weed Technology**, Champaign, v.2, n.3, p.364-368, 1988.

DURIGAN, J.C. Efeito de adjuvantes na calda e no estágio de desenvolvimento das plantas, no controle do capim-colonião (*Panicum maximum*) com glyphosate. **Planta Daninha**, Brasília, v.10, n.1/2, p.39-44, 1992.

EMBRAPA - EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 2.ed. Rio de Janeiro: EMBRAPA, 2006. 306p.

FRANSON, M.A.H. **Standard methods for the examination of water and wastewater**. 19th.ed. Washington: American Public Health Association, 1995. 1074p.

GAUVRIT, C. Glyphosate response to calcium, ethoxylated amine surfactant, and ammonium sulfate. **Weed Technology**, Lawrence, v.17, n.4, p.799-804, 2003.

GREEN, J.M.; CAHILL, W.R. Enhancing the biological activity of nicosulfuron with pH adjusters. **Weed Technology**, Lawrence, v.17, n.2, p.338-345, 2003.

GRONWALD, J.W.; JOURDAN, S.W.; WYSE, D.L.; SOMERS, D.A.; MAGNUSSON, M.U. Effect of ammonium sulfate on absorption of imazethapyr by quackgrass (*Elytrigia repens*) and maize (*Zea mays*) cell suspension cultures. **Weed Science**, Champaign, v.41, n.3, p.325-334, 1993.

JORDAN, D.L.; YORK, A.C.; GRIFFIN, J.L.; CLAY, P.A.; VIDRINE, P.R.; REYNOLDS, D.B. Influence of application variables on efficacy of glyphosate. **Weed Technology**, Lawrence, v.11, n.2, p.354-362, 1997.

MALAVOLTA, E. **Elementos da nutrição mineral de plantas**. São Paulo: Agronômica Ceres, 1980. 252p.

McCORMICK, R.W. Effects of CO₂, N₂, air and nitrogen salts on spray solution pH. **Weed Technology**, Champaign, v.4, n.4, p.910-912, 1990.

McMULLAN, P.M. Utility adjuvants. **Weed Technology**, Lawrence, v.14, n.4, p.792-797, 2000.

MUELLER, T.C.; MAIN, C.L.; THOMPSON, M.A.; STECKEL, L.E. Comparison of glyphosate salts (isopropylamine, diammonium and potassium) and calcium and magnesium concentrations on the control of various weeds. **Weed Technology**, Lawrence, v.20, n.1, p.164-171, 2006.

- NALEWAJA, J.D.; MATYSIAK, R. Optimizing adjuvants to overcome glyphosate antagonistic salts. **Weed Technology**, Champaign, v.7, n.2, p.337-342, 1993.
- NALEWAJA, J.D.; MATYSIAK, R. Salt antagonism of glyphosate. **Weed Science**, Champaign, v.39, n.4, p.622-628, 1991.
- NURSE, R.E.; HAMILL, A.S.; KELLS, J.J.; SIKKEMA, P.H. Annual weed control may be improved when AMS is added to below-label glyphosate doses in glyphosate-tolerant maize (*Zea mays* L.). **Crop Protection**, Guildford, v.27, n.3-5, p.452-458, 2008.
- PRATT, D.; KELLS, J.J.; PENNER, D. Substitutes for ammonium sulfate as additives with glyphosate and glufosinate. **Weed Technology**, Lawrence, v.17, n.3, p.576-581, 2003.
- RAMSDALE, B.K.; MESSERSMITH, C.G.; NALEWAJA, J.D. Spray volume, formulation, ammonium sulfate, and nozzle effects on glyphosate efficacy. **Weed Technology**, Lawrence, v.17, n.3, p.589-598, 2003.
- RODRIGUES, B.N.; ALMEIDA, F.S. **Guia de herbicidas**. 5.ed. Londrina, 2005. 592p.
- RUITER, H.D.; MEINEN, E. Adjuvant-increased glyphosate uptake by protoplasts isolated from quackgrass *Elytrigia repens* (L.) Nevski. **Weed Science**, Champaign, v.44, n.1, p.38-45, 1996.
- SALAS-PINO, P.A.G. **Efeito de adjuvantes, volume de calda e qualidade da água na eficácia do herbicida glyphosate**. 1996. 79p. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1996.
- SATCHIVI, N.M.; WAX, L.M.; STOLLER, E.W.; BRISKIN, D.P. Absorption and translocation of glyphosate isopropylamine and trimethylsulfonium salts in *Abutilon theophrasti* and *Setaria faberi*. **Weed Science**, Lawrence, v.48, n.6, p.675-679, 2000.
- SCOTT, A.J.; KNOTT, M.A. Cluster analysis method for grouping means in the analysis of variance. **Biometrics**, Washington, v.30, n.2, p.507-512, 1974.
- THELEN, K.D.; JACKSON, E.P.; PENNER, D. The basis for the hard-water antagonism of glyphosate activity. **Weed Science**, Champaign, v.43, n.4, p.541-548, 1995.
- TIMOSSI, P.C.; DURIGAN, J.C.; LEITE, G.J. Eficácia de glyphosate em plantas de cobertura. **Planta Daninha**, Viçosa – MG, v.24, n.3, p.475-480, 2006.
- WILLS, G.D.; McWHORTER, C.G. Effect of inorganic salts on the toxicity and translocation of glyphosate and MSMA in purple nutsedge (*Cyperus rotundus*). **Weed Science**, Champaign, v.33, n.6, p.755-761, 1985.
- YOUNG, B.G.; KNEPP, A.W.; WAX, L.M.; HART, S.E. Glyphosate translocation in common lambsquarters (*Chenopodium album*) and velvetleaf (*Abutilon theophrasti*) in response to ammonium sulfate. **Weed Science**, Lawrence, v.51, n.2, p.151-156, 2003.

5 ADIÇÃO SIMULTÂNEA DE SULFATO DE AMÔNIO E URÉIA À CALDA DE PULVERIZAÇÃO DO HERBICIDA GLYPHOSATE

Resumo

Quando adicionados separadamente à calda, o sulfato de amônio (SA) e a uréia (U) têm elevado a eficácia do glyphosate sobre algumas espécies de plantas daninhas. Os mecanismos envolvidos neste fenômeno sugerem atividade complementar destes fertilizantes, de modo que a adoção conjunta de U+SA pode elevar ainda mais a eficácia do herbicida. Assim sendo, dois experimentos foram desenvolvidos em casa-de-vegetação, com o objetivo de avaliar a eficácia do glyphosate sobre plantas de *Digitaria insularis* quando soluções de SA, U e U+SA foram utilizadas como veículo de pulverização. Aos 28 dias após aplicação, de acordo com as curvas de dose-resposta (primeiro experimento), foram necessários 409 g ha⁻¹ de glyphosate para atingir 50% de controle da planta daninha (C₅₀) quando o produto foi aplicado usando água sem adjuvantes. Para obtenção dos mesmos 50% de controle, as doses foram reduzidas para 373, 208 e 189 g ha⁻¹, quando o glyphosate foi pulverizado utilizando solução de U (5 g L⁻¹), SA (15 g L⁻¹) ou U+SA (2,5 + 7,5 g L⁻¹), respectivamente. A redução na dose oriunda da combinação de glyphosate e U+SA também foi observada para controles de 80% (C₈₀). No segundo experimento, a adição de U+SA à calda elevou o controle obtido com a menor dose de glyphosate (360 g ha⁻¹), igualando-o à aplicação da maior dose (720 g ha⁻¹) sem adjuvantes. Estes resultados evidenciam efeito complementar de U e SA em elevar a eficácia do glyphosate para controle de *D. insularis*.

Palavras-chave: *Digitaria insularis*; Curva dose-resposta; Dessecação; Nitrogênio

Simultaneous addition of ammonium sulfate and urea to glyphosate spray solution

Abstract

When separately added to spray solution, ammonium sulfate (AMS) and urea (U) have increased glyphosate efficacy on some weed species. The mechanisms involved in this phenomenon suggest complementary activity of these fertilizers, as well as joint adoption of U+AMS might increase herbicide efficacy even more. Therefore, two trials were developed in greenhouse with the objective of evaluating glyphosate efficacy on plants of *Digitaria insularis* when solutions of AMS, U and U+AMS were used as spray vehicle. At 28 days after application, according to dose-response curves (first trial), 409 g ha⁻¹ of glyphosate were necessary to obtain 50% of weed control (C₅₀) when the product was applied using water without adjuvants. For reaching the same 50% of weed control, rates were reduced to 373, 208 and 189 g ha⁻¹, when glyphosate was sprayed using solution of U (5 g L⁻¹), AMS (15 g L⁻¹) or U+AMS (2.5 + 7.5 g L⁻¹), respectively. Rate reduction promoted by glyphosate combination with U+AMS was also observed for 80% of control (C₈₀). In the second trial, the addition of U+SA to glyphosate spray solution increased the control reached with the lower rate (360 g ha⁻¹), leveling it to the higher glyphosate rate (720 g ha⁻¹) without adjuvants. These results show up complementary effect of U and AMS for increasing glyphosate efficacy to control *D. insularis*.

Keywords: *Digitaria insularis*; Dose-response curve; Desiccation; Nitrogen

5.1 Introdução

A eficácia dos herbicidas aplicados às folhas das plantas daninhas está diretamente relacionada com a magnitude dos processos de penetração/absorção (DURIGAN, 1992). Tais processos são complexos e podem ser influenciados por fatores relacionados à planta, aos herbicidas, à calda de pulverização e ao clima (DURIGAN, 1992; SILVA et al., 2007). Segundo Monquero et al. (2004), a absorção foliar do glyphosate é um processo bifásico que envolve uma etapa inicial de rápida penetração através da cutícula, seguida de absorção simplástica lenta. Durante estas etapas, a cutícula foliar e a membrana plasmática têm sido consideradas como barreiras importantes que limitam a atividade do herbicida (Satchivi et al., 2000).

O glyphosate [N-(fosfonometil)glicina] é um herbicida não-seletivo, de ação sistêmica, usado no controle de plantas daninhas anuais e perenes e na dessecação das culturas de cobertura (RODRIGUES; ALMEIDA, 2005). A absorção do glyphosate ocorre pelas estruturas fotossinteticamente ativas das plantas e, dentro das células, suas moléculas inibem a EPSPs (enol piruvil shiquimato fosfato sintase); enzima que participa da rota de síntese dos aminoácidos aromáticos fenilalanina, tirosina e triptofano (GEIGER; FUCHS, 2002).

Com o intuito de facilitar a penetração foliar de xenobióticos, diversas substâncias podem ser adicionadas à calda de pulverização. Neste sentido, a uréia tem sido utilizada em aplicações foliares como fonte de nitrogênio e, principalmente, como agente facilitador da penetração de nutrientes catiônicos e aniônicos e herbicidas (YAMADA; WITTER; BUKOVAC, 1965; MALAVOLTA, 1980; FREIRE et al., 1981; DURIGAN, 1992). A adição de sulfato de amônio à calda de pulverização também tem sido associada ao incremento na eficácia de herbicidas (NALEWAJA; MATYSIAK, 1993; PRATT; KELLS; PENNER, 2003; YOUNG et al., 2003; Capítulos 3 e 4). Contudo, não foram encontrados trabalhos científicos que avaliaram a adição concomitante de uréia e sulfato de amônio à calda de pulverização.

Dentre as plantas daninhas comumente encontradas em áreas agrícolas brasileiras, o capim-amargoso (*Digitaria insularis* (L.) Fedde) tem ganhado especial atenção, sobretudo por exigir aplicação de doses de glyphosate superiores às aquelas recomendadas para adequado controle de outras espécies da família *Poaceae*. Timossi; Durigan e Leite (2006) observaram que a aplicação de 1440 g ha⁻¹ de glyphosate promoveu controle satisfatório da comunidade infestante, porém, não evitou o rebrote do capim-amargoso. Machado et al. (2008) comentam que a maior

dificuldade em controlar plantas de capim-amargoso originadas de rizomas pode estar relacionada com a maior espessura na epiderme das faces adaxial e abaxial e maior espessura da lâmina foliar, quando comparadas com plantas provenientes de sementes. Ainda, observaram grande quantidade de amido nos rizomas, que pode dificultar a translocação do glyphosate e permitir rápida rebrota da parte aérea das plantas.

Neste sentido, dois experimentos foram desenvolvidos em casa-de-vegetação com o objetivo de avaliar a eficácia do herbicida glyphosate sobre plantas de capim-amargoso quando pulverizado com solução de sulfato de amônio (SA), uréia (U) e U+SA.

5.2 Material e Métodos

Dois experimentos foram desenvolvidos em casa-de-vegetação do Departamento de Produção Vegetal da Esalq/USP, no município de Piracicaba (22° 42' 30" Latitude Sul, 47° 38' 00" Longitude Oeste e 546 m de altitude), Estado de São Paulo, entre julho e dezembro de 2008. Sementes de capim-amargoso (*Digitaria insularis* (L.) Fedde), considerada como planta teste, foram coletadas em área experimental da Esalq/USP com histórico de aplicações ocasionais de glyphosate. Os propágulos foram acondicionados em sacos de papel, em local seco, à temperatura ambiente, até a instalação dos experimentos.

Inicialmente, as sementes de capim-amargoso foram colocadas para germinar em caixas plásticas com capacidade para 2 L, preenchidas com substrato comercial (casca de *Pinus* + turfa + vermiculita). Quando se constatou estágio fenológico de uma folha plenamente expandida, as plântulas foram transplantadas para vasos onde permaneceram até o final do experimento, em densidade média de oito plantas por vaso. Em ambos os experimentos, adotou-se delineamento experimental de blocos ao acaso, em que cada parcela constou de um vaso com capacidade para 1,5 L, preenchido com mistura de substrato comercial e vermiculita, na proporção volumétrica de 2:1, respectivamente. Todas as parcelas foram fertilizadas com (mg parcela⁻¹): 280 de N, 280 de P₂O₅, 280 de K₂O, 4 de B, 6 de Cu, 4 de Fe, 4 de Mg, 0,2 de Mo e 4 de Zn. Os vasos foram mantidos em casa-de-vegetação com irrigação automatizada por aspersão.

No primeiro experimento, os tratamentos foram organizados segundo esquema fatorial entre sete doses do herbicida glyphosate (Roundup Original[®] - sal de isopropilamina) e quatro

veículos de aplicação (água ou soluções de fertilizantes nitrogenados), com quatro repetições. As doses de glyphosate utilizadas foram (g e.a. ha⁻¹): 5760; 1440; 360; 90; 22,5; 5,6 e ausência de herbicida. Os veículos de aplicação utilizados foram: solução de uréia (U; 5 g L⁻¹), solução de sulfato de amônio (SA; 15 g L⁻¹), solução de uréia + sulfato de amônio (U+SA; 2,5 + 7,5 g L⁻¹) e água pura. Os fertilizantes nitrogenados utilizados foram provenientes de fontes convencionalmente utilizadas nas adubações agrícolas, com concentrações de 21 e 45% de nitrogênio no sulfato de amônio e uréia, respectivamente.

A água utilizada em todas as aplicações, inclusive para o preparo das soluções, foi oriunda de tratamento comum para distribuição pública (Tabela 5.1), classificada quanto à dureza como água branda (SILVA et al., 2007). Ainda, amostras dos quatro veículos de aplicação (soluções preparadas) foram encaminhadas ao Laboratório de Isótopos Estáveis, do Centro de Energia Nuclear na Agricultura – CENA, onde foram mensurados o pH e os teores de amônio (NH₄⁺). O pH foi mensurado por meio do medidor digital de pH da Tecnal, modelo TEC-3MP. Para determinação do amônio, as amostras foram destiladas com MgO e os extratos titulados com ácido sulfúrico, segundo recomendação de Bremner e Keeney (1966).

Tabela 5.1 – Análise da água utilizada nas aplicações, submetida a tratamento usual para distribuição pública, realizado na Esalq/USP. Piracicaba – SP, 2008

Parâmetro	Unidade	Resultado	Parâmetro	Unidade	Resultado
Cloreto (Cl ⁻)	mg L ⁻¹	43,6	Zinco (Zn)	mg L ⁻¹	0,04
Nitrato (N-NO ₃ ⁻)	mg L ⁻¹	4,0	Alcalinidade (2CO ₃ ²⁻ + HCO ₃ ⁻)	mg L ⁻¹	49,6
Sulfato (SO ₄ ²⁻)	mg L ⁻¹	33,0	Nitrogênio Amoniacal (N – NH ₃)	mg L ⁻¹	0,2
Fósforo (P)	mg L ⁻¹	0,02	Cor Aparente	PtCo	0,0
Sódio (Na ⁺)	mg L ⁻¹	66,0	Turbidez	FTU	0,0
Potássio (K ⁺)	mg L ⁻¹	5,6	Sedimentos em suspensão	mg L ⁻¹	4,3
Cálcio (Ca ²⁺)	mg L ⁻¹	31,8	Condutividade elétrica (CE)	mS cm ⁻¹	0,33
Magnésio (Mg ²⁺)	mg L ⁻¹	2,8	pH	--	7,5
Ferro (Fe)	mg L ⁻¹	0,0	Gás Carbônico (CO ₂)	mg L ⁻¹	2,5
Cobre (Cu)	mg L ⁻¹	0,0	Acidez (CaCO ₃)	mg L ⁻¹	5,0
Manganês (Mn)	mg L ⁻¹	0,01	Dureza Total* (CaCO ₃)	mg L ⁻¹	91,0

Análises realizadas pelo Laboratório de Ecologia Aplicada, Departamento de Ciências Florestais, Esalq/USP.
 *Dureza Total calculada com base no equivalente de Carbonato de Cálcio (CaCO₃) segundo Franson (1995): 2,497 [Ca, mg L⁻¹] + 4,118 [Mg, mg L⁻¹].

O segundo experimento teve por objetivo comprovar os resultados obtidos com o primeiro trabalho. Para elevar a precisão experimental, foram utilizados apenas seis tratamentos com as doses que promoveram a maior amplitude de resposta e seis repetições. Os tratamentos utilizados no segundo experimento estão detalhadamente descritos na Tabela 5.2, contando com aplicações de glyphosate isolado, em combinação com SA, U e U + SA.

Todas as pulverizações foram realizadas em câmara de aplicação fechada, pressurizada por ar comprimido, utilizando-se uma ponta do tipo leque (Teejet 80.02), distanciada em 0,50 m da superfície do alvo e com volume de calda proporcional a 200 L ha⁻¹. No momento das aplicações sobre o capim-amargoso, contatou-se estágio fenológico de 4-5 folhas e 1-2 perfilhos. Após cada aplicação, os vasos foram mantidos em área sem irrigação por período de 24 horas, o que assegurou a adequada absorção foliar do glyphosate.

Em ambos os experimentos, realizaram-se avaliações de controle das plantas daninhas aos 14, 21 e 28 dias após aplicação (DAA) e de massa fresca e seca aos 28 DAA. Para as avaliações de controle, utilizou-se escala visual com variação entre 0 e 100%, em que zero representou a ausência de sintomas e 100 a morte de todas as plantas. Os dados de massa foram obtidos cortando-se todo o material presente em cada parcela rente à superfície do substrato. Posteriormente, o material foi secado em estufa com circulação forçada de ar, a 70 °C, por 72 horas.

Tabela 5.2 – Tratamentos herbicidas aplicados no segundo experimento. Piracicaba – SP, 2008

N°	Herbicida		Fertilizante Nitrogenado		
	Condição	Dose (g ha ⁻¹)	Tipo	Dose ²	
				(g L ⁻¹)	(kg ha ⁻¹)
1	Testemunha sem aplicação		Ausente	0,0	0,0
2	Glyphosate ¹	360	Ausente	0,0	0,0
3	Glyphosate	360	Sulfato de Amônio	15,0	3,0
4	Glyphosate	360	Uréia	5,0	1,0
5	Glyphosate	360	Uréia + Sulfato de Amônio	2,5 + 7,5	0,5 + 1,5
6	Glyphosate	720	Ausente	0,0	0,0

¹Roundup Original®, 360 g e.a. L⁻¹; ²Volume de calda proporcional a 200 L ha⁻¹.

Todos os dados foram inicialmente submetidos à aplicação do teste F na análise da variância. Em seguida, para o primeiro experimento, aplicou-se o teste de Tukey para comparação dos níveis de tratamentos qualitativos e aplicaram-se regressões não-lineares para ajuste dos níveis quantitativos. No segundo experimento, o teste de Scott-Knott (SCOTT; KNOTT, 1974) foi utilizado para agrupamento das médias dos tratamentos. Todos os testes estatísticos foram desenvolvidos aceitando-se o nível de significância de 5%.

Nas análises por regressões, a variável controle percentual foi ajustada ao modelo logístico adaptado de Streibig (1988), eq. (1):

$$y = \frac{100}{1 + \left(\frac{x}{C_{50}}\right)^\alpha} \quad (1)$$

Em que: y é o controle percentual, C_{50} é a dose de glyphosate que resulta em 50% de controle da planta daninha e α é a declividade da curva ao redor de C_{50} . Este modelo pressupõe que sempre que a dose de glyphosate tende ao infinito (doses elevadas) o controle tende à estabilização em 100%.

Para as variáveis massa fresca e seca residual, adotou-se o modelo proposto por Seefeldt; Jensen e Fuerst (1995), eq. (2);

$$y = a + \frac{b}{\left[1 + \left(\frac{x}{c}\right)^d\right]} \quad (2)$$

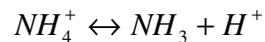
Em que: y é a massa residual; x é a dose do herbicida; e a , b , c e d são parâmetros do modelo, de modo que a é o limite inferior da curva, b é a diferença entre o ponto máximo e mínimo da curva, c é a dose que proporciona 50% de resposta da variável e d é a declividade da curva.

O modelo logístico apresenta vantagens uma vez que um dos termos integrantes da equação é uma estimativa do valor de C_{50} ou de GR_{50} (CHRISTOFFOLETI, 2002). O C_{50} (control by 50%) e o GR_{50} (growth reduction by 50%) são as doses do herbicida que proporcionam 50% de controle ou de redução de massa da planta daninha, respectivamente (CHRISTOFFOLETI, 2002; CHRISTOFFOLETI; LÓPEZ-OVEJERO, 2004). De forma a complementar as análises, quando necessário, também foram calculados C_{80} e GR_{80} .

5.3 Resultados e Discussão

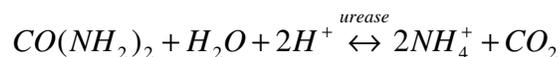
O pH e o teor de amônio dos quatro veículos utilizados para aplicação de glyphosate no primeiro experimento estão apresentados na Tabela 5.3. Notadamente, os valores obtidos para a água comum estão em concordância com a análise completa, realizada previamente (Tabela 5.1). O pH da água comum, da ordem de 7,3, foi reduzido em decorrência da dissolução de sulfato de amônio, tanto isolado quanto combinado com a uréia, com estabilização em 6,7. Resultados semelhantes também foram observados por McCormick (1990), que relataram redução média de 0,57 unidades de pH em amostras de água após adição de sulfato de amônio, sem a presença de herbicidas. Por outro lado, a dissolução de uréia em água promoveu a elevação do pH para 8,0 (Tabela 5.3).

Na solução de SA, de acordo com o cálculo molar, eram esperados 4090 mg L⁻¹ de amônio, o que não foi confirmado pela análise química, que indicou 3821,45 mg L⁻¹ (Tabela 5.3). Além de possíveis impurezas presentes no fertilizante, esta diferença de 6,5% se deve, provavelmente, à perda de nitrogênio por volatilização de amônia (NH₃), o que auxilia na explicação da redução no pH. Segundo Damin (2009), em solução aquosa, parte dos íons amônio é convertida à NH₃ conforme a seguinte reação de equilíbrio:



Esta reação tem pKa = 9,2 (constante de equilíbrio), ou seja, neste pH metade das moléculas são encontradas na forma de amônio (NH₄⁺) e metade na forma de amônia (NH₃). A acidificação da calda após dissolução de sulfato de amônio (Tabela 5.3) indica a liberação de íons hidrogênio e, proporcionalmente, de amônia que, por seu caráter volátil, é perdida para a atmosfera (WITTE et al., 2002).

A U, por sua vez, precisa ser convertida por hidrólise para formação de amônio. Nas plantas e no solo esta reação é mediada por ureases, de modo que a hidrólise espontânea é bastante reduzida. A reação completa de hidrólise da uréia (CO(NH₂)₂) pode ser representada pela seguinte equação (HINSVARK; WITTWER; TUKEY, 1953; MALAVOLTA, 1980; WITTE et al., 2002):



Notadamente, para que a hidrólise da uréia ocorra há consumo de íons hidrogênio, o que resulta na elevação do pH da solução, conforme observado na Tabela 5.3. Também no caso da solução U+SA, o teor de amônio mensurado ($1585,20 \text{ mg L}^{-1}$) não é a metade da solução isolada de SA ($3821,45 \text{ mg L}^{-1}$). Neste caso, sugere-se que a hidrólise espontânea da uréia exerceu função de dreno de H^+ , provocando maior dissociação de moléculas de amônio para estabilização do pH, da ordem de 6,7. Nestas condições, possivelmente houve maior perda de nitrogênio para a atmosfera sob a forma de amônia (Tabela 5.3).

A caracterização precisa dos veículos de aplicação tem grande importância na compreensão dos resultados de controle e massa. A partir dos dados da Tabela 5.3, pode-se supor que há pequena perda de amônia para a atmosfera quando é utilizada solução de SA, e que essas perdas são maiores para solução de U+SA. Ainda, a maior parte da uréia se mantém preservada em solução, de modo que, quando considerado este veículo, o que alcança as folhas não é amônio. Por outro lado, a alteração do pH da calda provocada por estes fertilizantes nitrogenados não tem grande importância prática após a dissolução do glyphosate. Na literatura científica e em Capítulo anterior, tem-se observado significativo efeito tamponante do herbicida glyphosate, sobretudo quando da aplicação de doses superiores a 10 mL L^{-1} de produto comercial (NALEWAJA; MATYSIAK, 1991; CHRISTOFFOLETI et al., 2008; Capítulo 4).

Tabela 5.3 – Quantificação do pH e dos teores de amônio nos quatro veículos utilizados para aplicação das diferentes doses de glyphosate. Piracicaba – SP, 2008

Veículo de Aplicação	Parâmetros Químicos ¹	
	pH	N-NH ₄ ⁺ (mg L ⁻¹)
Água Comum	7,30	0,13
Solução de Sulfato de Amônio (SA) – 15 g L^{-1}	6,70	3821,45
Solução de Uréia (U) – 5 g L^{-1}	8,00	3,18
Solução de U + SA – $2,5 + 7,5 \text{ g L}^{-1}$	6,73	1585,20

¹A leitura da amostra de cada veículo foi realizada por duas vezes, o que não justifica a aplicação de análise estatística.

No primeiro experimento, foi observada interação dos veículos de aplicação com as doses de glyphosate para todas as avaliações de controle (Tabela 5.4; Figura 5.1), contudo não houve interação ou mesmo efeito isolado dos veículos para a avaliação de massa (Figura 5.2). A análise conjunta da Tabela 5.4 e da Figura 5.1 evidencia o controle diferencial do capim-amargoso devido aos veículos de aplicação. Para todas as datas de aplicação, menores valores de C_{50} ou C_{80} foram observados para a pulverização de glyphosate com solução de U+SA. A solução com somente sulfato de amônio também reduziu a dose de glyphosate necessária para controle de 50% da população, porém isto não foi observado para C_{80} aos 14 e 21 DAA, devido à declividade da curva. A aplicação de glyphosate com solução de uréia não resultou em melhor controle quando comparada à diluição do herbicida em somente água (Tabela 5.4; Figura 5.1).

Tabela 5.4 – Parâmetros do modelo logístico¹, coeficiente de determinação (R^2) e C_{80} para controle do capim-amargoso (*D. insularis*) quando submetido a diferentes doses do herbicida glyphosate, utilizando como veículo água pura, solução de sulfato de amônio (15 g L⁻¹), solução de uréia (5 g L⁻¹) e solução de uréia + sulfato de amônio (2,5 + 7,5 g L⁻¹). Piracicaba – SP, 2008

Variável	Solução	Parâmetros ¹		R^2	C_{80}
		C_{50}	α		
Controle 14 DAA ²	Água	659,691	-1,768	0,994	1445,015
	Sulfato de Amônio (SA)	523,218	-0,992	0,998	2116,401
	Uréia	613,006	-1,588	0,994	1467,559
	Uréia + SA	364,042	-1,185	0,997	1172,787
Controle 21 DAA	Água	529,448	-2,446	0,991	933,177
	Sulfato de Amônio (SA)	315,914	-1,176	0,997	1026,892
	Uréia	410,978	-2,012	0,997	818,565
	Uréia + SA	226,095	-1,529	0,999	559,824
Controle 28 DAA	Água	409,341	-3,792	0,997	590,006
	Sulfato de Amônio (SA)	207,828	-1,631	0,999	486,228
	Uréia	373,406	-2,435	0,996	659,833
	Uréia + SA	189,404	-1,713	0,998	425,456

¹Modelo: $y = 100/(1+(x/C_{50})^\alpha)$; ²DAA – Dias após aplicação.

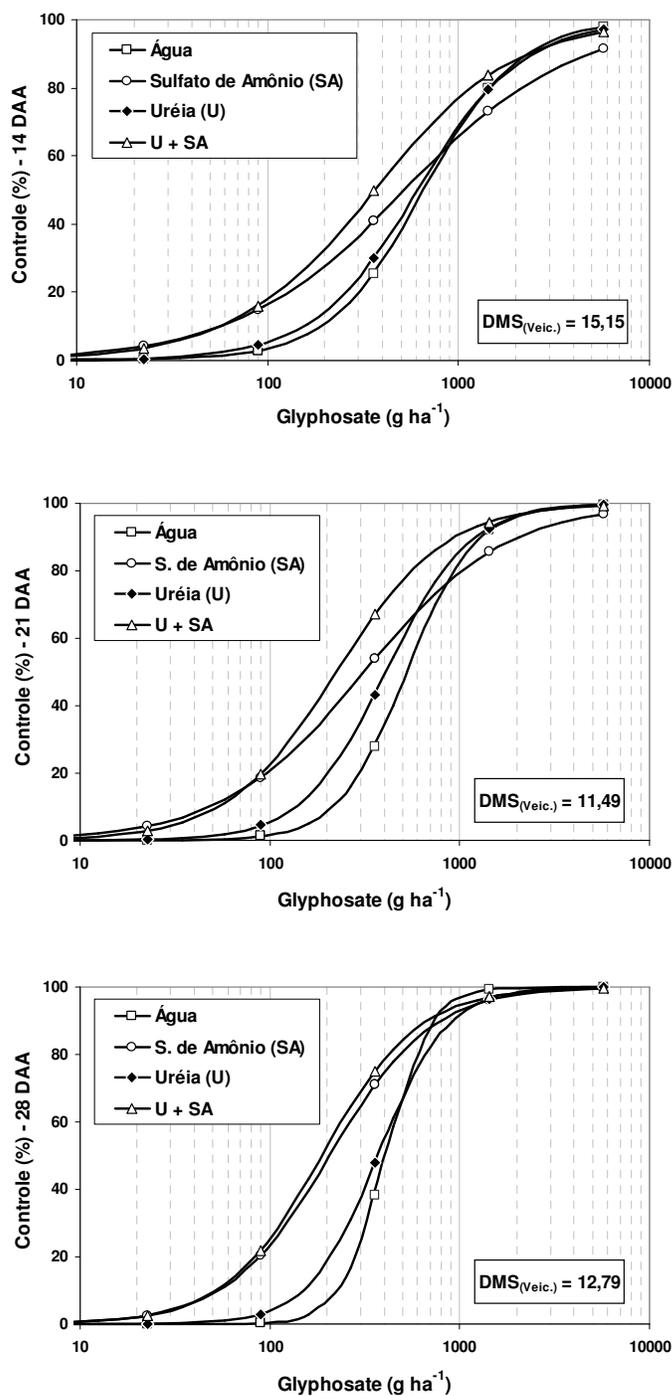


Figura 5.1 – Controle percentual do capim-amargoso (*D. insularis*) quando submetido a diferentes doses do herbicida glyphosate, avaliado aos 14, 21 e 28 dias após aplicação (DAA); utilizando como veículo água pura, solução de sulfato de amônio (15 g L^{-1}), solução de uréia (5 g L^{-1}) e solução de uréia + sulfato de amônio ($2,5 + 7,5 \text{ g L}^{-1}$). Piracicaba – SP, 2008

Na literatura, diversos trabalhos comprovam a maior eficácia do glyphosate quando aplicado com sulfato de amônio, conforme também já discutido e comprovado em Capítulos anteriores. Por exemplo, Donald (1988) concluiu que a adição de sulfato de amônio elevou a eficácia e consistência do glyphosate no controle de *Hordeum jubatum*; Nalewaja e Matsiak (1993) elevaram o controle de *Triticum aestivum* (planta teste) utilizando sulfato de amônio como antagonista de sais prejudiciais ao glyphosate; Jordan et al. (1997) observaram melhor controle de *Sida spinosa* e *Ipomoea hederacea* var. *intergriuscula*; Pratt; Kells e Penner (2003) avaliaram diversos adjuvantes para controle de *Abutilon theophrasti* e concluíram que nenhum foi superior ao sulfato de amônio. Embora haja disponibilidade de trabalhos que avaliaram a eficácia de glyphosate aplicado com sulfato de amônio, não foram encontrados relatos da aplicação conjunta de herbicidas com U+SA.

O herbicida glyphosate reduziu a massa fresca e seca do capim-amargoso, conforme observado na Figura 5.2. Tais variáveis foram adequadamente ajustadas ao modelo logístico proposto por Seefeldt; Jensen e Fuerst (1995), porém sem diferença entre os veículos de aplicação. Em Capítulos anteriores, também foi observado melhor controle de plantas daninhas após aplicação de glyphosate com sulfato de amônio, porém sem expressão sobre a massa seca residual. Vale ressaltar que, nos Capítulos 3 e 4, o capim-amargoso correspondeu a 15% da comunidade infestante em uma das áreas experimentais aplicadas.

Com as conclusões obtidas no primeiro experimento, sobretudo quanto à análise das curvas de controle aos 21 e 28 DAA (Figura 5.1), selecionou-se a dose de 360 g ha⁻¹ de glyphosate para validação dos dados experimentais por meio de um segundo experimento, cujos resultados estão em concordância com a discussão anterior (Tabela 5.5). Neste caso, a aplicação de 720 g ha⁻¹ de glyphosate proporcionou os maiores percentuais de controle, sem diferença para a aplicação de 360 g ha⁻¹ de glyphosate + U+SA.

Aos 21 e 28 DAA, resultados intermediários foram obtidos com a aplicação da menor dose de glyphosate em combinação com sulfato de amônio; enquanto a aplicação isolada de glyphosate (360 g ha⁻¹) ou em combinação com a uréia promoveram os controles menos satisfatórios. Com relação à massa fresca residual do capim-amargoso, observou-se diferenciação dos tratamentos, em que menos massa foi constatada nas parcelas que receberam aplicações da maior dose de glyphosate ou da menor dose acrescida de U+SA. Não foram observadas diferenças entre os tratamentos herbicidas para a variável massa seca (Tabela 5.5).

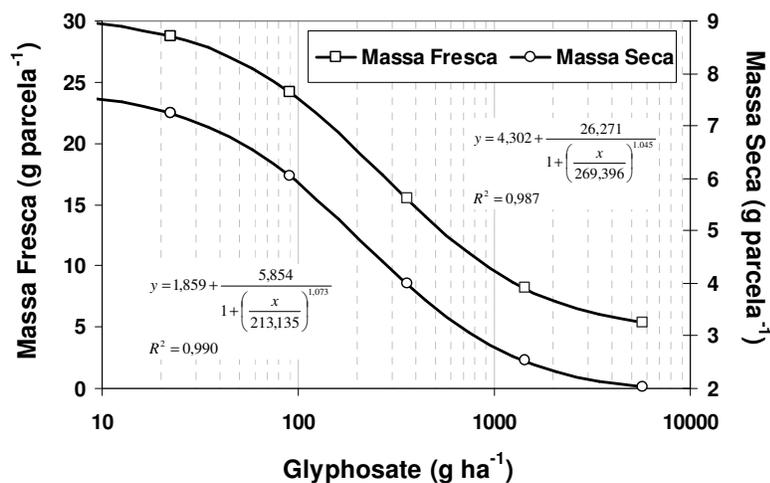


Figura 5.2 – Massa fresca e massa seca do capim-amargoso (*D. insularis*) quando submetido a diferentes doses do herbicida glyphosate, avaliadas aos 28 dias após aplicação. Piracicaba – SP, 2008

Tabela 5.5 – Controle percentual, massa fresca e massa seca médias do capim-amargoso (*D. insularis*), após aplicação de seis tratamentos herbicidas com adição de diferentes fontes nitrogenadas (FN), avaliados aos 14, 21 e 28 dias após aplicação (DAA)¹, em condição de casa-de-vegetação. Piracicaba – SP, 2008

Tratamentos	Doses		Controle Percentual			Massa	
	Herbicida	FN ⁴	dias após aplicação			g parcela ⁻¹	
	g ha ⁻¹	g L ⁻¹	14	21	28	Fresca	Seca
Testemunha sem aplicação	--	--	0,0 C	0,0 D	0,0 D	26,78 C	5,63 B
Glyphosate ²	360	--	30,0 B	23,3 C	21,7 C	14,41 B	2,92 A
Glyphosate + SA ³	360	15,0	33,7 B	47,5 B	48,8 B	11,70 B	2,61 A
Glyphosate + Uréia (U)	360	5,0	30,3 B	33,3 C	27,2 C	14,03 B	2,85 A
Glyphosate + U + SA	360	2,5 + 7,5	44,5 A	66,7 A	68,7 A	7,50 A	1,95 A
Glyphosate	720	--	42,8 A	65,0 A	75,8 A	8,84 A	2,22 A
	F _(trat)		53,47**	53,83**	47,92**	13,19**	14,19**
	CV (%)		17,79	21,86	25,66	33,50	28,53

¹Médias seguidas por letras iguais, nas colunas, não diferem entre si segundo teste de agrupamento de médias de Scott-Knott, a 5% de probabilidade; ²Roundup Original®, 360 g e.a. L⁻¹; ³Sulfato de Amônio; ⁴Fertilizantes nitrogenados; **Significativo a 1% de probabilidade pelo teste F.

A maior eficácia promovida pela aplicação de glyphosate com solução de U+SA, provavelmente, é consequência das características complementares que estes fertilizantes nitrogenados possuem quando em solução. Quanto ao sulfato de amônio, as principais atividades benéficas reconhecidas têm sido o antagonismo de cátions oriundos de água dura (NALEWAJA; MATYSIAK, 1993; THELEN; JACKSON; PENNER, 1995; SALAS-PINO, 1996; GAUVRIT, 2003); formação de sais glyphosate-amônio que possuem maior facilidade de absorção (NALEWAJA; MATYSIAK; FREEMAN, 1992; THELEN; JACKSON; PENNER, 1995); alteração na morfologia das gotas, atrasando ou prevenindo a cristalização do glyphosate na superfície foliar (MacISAAC; PAUL; DEVINE, 1991); além da acidificação do apoplasto foliar, que facilita a absorção celular de herbicidas ácido fracos (GRONWALD et al., 1993; RUITER; MEINEN, 1996; YOUNG et al., 2003).

O principal mecanismo de incremento de controle relatado para a uréia diz respeito à contribuição na penetração cuticular, devido à difusão facilitada desta molécula, e ao rompimento de ligações éster, éter e di-éter da cutina (YAMADA; WITTE; BUKOVAC, 1965; MALAVOLTA, 1980; DURIGAN, 1992; WITTE et al., 2002). Contudo, há evidências que a penetração da uréia ocorre com a molécula intacta (YAMADA; WITTE; BUKOVAC, 1965). No citoplasma das células, em presença de urease, a uréia é rapidamente submetida à conversão por hidrólise, que origina duas moléculas de amônio e consome íons hidrogênio (HINSVARK; WITTE; TUKEY, 1953; MALAVOLTA, 1980; CHEN; CHING, 1988). A hidrólise da uréia contribui para elevação do pH citoplasmático, resultando, inclusive, na potencial perda de nitrogênio na forma de amônia (NIELSEN; SCHJOERRING, 1998; WITTE et al., 2002).

Neste trabalho, a aplicação conjunta de glyphosate com U+SA resultou em maior controle do capim-amargoso, sugerindo atividade complementar dos fertilizantes nitrogenados. Para tanto, supõe-se que a uréia tenha contribuído para a melhor penetração foliar, enquanto o sulfato de amônio facilitou a absorção celular do herbicida. Contudo, em outros casos, tais alterações podem não ser observadas. Resultados satisfatórios desta mistura são esperados para as espécies daninhas em que há impedimento à penetração cuticular e absorção celular. Porém, para espécies em que a penetração cuticular não é impedimento, supõe-se que aplicações de glyphosate somente com sulfato de amônio sejam mais eficazes. Assim sendo, novos trabalhos devem ser desenvolvidos visando avaliar a eficácia da combinação de glyphosate com U+SA sobre outras espécies de plantas daninhas, em condição de campo.

5.4 Conclusões

A adoção da solução de sulfato de amônio + uréia como veículo de pulverização do herbicida glyphosate proporcionou maior controle do capim-amargoso (*Digitaria insularis*).

Referências

- BREMMER, J.M.; KEEENEY, D.R. Determination and isotope ratio analysis of different forms of nitrogen in soil. III. Exchangeable ammonium, nitrate and nitrite by steam-distillation methods. **Soil Science Society of America Proceedings**, Ann Arbor, v.30, n.5, p.577-582, 1966.
- CHEN, Y.; CHING, T.M. Induction of barley leaf urease. **Plant Physiology**, Rockville, v.86, n.3, p.941-945, 1988.
- CHRISTOFFOLETI, P.J. Curvas de dose-resposta de biótipos resistente e suscetível de *Bidens pilosa* L. aos herbicidas inibidores da ALS. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v.59, n.3, p.513-519, 2002.
- CHRISTOFFOLETI, P.J.; CARVALHO, S.J.P.; NICOLAI, M.; DIAS, A.C.R.; CARDINALI, V.C.B.; FRANCISCO, M.O. Condutividade elétrica e pH da calda de glyphosate utilizado nas pulverizações. In: CONGRESO DE LA ASOCIACIÓN LATINOAMERICANA DE MALEZAS, 18., Ouro Preto, 2008. **Resumos Expandidos...** Ouro Preto: SBCPD, 2008. 6p.
- CHRISTOFFOLETI, P.J.; LÓPEZ-OVEJERO, R.F. Definições e situação da resistência de plantas daninhas aos herbicidas no Brasil e no Mundo. In: CHRISTOFFOLETI, P.J. (Coord.) **Aspectos de Resistência de plantas daninhas a herbicidas**. 2. ed. Campinas: Associação Brasileira de Ação a resistência de Plantas aos Herbicidas (HRAC-BR), 2004. p.3-22.
- DAMIN, V. **Transformações do nitrogênio no sistema solo-planta após aplicação de herbicidas**. 2009. 130p. Tese (Doutorado em Agronomia) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2009.
- DONALD, W.W. Established foxtail barley, *Hordeum jubatum*, control with glyphosate plus ammonium sulfate. **Weed Technology**, Champaign, v.2, n.3, p.364-368, 1988.
- DURIGAN, J.C. Efeito de adjuvantes na calda e no estágio de desenvolvimento das plantas, no controle do capim-colônia (*Panicum maximum*) com glyphosate. **Planta Daninha**, Brasília, v.10, n.1/2, p.39-44, 1992.
- FRANSON, M.A.H. **Standard methods for the examination of water and wastewater**. 19th.ed. Washington: American Public Health Association, 1995. 1074p.
- FREIRE, M.F.; MONNERAT, P.H.; NOVAIS, R.F.; NEVES, J.C.L. Nutrição foliar: princípios e recomendações. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v.7, n.81, p.54-62, 1981.

- GAUVRIT, C. Glyphosate response to calcium, ethoxylated amine surfactant, and ammonium sulfate. **Weed Technology**, Lawrence, v.17, n.4, p.799-804, 2003.
- GEIGER, D.R.; FUCHS, M.A. Inhibitors of aromatic amino acid biosynthesis (glyphosate). In: BÖGER, P.; WAKABAYASHI, K.; HIRAI, K. (Ed.). **Herbicide classes in development**. Berlin: Springer-Verlag, 2002. p.59-85.
- GRONWALD, J.W.; JOURDAN, S.W.; WYSE, D.L.; SOMERS, D.A.; MAGNUSSON, M.U. Effect of ammonium sulfate on absorption of imazethapyr by quackgrass (*Elytrigia repens*) and maize (*Zea mays*) cell suspension cultures. **Weed Science**, Champaign, v.41, n.3, p.325-334, 1993.
- HISNVARK, O.N.; WITTEWER, S.H.; TUKEY, H.B. The metabolism of foliar-applied urea. I. Relative rates of $C^{14}O_2$ production by certain vegetable plants treated with labeled urea. **Plant Physiology**, Rockville, v.28, n.1, p.70-76, 1953.
- JORDAN, D.L.; YORK, A.C.; GRIFFIN, J.L.; CLAY, P.A.; VIDRINE, P.R.; REYNOLDS, D.B. Influence of application variables on efficacy of glyphosate. **Weed Technology**, Lawrence, v.11, n.2, p.354-362, 1997.
- MACHADO, A.F.L.; MEIRA, R.M.S.; FERREIRA, L.R.; FERREIRA, F.A.; TUFFI SANTOS, L.D.; FIALHO, C.M.T.; MACHADO, M.S. Caracterização anatômica de folha, colmo e rizoma de *Digitaria insularis*. **Planta Daninha**, Viçosa – MG, v.26, n.1, p.1-8, 2008.
- MacISAAC, S.A.; PAUL, R.N.; DEVINE, M.D. A scanning electron microscope study of glyphosate deposits in relation to foliar uptake. **Pesticide Science**, London, v.31, n.1, p.53-64, 1991.
- MALAVOLTA, E. **Elementos da nutrição mineral de plantas**. São Paulo: Agronômica Ceres, 1980. 252p.
- McCORMICK, R.W. Effects of CO_2 , N_2 , air and nitrogen salts on spray solution pH. **Weed Technology**, Champaign, v.4, n.4, p.910-912, 1990.
- MONQUERO, P.A.; CHRISTOFFOLETI, P.J.; OSUNA, M.D.; DE PRADO, R.A. Absorção, translocação e metabolismo do glyphosate por plantas tolerantes e suscetíveis a este herbicida. **Planta Daninha**, Viçosa – MG, v.22, n.3, p.445-451, 2004.
- NALEWAJA, J.D.; MATYSIAK, R. Optimizing adjuvants to overcome glyphosate antagonistic salts. **Weed Technology**, Champaign, v.7, n.2, p.337-342, 1993.
- NALEWAJA, J.D.; MATYSIAK, R. Salt antagonism of glyphosate. **Weed Science**, Champaign, v.39, n.4, p.622-628, 1991.
- NALEWAJA, J.D.; MATYSIAK, R.; FREEMAN, T.P. Spray droplet residual of glyphosate in various carriers. **Weed Science**, Champaign, v.40, n.4, p.576-589, 1992.
- NIELSEN, K.H.; SCHJOERRING, J.K. Regulation of apoplastic NH_4^+ concentration in leaves of oilseed rape. **Plant Physiology**, Rockville, v.118, n.4, p.1361-1368, 1998.

PRATT, D.; KELLS, J.J.; PENNER, D. Substitutes for ammonium sulfate as additives with glyphosate and glufosinate. **Weed Technology**, Lawrence, v.17, n.3, p.576-581, 2003.

RODRIGUES, B.N.; ALMEIDA, F.S. **Guia de herbicidas**. 5.ed. Londrina, 2005. 592p.

RUITER, H.D.; MEINEN, E. Adjuvant-increased glyphosate uptake by protoplasts isolated from quackgrass *Elytrigia repens* (L.) Nevski. **Weed Science**, Champaign, v.44, n.1, p.38-45, 1996.

SALAS-PINO, P.A.G. **Efeito de adjuvantes, volume de calda e qualidade da água na eficácia do herbicida glyphosate**. 1996. 79p. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1996.

SATCHIVI, N.M.; WAX, L.M.; STOLLER, E.W.; BRISKIN, D.P. Absorption and translocation of glyphosate isopropylamine and trimethylsulfonium salts in *Abutilon theophrasti* and *Setaria faberi*. **Weed Science**, Lawrence, v.48, n.6, p.675-679, 2000.

SCOTT, A.J.; KNOTT, M.A. Cluster analysis method for grouping means in the analysis of variance. **Biometrics**, Washington, v.30, n.2, p.507-512, 1974.

SEEFELDT, S.S.; JENSEN, S.E.; FUERST, E.P. Log-logistic analysis of herbicide dose-response relationship. **Weed Technology**, Champaign, v.9, n.2, p.218-227, 1995.

SILVA, J.F.; SILVA, J.F.; FERREIRA, L.R.; FERREIRA, F.A. Herbicidas: absorção, translocação, metabolismo, formulação e misturas. In: SILVA, A.A.; SILVA, J.F. (Ed.) **Tópicos em manejo de plantas daninhas**. Viçosa: Ed. UFV, 2007. p.149-188.

STREIBIG, J.C. Herbicide bioassay. **Weed Research**, Oxford – UK, v.28, n.6, p.479-484, 1988.

THELEN, K.D.; JACKSON, E.P.; PENNER, D. The basis for the hard-water antagonism of glyphosate activity. **Weed Science**, Champaign, v.43, n.4, p.541-548, 1995.

TIMOSSI, P.C.; DURIGAN, J.C.; LEITE, G.J. Eficácia de glyphosate em plantas de cobertura. **Planta Daninha**, Viçosa – MG, v.24, n.3, p.475-480, 2006.

WITTE, C.P.; TILLER, S.A.; TAYLOR, M.A.; DAVIES, H.V. Leaf urea metabolism in potato. Urease activity profile and patterns of recovery and distribution of ¹⁵N after foliar urea application in wild-type and urease-antisense transgenics. **Plant Physiology**, Rockville, v.128, n.3, p.1129-1136, 2002.

YAMADA, Y.; WITTWER, S.H.; BUKOVAC, M.J. Penetration of organic compounds through isolated cuticular membranes with special reference to C¹⁴ urea. **Plant Physiology**, Rockville, v.40, n.1, p.170-175, 1965.

YOUNG, B.G.; KNEPP, A.W.; WAX, L.M.; HART, S.E. Glyphosate translocation in common lambsquarters (*Chenopodium album*) and velvetleaf (*Abutilon theophrasti*) in response to ammonium sulfate. **Weed Science**, Lawrence, v.51, n.2, p.151-156, 2003.

6 PARTICIPAÇÃO DO NITROGÊNIO NA INDUÇÃO DE INJÚRIAS FOLIARES E NA EFICÁCIA DO HERBICIDA GLYPHOSATE

Resumo

Atualmente, os sistemas conservacionistas de manejo do solo são uma realidade agrícola em evidente expansão. Nestes sistemas, o uso de herbicidas é largamente difundido, de forma que tecnologias devem ser desenvolvidas visando a correta recomendação de doses, número de intervenções e redução na interferência dos herbicidas no manejo nutricional das lavouras. Assim sendo, três experimentos foram desenvolvidos com o objetivo de avaliar diferentes aspectos da participação do nitrogênio na indução de injúrias foliares e na eficácia do herbicida glyphosate, dois em casa-de-vegetação e um em campo. Constatou-se que a pulverização de caldas concentradas em até 20% de nitrogênio não dessecou adequadamente as espécies vegetais, provocando danos máximos de cerca de 30%. A utilização de solução de sulfato de amônio ou de uréia + sulfato de amônio como veículo de pulverização do glyphosate elevou o controle da corda-de-viola. As soluções nitrogenadas aceleraram a atividade do glyphosate para dessecação do capim-massambará, porém sem diferenças visíveis aos 28 dias após aplicação. A escolha da dose adequada de glyphosate para dessecação de *Brachiaria decumbens* foi fundamental para obtenção de elevado controle, sendo que a única alternativa que elevou a eficácia da menor dose do produto foi a fertilização prévia do solo com 150 kg ha⁻¹ de sulfato de amônio.

Palavras-chave: *Ipomoea triloba*; *Sorghum halepense*; Plantio direto; Dessecação

Nitrogen participation on induction of foliar damages and on glyphosate efficacy

Abstract

Currently, soil management conservationist systems are an agricultural reality in evident expansion. In these systems, herbicide application is fairly diffused, therefore new technologies must be developed aiming to provide correct recommendations of herbicide rate, number of interventions and reduction on herbicide interference on crop nutritional management. For that, three experiments were developed with the objective of evaluating different aspects of nitrogen participation on the induction of leaf injuries and on glyphosate efficacy, two at greenhouse and one at field conditions. It was identified that the application of nitrogen concentrated spray solutions, up to 20% of N, did not provide satisfactory desiccation of plant species, promoting maximum damages of about 30%. Adoption of ammonium sulfate or urea + ammonium sulfate solutions as spray vehicle for glyphosate application increased morningglory control. Nitrogen solutions accelerated glyphosate-desiccation of Johnsongrass, however with no visible differences at 28 days after application. The choice of adequate glyphosate rate for *Brachiaria decumbens* desiccation was fundamental for reaching high control, and the only alternative that enhanced the efficacy of glyphosate lower rate was the soil previous fertilization with 150 kg ha⁻¹ of ammonium sulfate.

Keywords: *Ipomoea triloba*; *Sorghum halepense*; No-tillage; Desiccation

6.1 Introdução

A interferência negativa das plantas daninhas em áreas agrícolas é um dos principais fatores bióticos com potencial para comprometer o rendimento das culturas, afetando inclusive a viabilidade econômica da atividade (PITELLI, 1985; ABDIN et al., 2000). Desta forma, tem-se a necessidade de supressão da comunidade infestante, que pode ser realizada por diferentes métodos de manejo. Inicialmente, o método mais comum de controle das plantas daninhas envolvia a adoção de capina manual e cultivo mecânico nas entrelinhas, com reconhecida eficiência (ABDIN et al., 2000; SEVERINO; CARVALHO; CHRISTOFFOLETI, 2006). Posteriormente, com o desenvolvimento dos herbicidas, o método químico tornou-se a medida de manejo adotada com maior frequência, devido à sua eficácia, conveniência e viabilidade de custos (ABDIN et al., 2000; JAKELAITIS et al., 2005).

Com intuito de promover a proteção do solo e do ambiente, tem-se observado maior preocupação do setor agrícola pela adoção de sistemas de cultivo denominados conservacionistas, tais como a semeadura direta (plantio direto), a adubação verde e o cultivo mínimo (OLIVEIRA et al., 2001; CHRISTOFFOLETI et al., 2007; CONSTANTIN et al., 2008). Nestes sistemas, herbicidas de manejo são aplicados antes da semeadura da cultura de interesse, para eliminação da cobertura vegetal e formação da palhada. Os herbicidas mais utilizados nesta prática são os dessecantes sem efeito residual, como o glyphosate, o paraquat e o diquat (CARVALHO; CAVAZZANA, 2000; KOZLOWSKI, 2001; TIMOSSI; DURIGAN; LEITE, 2006).

Em sistemas conservacionistas, o adequado controle químico das plantas de cobertura e da comunidade daninha contribui sobremaneira para o sucesso no estabelecimento das culturas agrícolas. Assim, a escolha da dose do herbicida tem particular importância e pode variar em razão da comunidade vegetal e do estágio fenológico das plantas (TIMOSSI; DURIGAN; LEITE, 2006). Reconhecidamente, em diferentes espécies, a eficácia de um herbicida é função da absorção, da translocação, do metabolismo e da sensibilidade vegetal à determinada molécula e/ou aos seus metabólitos (SILVA et al., 2007).

Considerando-se a importância do glyphosate nos sistemas de plantio direto e/ou cultivo mínimo e para a agricultura mundial, estudos têm sido conduzidos com o objetivo de avaliar a contribuição de diferentes variáveis em sua eficácia, podendo-se destacar: dose (JORDAN et al., 1997), volume de calda (SALAS-PINO, 1996; RAMSDALE; MESSERSMITH; NALEWAJA,

2003), qualidade da água utilizada como veículo de pulverização (THELEN; JACKSON, PENNER, 1995; RAMOS; DURIGAN, 1998; GAUVRIT, 2003), estágio fenológico das plantas daninhas (DURIGAN, 1992; JORDAN et al., 1997) e atividade dos adjuvantes (O’SULLIVAN; O’DONOVAN, HAMMAN, 1981; PRATT; KELLS; PENNER, 2003; NURSE et al., 2008).

Mais recentemente, além da possibilidade de reduzir doses e número de intervenções com herbicidas, questões relacionadas com a interferência dos herbicidas dessecantes na ciclagem e nas perdas de nitrogênio do ambiente agrícola têm sido consideradas no manejo da cobertura vegetal no sistema de plantio direto (ARGENTA et al., 2001; DAMIN et al., 2008; DAMIN, 2009). A redução na disponibilidade de nitrogênio pode ter importantes implicações práticas, inclusive em futuras etapas do controle químico, uma vez que há evidências que plantas com maior disponibilidade deste nutriente são controladas mais facilmente (DICKSON et al., 1990; CATHCART; CHANDLER; SWANTON, 2004).

Para minimizar os efeitos negativos da adoção de dessecantes, alternativas têm sido apresentadas, dentre elas o uso de caldas concentradas em nitrogênio para dessecação de plantas daninhas e da cobertura vegetal. Tal alternativa não inclui a aplicação de herbicidas e o nitrogênio empregado para a dessecação pode ser aproveitado pela cultura de interesse. Sabidamente, elevadas concentrações foliares de amônio podem provocar danos às estruturas das plantas (DEVINE; DUKE; FEDTKE, 1993; HOPKINS, 1995), contudo não foram encontrados trabalhos científicos que justifiquem a aplicação de nitrogênio com esta finalidade. Desta forma, este trabalho foi desenvolvido com o objetivo de avaliar diferentes aspectos da participação do nitrogênio na indução de injúrias foliares e na eficácia do herbicida glyphosate.

6.2 Material e Métodos

Três experimentos foram desenvolvidos no município de Piracicaba – SP (22° 42’ 30” Latitude Sul, 47° 38’ 00” Longitude Oeste e 546 m de altitude), sendo dois em casa-de-vegetação e um em campo. Para a condição de casa-de-vegetação, utilizou-se estrutura do Departamento de Produção Vegetal, da Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” (Esalq/USP). Neste ambiente, os experimentos foram instalados em blocos ao acaso, em que cada parcela constou de

um vaso plástico com capacidade para 0,5 L, preenchido com mistura de substrato comercial e vermiculita, na proporção de 2:1, devidamente fertilizado com 200 mg de N, P₂O₅ e K₂O.

O primeiro experimento em casa-de-vegetação foi desenvolvido entre maio e agosto de 2008, com o objetivo de comparar o efeito tóxico de caldas concentradas em nitrogênio com os herbicidas comumente recomendados para a condição de dessecação. Para tanto, a aveia preta (*Avena strigosa* Schreb) foi utilizada como bioindicador, distribuindo-se três sementes por parcela. Após emergência, as parcelas foram desbastadas, mantendo-se densidade uniforme de duas plantas por vaso. Por ocasião da aplicação dos tratamentos, constatou-se estágio fenológico de 3-4 folhas e 2-3 perfilhos. Neste experimento, foram utilizados sete tratamentos com cinco repetições. Os tratamentos aplicados foram: glyphosate a 1440 g ha⁻¹ (Roundup Original[®]), paraquat a 400 g ha⁻¹ (Gramoxone 200[®]), glufosinato de amônio a 200 g ha⁻¹ (Finale[®]), caldas concentradas com 10, 15 e 20% de nitrogênio, além da testemunha sem aplicação.

O segundo experimento em casa-de-vegetação foi desenvolvido entre outubro e dezembro de 2008, com o objetivo de avaliar a eficácia do herbicida glyphosate quando pulverizado com solução de fertilizantes nitrogenados. Os tratamentos foram consequência da combinação fatorial entre duas espécies de plantas daninhas e seis níveis do fator herbicida, com seis repetições. As plantas daninhas estudadas foram: corda-de-viola (*Ipomoea triloba* L.) e capim-massambará (*Sorghum halepense* (L.) Pers.). Os tratamentos herbicidas utilizados estão detalhadamente descritos na Tabela 6.1, sendo fundamentados na pulverização de glyphosate (Roundup Original[®]) utilizando os seguintes veículos: água, solução de sulfato de amônio – SA (15 g L⁻¹), solução de uréia – U (5 g L⁻¹) ou solução de U+SA (2,5 + 7,5 g L⁻¹). Com relação à corda-de-viola, foram mantidas quatro plantas por vaso e a aplicação foi realizada quando se constatou estágio fenológico de cinco folhas definitivas. No caso do capim-massambará, mantiveram-se três plântulas por vaso e a aplicação foi realizada sobre plantas com quatro folhas e sem perfilhos.

O terceiro experimento foi desenvolvido em área do Departamento de Produção Vegetal da Esalq/USP, entre março e abril de 2009, com o objetivo de avaliar as diferentes formas de participação do nitrogênio na indução de danos foliares e eficácia do glyphosate. O trabalho foi instalado em área de aterro com cerca de 2,5 m de altura, relevo plano, solo de textura média-argilosa, pH 4,5, com 2,1% de matéria orgânica e 39% de saturação por bases. Constatou-se densa infestação de capim-braquiária (*Brachiaria decumbens* Stapf), considerada como espécie dominante (96%), cuja densidade foi estimada em 180 perfilhos m⁻².

Tabela 6.1 – Tratamentos herbicidas aplicados no segundo experimento. Piracicaba – SP, 2008

N°	Herbicida		Fertilizante Nitrogenado		
	Condição	Dose (g ha ⁻¹)	Tipo	Dose ²	
				(g L ⁻¹)	(kg ha ⁻¹)
1	Testemunha sem aplicação		Ausente	0,0	0,0
2	Glyphosate ¹	360	Ausente	0,0	0,0
3	Glyphosate	360	Sulfato de Amônio	15,0	3,0
4	Glyphosate	360	Uréia	5,0	1,0
5	Glyphosate	360	Uréia + Sulfato de Amônio	2,5 + 7,5	0,5 + 1,5
6	Glyphosate	720	Ausente	0,0	0,0

¹Roundup Original®, 360 g e.a. L⁻¹; ²Volume de calda proporcional a 200 L ha⁻¹.

Em campo, também foi utilizado delineamento de blocos ao acaso, com seis tratamentos e seis repetições. As parcelas contaram com as dimensões de 3 x 4 m e área útil de 7,5 m². Os tratamentos estão detalhadamente descritos na Tabela 6.2, incluindo aplicações de glyphosate isolado, glyphosate após fertilização da área com sulfato de amônio distribuído a lanço sobre o solo, glyphosate combinado com adição de sulfato de amônio à calda de pulverização ou uso de somente calda concentrada com 20% de nitrogênio. No momento da aplicação dos tratamentos, registrou-se estágio fenológico de florescimento/frutificação para o capim-braquiária.

Em todos os trabalhos, para obtenção das caldas sem herbicida e com elevada concentração de nitrogênio, foi utilizado fertilizante fluido comercial Uran (32-00-00), que é resultado da mistura de nitrato de amônio (44,3%) com uréia (35,4%) e contém 14% de NH₂⁻, 9% de NH₄⁺ e 9% de NO₃⁻. Os demais fertilizantes nitrogenados adicionados à calda de glyphosate foram provenientes de fontes convencionais utilizadas nas adubações agrícolas, com concentrações de 21 e 45% de N no sulfato de amônio e uréia, respectivamente.

Para os experimentos desenvolvidos em casa-de-vegetação, as aplicações foram realizadas em câmara de pulverização pressurizada por ar comprimido, equipada com uma única ponta do tipo jato plano, modelo XR 80.02, a 0,50 m da superfície do alvo, calibrada para volume de calda proporcional a 200 L ha⁻¹. Após a pulverização, os vasos permaneceram sem irrigação por 24 horas, visando assegurar a completa absorção dos herbicidas. Em todos os experimentos, a água utilizada no preparo das caldas e soluções foi oriunda de tratamento comum para distribuição pública, realizado na própria Esalq/USP, cuja análise está apresentada na Tabela 6.3.

Tabela 6.2 – Tratamentos herbicidas aplicados no terceiro experimento. Piracicaba – SP, 2009

Nº	Herbicida		Fertilizante Nitrogenado		
	Condição	Dose (g ha ⁻¹)	Condição	Dose ² (g L ⁻¹) (kg ha ⁻¹)	
1	Testemunha sem aplicação		Ausente	0,0	0,0
2	Glyphosate ¹	1080	Ausente	0,0	0,0
3	Glyphosate	1080	Fertilização prévia do solo com Sulfato de Amônio	--	150,0
4	Glyphosate	1080	Sulfato de Amônio dissolvido na calda	15,0	3,0
5	Ausente	--	Calda concentrada com 20% de nitrogênio	200,0	40,0
6	Glyphosate	1800	Ausente	0,0	0,0

¹Roundup Original®, 360 g e.a. L⁻¹; ²Volume de calda proporcional a 200 L ha⁻¹.

Tabela 6.3 – Análise da água utilizada nas aplicações, submetida a tratamento usual para distribuição pública, realizado na Esalq/USP. Piracicaba – SP, 2008

Parâmetro	Unidade	Resultado	Parâmetro	Unidade	Resultado
Cloreto (Cl ⁻)	mg L ⁻¹	43,6	Zinco (Zn)	mg L ⁻¹	0,04
Nitrato (N-NO ₃ ⁻)	mg L ⁻¹	4,0	Alcalinidade (2CO ₃ ²⁻ + HCO ₃ ⁻)	mg L ⁻¹	49,6
Sulfato (SO ₄ ²⁻)	mg L ⁻¹	33,0	Nitrogênio Amoniacal (N – NH ₃)	mg L ⁻¹	0,2
Fósforo (P)	mg L ⁻¹	0,02	Cor Aparente	PtCo	0,0
Sódio (Na ⁺)	mg L ⁻¹	66,0	Turbidez	FTU	0,0
Potássio (K ⁺)	mg L ⁻¹	5,6	Sedimentos em suspensão	mg L ⁻¹	4,3
Cálcio (Ca ²⁺)	mg L ⁻¹	31,8	Condutividade elétrica (CE)	mS cm ⁻¹	0,33
Magnésio (Mg ²⁺)	mg L ⁻¹	2,8	pH	--	7,5
Ferro (Fe)	mg L ⁻¹	0,0	Gás Carbônico (CO ₂)	mg L ⁻¹	2,5
Cobre (Cu)	mg L ⁻¹	0,0	Acidez (CaCO ₃)	mg L ⁻¹	5,0
Manganês (Mn)	mg L ⁻¹	0,01	Dureza Total* (CaCO ₃)	mg L ⁻¹	91,0

Análises realizadas pelo Laboratório de Ecologia Aplicada, Departamento de Ciências Florestais, Esalq/USP.

*Dureza Total calculada com base no equivalente de Carbonato de Cálcio (CaCO₃) segundo Franson (1995): 2,497 [Ca, mg L⁻¹] + 4,118 [Mg, mg L⁻¹].

Para as aplicações em campo, utilizou-se pulverizador costal pressurizado por CO₂, acoplado a uma barra de pulverização com largura total de 2 m, com quatro pontas do tipo jato plano, modelo XR 110.02, espaçadas em 0,50 m, também calibrado para volume de calda proporcional a 200 L ha⁻¹. Neste experimento, a aplicação foi realizada dia 16/03/2009, das 8:20 às 8:50 h. No momento da pulverização, os parâmetros meteorológicos médios foram: umidade relativa de 97%, temperatura do ar de 22°C, ausência de nuvens e ventos de 1,4 km h⁻¹. A primeira chuva foi registrada em período superior a 72 horas após aplicação. As precipitações e a

temperatura média diária do período em que o experimento esteve em campo estão apresentadas na Figura 6.1. Em razão da proposta experimental, as parcelas do Tratamento 3 (Tabela 6.2) foram fertilizadas com sulfato de amônio seis dias antes da aplicação do herbicida (10/03/2009), distribuindo-se o fertilizante a lanço em dose proporcional a 150 kg ha^{-1} .

As variáveis avaliadas foram: controle percentual aos 14, 21 e 28 dias após a aplicação (DAA) e massa seca residual aos 28 DAA. Apenas no primeiro experimento desenvolvido em casa-de-vegetação, as avaliações de controle foram realizadas até os 42 DAA, quando então se mensurou a massa seca. Para as avaliações de controle, utilizou-se escala visual com variação entre 0 e 100%, em que zero representou a ausência de sintomas e 100 a morte de todas as plantas. Em casa-de-vegetação, para a mensuração da massa seca, cortaram-se as plantas de cada parcela rente à superfície do substrato e todo o material foi secado em estufa ($70 \text{ }^\circ\text{C}$) por 72 horas. Para o segundo experimento em casa-de-vegetação, visando a comparação das plantas daninhas, a massa seca residual foi transformada em escala percentual, considerando-se 100% a massa das parcelas sem aplicação de cada bloco. Em campo, um quadro de ferro de $0,5 \times 0,5 \text{ m}$ foi lançado uma vez em área representativa de cada parcela. Todo o material vegetal presente na área do quadrado foi cortado rente ao solo e também se procedeu a secagem em estufa.

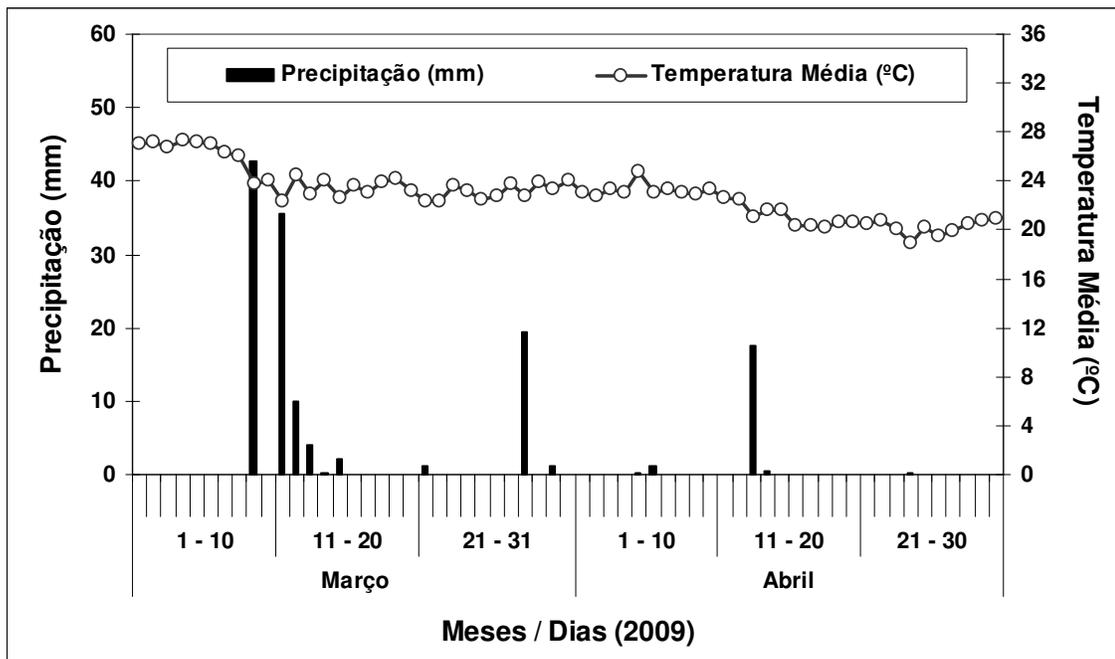


Figura 6.1 – Temperatura média ($^\circ\text{C}$) e precipitações (mm) diárias observadas durante o período de desenvolvimento dos experimentos em campo. Piracicaba – SP, 2009

Todos os dados foram submetidos à aplicação do teste F na análise da variância. Quando foram identificados efeitos significativos, utilizou-se teste de agrupamento de médias de Scott-Knott (SCOTT; KNOTT, 1974) para análise dos níveis de tratamentos. No segundo experimento em casa-de-vegetação, aplicou-se teste t para comparação das espécies. Todos os testes foram adotados com 5% de significância.

6.3 Resultados e Discussão

O controle percentual da aveia preta, bem como a massa seca residual observada após aplicação dos tratamentos experimentais estão apresentados na Tabela 6.3. Aos 14 DAA, os melhores resultados de dessecação foram obtidos com aplicação de paraquat ou glufosinato de amônio, alcançando controles superiores a 99%. O glyphosate, por sua vez, apresentou ação inicial mais lenta, igualando-se aos demais herbicidas aos 21 DAA, com morte de todas as plantas aos 42 DAA. Na última avaliação de controle, aos 42 DAA, observou-se início de rebrote da aveia preta no tratamento com paraquat, porém que não foram suficientes para diferenciá-lo dos demais tratamentos (Tabela 6.3).

Tabela 6.3 – Controle percentual de aveia preta (*Avena strigosa*) avaliado aos 14, 21, 28 e 42 dias após aplicação (DAA) dos tratamentos e massa seca avaliada aos 42 DAA. Piracicaba, 2008

Tratamento (g ha ⁻¹)	Controle Percentual* (DAA)				Massa Seca* (g parcela ⁻¹)
	14	21	28	42	
Testemunha sem aplicação	0,0 E	0,0 D	0,0 C	0,0 C	9,1 C
Glyphosate a 1440	80,0 B	95,4 A	99,0 A	100,0 A	1,8 A
Paraquat ¹ a 400	99,2 A	99,4 A	99,2 A	97,6 A	0,8 A
Glufosinato de Amônio ² a 400	99,4 A	100,0 A	100,0 A	100,0 A	1,1 A
Nitrogênio a 10%	6,0 D	12,4 C	27,0 B	27,0 B	6,6 B
Nitrogênio a 15%	6,0 D	16,0 C	30,0 B	26,0 B	7,8 B
Nitrogênio a 20%	20,0 C	21,0 B	30,0 B	26,0 B	6,5 B
F _(trat)	594,53**	425,75**	163,28**	119,02**	34,12**
CV (%)	9,55	10,22	13,60	16,57	27,42

¹Adição de Agral a 0,5%; ²Adição de Hoefix a 0,5%; *Médias seguidas por letras iguais, na coluna, não diferem entre si segundo teste de Scott-Knott, com 5% de significância; **Teste F significativo a 1%.

As diferenças de tempo para dessecação da aveia preta estão em concordância com o mecanismo de ação dos herbicidas. Notadamente, os herbicidas paraquat e glufosinato de amônio têm ação rápida nas plantas, sendo também conhecidos como produtos de contato. O paraquat atua no “fotossistema I”, fase da fotossíntese na qual há intenso transporte de elétrons. Ao interagir com os íons de paraquat os elétrons formam radicais livres que, em presença de oxigênio, produzem superóxidos. Estas moléculas altamente reativas promovem a desintegração das membranas celulares, devido à interação com os ácidos graxos insaturados destas, resultando em rápida morte dos tecidos (NICOLAI; CHRISTOFFOLETI, 2008). O herbicida glufosinato de amônio, por sua vez, atua inibindo a glutamina-sintetase, enzima responsável pela conversão de glutamato em glutamina. A interrupção deste processo gera rápido acúmulo celular de NH_4^+ , que é tóxico às plantas (DAMIN et al., 2008).

Por outro lado, o glyphosate inibe a 5-enolpiruvilshiquimato-3-fosfato sintase (EPSPs), que é a responsável pela reação de conversão do shiquimato-3-fosfato e fosfoenolpiruvato em EPSP e fosfato inorgânico, na rota do ácido shiquímico (GEIGER; FUCHS, 2002). A inibição da EPSPs resulta no acúmulo de ácido shiquímico nas plantas e na redução da biossíntese de aminoácidos aromáticos, como triptofano, tirosina e fenilalanina. A morte das plantas submetidas ao glyphosate é lenta, podendo se estender até os 21 DAA.

Com relação à pulverização de caldas concentradas em nitrogênio sobre a aveia preta, os maiores danos foliares foram observados aos 28 DAA, da ordem de 30% e sem diferença entre as soluções. Nestes tratamentos, foram observadas necroses foliares e redução no crescimento, porém tais danos não foram suficientes para promover a morte das plantas (Tabela 6.3). Ao término do experimento, a mensuração da massa seca de aveia preta validou as análises visuais de controle, em que maiores reduções foram observadas para aplicação dos herbicidas. A testemunha sem aplicação acumulou mais massa, enquanto que as plantas submetidas às caldas concentradas em nitrogênio mantiveram-se em condição intermediária (Tabela 6.3).

Uma das hipóteses que explicam os danos foliares causados pela pulverização de caldas concentradas em nitrogênio está relacionada com a elevada concentração de amônio nas células. Segundo Malavolta (1980) e Silva e Stutte (1981), a intoxicação por amônio nos tecidos foliares ocorre quando o íon se acumula em velocidade superior aos processos de metabolização. Ainda, além das fontes amoniacaís, as caldas concentradas em nitrogênio que utilizam Uran para seu preparo também possuem moléculas de nitrato. Nas plantas, o nitrato não participa de compostos

orgânicos e, para ser útil aos vegetais, é reduzido a amônio, pela ação das enzimas nitrato redutase e nitrito redutase (HOPKINS, 1995; SODEK, 2004).

O acúmulo de amônio promove o bloqueio da fotossíntese, interfere na síntese de ATP durante a série de transporte eletrônico nas mitocôndrias e cloroplastos e provoca, ainda, a ruptura da estrutura dos cloroplastos. A energia de excitação da clorofila pode ser então convertida à redução do oxigênio molecular, nitrito, enxofre e fósforo e, ainda, na formação de clorofila 'triplet' (DEVINE; DUKE; FEDTKE, 1993; HOPKINS, 1995). Por outro lado, devido a sua natureza tóxica, o amônio é rapidamente assimilado em compostos orgânicos (amidas e aminoácidos), o que reduz as chances de intoxicação do vegetal, uma vez que a eficiência deste processo é muito superior à taxa de redução do NO_3^- (NIELSEN; SCHJOERRING, 1998; SODEK, 2004; DAMIN et al., 2008). Assim sendo, neste trabalho, supõe-se que as plantas de aveia preta foram capazes de metabolizar ou isolar rapidamente o excesso de amônio, minimizando os danos foliares decorrentes desta aplicação (Tabela 6.3).

Fertilizantes nitrogenados também têm sido utilizados visando elevar a eficácia de herbicidas, sobretudo por meio de sua dissolução na calda de pulverização (THELEN; JACKSON; PENNER, 1995; YOUNG et al., 2003; NURSE et al., 2008). No segundo experimento, para todas as avaliações, a adição de sulfato de amônio à calda do glyphosate elevou o controle da corda-de-viola, igualando a eficácia da menor dose do herbicida (360 g ha^{-1}) à da maior dose aplicada (720 g ha^{-1}). Nas avaliações de controle realizadas aos 14 e 21 DAA e para massa seca da parte aérea, a aplicação de glyphosate com solução de U+SA também resultou em igualdade de eficácia à aplicação isolada da maior dose (Tabelas 6.4 e 6.5).

Em geral, nenhum tratamento herbicida controlou satisfatoriamente a corda-de-viola, com níveis sempre inferiores a 80%, que é a porcentagem mínima para que um tratamento herbicida seja considerado adequado (FRANS et al., 1986). Nas mesmas avaliações, o capim-massambará foi a espécie mais suscetível ao produto (Tabela 6.4), exceto na análise de massa seca, em que a igualdade das espécies foi obtida com a pulverização de glyphosate a 720 g ha^{-1} ou com a menor dose (360 g ha^{-1}) utilizando solução de SA e de U+SA como veículo de pulverização (Tabela 6.5). Em concordância com o Capítulo 2, a pulverização de glyphosate com solução de fontes nitrogenadas apenas acelerou a morte do capim-massambará, sem constatação de diferença na avaliação de controle e massa seca realizada aos 28 DAA (Tabela 6.5).

Tabela 6.4 – Controle percentual de corda-de-viola (IPOTR) e capim-massambará (SORHA), avaliado aos 14 e 21 dias após aplicação (DAA) dos tratamentos. Piracicaba – SP, 2008

Tratamentos	Doses		Controle Percentual*			
	Herbicida g ha ⁻¹	FN ² g L ⁻¹	14 DAA		21 DAA	
			IPOTR	SORHA	IPOTR	SORHA
Testemunha sem aplicação	--	--	0,0 C a	0,0 C a	0,0 C a	0,0 C a
Glyphosate	360	--	36,7 B b	55,0 B a	38,3 B b	83,2 B a
Glyphosate + SA ¹	360	15,0	49,2 A b	79,8 A a	55,0 A b	90,5 B a
Glyphosate + Uréia (U)	360	5,0	41,8 B b	89,8 A a	30,8 B b	97,2 A a
Glyphosate + U + SA	360	2,5 + 7,5	54,2 A b	84,0 A a	51,7 A b	97,7 A a
Glyphosate	720	--	52,0 A b	84,2 A a	56,2 A b	97,0 A a
			F _(Trat x Exp)		20,25**	
			DMS _{Espécies}		9,69	
			CV (%)		14,41	

¹ SA - Sulfato de Amônio; ² FN – Fontes Nitrogenadas, *Em cada avaliação, médias seguidas por letras iguais, maiúsculas nas colunas e minúsculas nas linhas, não diferem entre si segundo teste de agrupamento de médias de Scott-Knott (coluna) ou teste ‘t’ (linha), com 5% de significância; ** Teste F significativo a 1%.

Tabela 6.5 – Massa fresca e massa seca percentual de corda-de-viola (IPOTR) e capim-massambará (SORHA), avaliada aos 28 dias após aplicação (DAA) dos tratamentos. Piracicaba – SP, 2008

Tratamentos	Doses		Controle Percentual		Massa Seca ³	
	Herbicida g ha ⁻¹	FN ² g L ⁻¹	28 DAA		(%)	
			IPOTR	SORHA	IPOTR	SORHA
Testemunha sem aplicação	--	--	0,0 D a	0,0 B a	100,0 B a	100,0 B a
Glyphosate	360	--	27,5 C b	98,5 A a	103,3 B b	47,7 A a
Glyphosate + SA ¹	360	15,0	61,7 A b	98,8 A a	57,2 A a	51,0 A a
Glyphosate + Uréia (U)	360	5,0	25,8 C b	99,2 A a	119,7 B b	42,7 A a
Glyphosate + U + SA	360	2,5 + 7,5	46,7 B b	99,5 A a	62,9 A a	36,6 A a
Glyphosate	720	--	55,8 A b	98,7 A a	72,9 A a	48,1 A a
			F _(Trat x Exp)		3,12*	
			DMS _{Espécies}		--	
			CV (%)		19,52	

¹ SA - Sulfato de Amônio; ² FN – Fontes Nitrogenadas; ³ Dados originais apresentados, porém previamente transformados por $\sqrt{x+0,5}$; Para cada variável, médias seguidas por letras iguais, maiúsculas nas colunas e minúsculas nas linhas, não diferem entre si segundo teste de agrupamento de médias de Scott-Knott (coluna) ou teste ‘t’ (linha), com 5% de significância; *Teste F significativo a 5%; ** Teste F significativo a 1%.

Conforme extensamente discutido em Capítulos anteriores, quando da utilização de água com baixa concentração de sais (Tabela 6.3), as principais atividades benéficas decorrentes da adição de sulfato de amônio à calda são: a formação de sais glyphosate-amônio que possuem maior facilidade de absorção (NALEWAJA; MATYSIAK; FREEMAN, 1992; THELEN; JACKSON; PENNER, 1995); alteração na morfologia das gotas, atrasando ou prevenindo a cristalização do glyphosate na superfície foliar (MacISAAC; PAUL; DEVINE, 1991); e a acidificação do apoplasto foliar, que facilita a absorção celular de herbicidas ácido fracos (GRONWALD et al., 1993; RUITER; MEINEN, 1996; YOUNG et al., 2003). Por outro lado, o principal mecanismo relatado para a uréia diz respeito à contribuição na penetração cuticular, devido ao rompimento de ligações éster, éter e di-éter da cutina e à difusão facilitada desta molécula (YAMADA; WITTE; BUKOVAC, 1965; DURIGAN, 1992; WITTE et al., 2002).

Em campo, aos 14 e 21 DAA, o tratamento que promoveu o melhor controle do capim-braquiária foi a aplicação de 1800 g ha⁻¹ de glyphosate. Por outro lado, em concordância com os dados de aveia preta, a aplicação de caldas concentradas em nitrogênio não alcançou adequada dessecação das plantas, com danos máximos da ordem de 16%. Após pulverização deste tratamento, foram observados pontos necróticos nos limbos, derriça de sementes, bem como dessecação da ponta de algumas folhas. Contudo, ao término do experimento, foram identificadas diferenças visuais na coloração das plantas, em que as tratadas estiveram mais verdes que a testemunha sem aplicação (Tabela 6.6).

Os tratamentos fundamentados na menor dose de glyphosate não foram diferentes entre si aos 14 DAA, ou seja, não foram observados efeitos das fontes nitrogenadas nesta avaliação (Tabela 6.6). Aos 21 DAA, no tratamento que envolveu fertilização prévia do solo com sulfato de amônio, observou-se maior controle da espécie vegetal quando comparado aos demais que utilizaram a mesma dose e, aos 28 DAA, tal tratamento teve controle igual àquele obtido com a aplicação isolada da maior dose de glyphosate (Tabela 6.6).

Neste sentido, Cathcart; Chandler e Swanton (2004) observaram que a disponibilidade de nitrogênio às plantas interferiu no controle de algumas espécies daninhas (*Setaria viridis* e *Amaranthus retroflexus*), em que plantas com maior disponibilidade de nitrogênio foram controladas mais facilmente pelos herbicidas. Também Dickson et al. (1990) reportaram que plantas de *Avena sativa* foram mais tolerantes ao fluazifop e ao glyphosate quando se desenvolveram em ambiente com menor disponibilidade de nitrogênio.

Tabela 6.6 – Controle percentual de capim-braquiária (*Braquiaria decumbens*) aos 14, 21 e 28 dias após aplicação (DAA) dos tratamentos e massa seca residual aos 28 DAA. Piracicaba – SP, 2009

Tratamentos	Controle Percentual*			Massa Seca* (g m ⁻²)
	14 DAA	21 DAA	28 DAA	
Testemunha sem Aplicação	0,0 D	0,0 E	0,0 D	696,9 B
Glyphosate a 1080 g ha ⁻¹	74,6 B	85,3 C	87,0 B	619,5 A
Fertilização Prévia ¹ do Solo com Sulfato de Amônio + Glyphosate a 1080 g ha ⁻¹	75,4 B	88,8 B	91,9 A	578,7 A
Glyphosate a 1080 g ha ⁻¹ + Sulfato de Amônio em Calda (15 g L ⁻¹)	68,5 B	80,0 C	84,8 B	492,7 A
Solução aquosa com 20% de Nitrogênio	13,5 C	13,7 D	16,5 C	712,5 B
Glyphosate a 1800 g ha ⁻¹	86,0 A	95,1 A	94,9 A	578,2 A
F _(trat)	189,49**	493,21**	988,47**	4,35**
CV (%)	12,26	7,67	5,30	15,76

¹ Fertilização do solo a lanço com sulfato de amônio (150 kg ha⁻¹) realizada seis dias antes da pulverização do glyphosate; * Médias seguidas por letras iguais nas colunas não diferem entre si segundo teste de agrupamento de médias de Scott-Knott, com 5% de significância; ** Teste F significativo a 1%.

Os mecanismos responsáveis pela maior eficácia de herbicidas aplicados sobre plantas com maior disponibilidade de nitrogênio ainda não estão bem esclarecidos, contudo supõe-se que a maior atividade metabólica presente nestas plantas contribua para a melhor ação dos produtos. No caso do glyphosate, é sabido que a translocação representa um processo de grande importância para sua eficácia (WANAMARTA; PENNER, 1989). O movimento do glyphosate no floema das plantas segue a mesma rota dos produtos da fotossíntese, ocorrendo das folhas fotossinteticamente ativas (fontes) em direção às partes do vegetal que utilizam esses açúcares (drenos) (CASELEY; COUPLAND, 1985; MONQUERO et al., 2004). Assim sendo, condições que favoreçam a fotossíntese também auxiliam a translocação do glyphosate (DELLA-CIOPPA et al., 1986) e, conseqüentemente, contribuem para a maior eficácia do produto.

Ainda, vale ressaltar que a aplicação de sulfato de amônio via solo foi realizada apenas seis dias antes da pulverização do glyphosate, e que as condições meteorológicas foram favoráveis à dissolução do produto, com ocorrência de chuvas nos dias que sucederam a fertilização (Figura 6.1). Neste sentido, considerando-se o melhor controle obtido por este

tratamento, quando comparado ao tratamento com somente glyphosate na mesma dose (Tabela 6.6), supõe-se que houve tempo suficiente à absorção e transporte do nitrogênio pelas plantas. Neste caso, outra hipótese viável para maior eficácia do glyphosate neste tratamento diz respeito à acidificação do apoplasto foliar após metabolização celular do amônio, o que facilita a absorção do glyphosate, de forma similar ao que ocorre quando da aplicação deste fertilizante via calda herbicida (GRONWALD et al., 1993; RUITER; MEINEN, 1996).

Na análise da massa seca do capim-braquiária, todos os tratamentos que envolveram aplicações de glyphosate foram iguais entre si, diferenciando-se da testemunha sem aplicação e das plantas tratadas com calda concentrada em nitrogênio. Ainda, para nenhuma variável, a aplicação de glyphosate utilizando solução de sulfato de amônio como veículo resultou em controles superiores à aplicação isolada da mesma dose do produto (Tabela 6.6). Tais observações indicam diferenças na resposta de espécies de plantas daninhas à pulverização de glyphosate com fertilizantes nitrogenados ou, também, sugerem necessidade de maior concentração de sulfato de amônio na calda para aplicação em capim-braquiária, uma vez que sua administração via solo foi eficiente para maior controle. Ainda, em todos os experimentos, não houve evidências de que a maior eficácia do herbicida glyphosate observada após adição de fertilizantes nitrogenados à calda ou ao solo esteja relacionada com a toxicidade direta do íon amônio.

6.4 Conclusões

A pulverização de caldas concentradas em até 20% de nitrogênio não dessecou adequadamente as espécies vegetais, provocando danos máximos de cerca de 30%. A utilização de solução de sulfato de amônio ou de uréia + sulfato de amônio como veículo de pulverização de glyphosate elevou o controle da corda-de-viola. As soluções nitrogenadas aceleraram a atividade do glyphosate para dessecação do capim-massaral, sem diferenças visíveis aos 28 DAA. A escolha da dose adequada de glyphosate para dessecação do capim-braquiária foi fundamental para obtenção de elevado controle, sendo que a única alternativa que elevou a eficácia da menor dose do produto foi a fertilização prévia do solo com sulfato de amônio.

Referências

- ABDIN, O.A.; ZHOU, X.M.; CLOUTIER, D.; COULMAN, D.C.; FARIS, M.A.; SMITH, D.L. Cover crops and interrow tillage for weed control in short season maize (*Zea mays*). **European Journal of Agronomy**, Córdoba, v.12, n.2, p.93-102, 2000.
- ARGENTA, G.; SILVA, P.R.F.; FLECK, N.G.; BORTOLINI, C.G.; NEVES, R.; AGOSTINETTO, D. Efeitos do manejo mecânico e químico da aveia-preta no milho em sucessão e no controle do capim-papuã. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.36, n.6, p.851-860, 2001.
- CARVALHO, F.T.; CAVAZZANA, M.A. Eficácia de herbicidas no manejo de plantas daninhas para o plantio direto de soja. **Revista Brasileira de Herbicidas**, Brasília, v.1, n.2, p.167-171, 2000.
- CASELEY, J.C.; COUPLAND, D. Environmental and plant factors affecting glyphosate uptake movement and acidity. In: GROSSBARD, E.; ATKINSON, D.A. (Ed.). **The herbicide glyphosate**. London: Butterworths, 1985. p.92-123.
- CATHCART, R.J.; CHANDLER, K.; SWANTON, C.J. Fertilizer nitrogen rate and the response of weeds to herbicides. **Weed Science**, Lawrence, v.52, n.2, p.291-296, 2004.
- CHRISTOFFOLETI, P.J.; CARVALHO, S.J.P.; LÓPEZ-OVEJERO, R.F.; NICOLAI, M.; HIDALGO, E.; SILVA, J.E. Conservation of natural resources in Brazilian agriculture: implications on weed biology and management. **Crop Protection**, Guildford, v.26, n.3, p.383-389, 2007.
- CONSTANTIN, J.; MACHADO, M.H.; CAVALIERI, S.D.; OLIVEIRA JR., R.S.; RIOS, F.A.; ROSO, A.C. Influência do glyphosate na dessecação de capim-braquiária e sobre o desenvolvimento inicial da cultura do milho. **Planta Daninha**, Viçosa – MG, v.26, n.3, p.627-636, 2008.
- DAMIN, V. **Transformações do nitrogênio no sistema solo-planta após aplicação de herbicidas**. 2009. 130p. Tese (Doutorado em Agronomia) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2009.
- DAMIN, V.; FRANCO, H.C.J.; MORAES, M.F.; FRANCO, A.; TRIVELIN, P.C.O. Nitrogen loss in *Brachiaria decumbens* after application of glyphosate or glufosinate-ammonium. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v.65, n.4, p.402-407, 2008.
- DELLA-CIOPPA, G.; BAUER, S.C.; KLEIN, B.K.; SHAH, D.M.; FRALEY, R.T.; KISHORE, G. Translocation of the precursor of 5-enolpyruvylshikimate-3-phosphate synthase into chloroplasts of higher plants in vitro. **PNAS**, Washington, v.83, n.18, p.6973-6877, 1986.

DEVINE, M.; DUKE, S.O.; FEDTKE, C. **Physiology of herbicide action**. New Jersey: PTR Prencice Hall, 1993. 441p.

DICKSON, R.L.; ANDREWS, M.; FIELD, R.J.; DICKSON, E.L. Effect of water stress, nitrogen, and gibberelic acid on fluazifol and glyphosate activity on oats (*Avena sativa*). **Weed Science**, Champaign, v.38, n.1, p.54-61, 1990.

DURIGAN, J.C. Efeito de adjuvantes na calda e no estágio de desenvolvimento das plantas, no controle do capim-colonião (*Panicum maximum*) com glyphosate. **Planta Daninha**, Brasília, v.10, n.1/2, p.39-44, 1992.

FRANS, R.E.; TALBERT, R.; MARX, D.; CROWLEY, H. Experimental design and techniques for measuring and analyzing plant responses to weed control practices. In: CAMPER, N.D. (Ed.) **Research methods in weed science**. 3rded. Champaign: Southern Weed Science Society, 1986. p.29-46.

FRANSON, M.A.H. **Standard methods for the examination of water and wastewater**. 19th.ed. Washington: American Public Health Association, 1995. 1074p.

GAUVRIT, C. Glyphosate response to calcium, ethoxylated amine surfactant, and ammonium sulfate. **Weed Technology**, Lawrence, v.17, n.4, p.799-804, 2003.

GEIGER, D.R.; FUCHS, M.A. Inhibitors of aromatic amino acid biosynthesis (glyphosate). In: BÖGER, P.; WAKABAYASHI, K.; HIRAI, K. (Ed.) **Herbicide classes in development**. Berlin: Springer-Verlag, 2002. p.59-85.

GRONWALD, J.W.; JOURDAN, S.W.; WYSE, D.L.; SOMERS, D.A.; MAGNUSSON, M.U. Effect of ammonium sulfate on absorption of imazethapyr by quackgrass (*Elytrigia repens*) and maize (*Zea mays*) cell suspension cultures. **Weed Science**, Champaign, v.41, n.3, p.325-334, 1993.

HOPKINS, W.G. **Introduction to plant physiology**. New York: John Wiley, 1995. 464p.

JAKELAITIS, A.; SILVA, A.A.; FERREIRA, L.R.; SILVA, A.F.; PEREIRA, J.L.; VIANA, R.G. Efeitos de herbicidas no consórcio de milho com *Brachiaria brizantha*. **Planta Daninha**, Viçosa – MG, v.23, n.1, p.69-78, 2005.

JORDAN, D.L.; YORK, A.C.; GRIFFIN, J.L.; CLAY, P.A.; VIDRINE, P.R.; REYNOLDS, D.B. Influence of application variables on efficacy of glyphosate. **Weed Technology**, Lawrence, v.11, n.2, p.354-362, 1997.

KOSLOWSKI, L.A. Aplicação seqüencial de herbicidas de manejo na implantação da cultura do feijoeiro comum em sistema de plantio direto. **Revista Brasileira de Herbicidas**, Brasília, v.2, n.1, p.49-56, 2001.

- MacISAAC, S.A.; PAUL, R.N.; DEVINE, M.D. A scanning electron microscope study of glyphosate deposits in relation to foliar uptake. **Pesticide Science**, London, v.31, n.1, p.53-64, 1991.
- MALAVOLTA, E. **Elementos da nutrição mineral de plantas**. São Paulo: Agronômica Ceres, 1980. 252p.
- MONQUERO, P.A.; CHRISTOFFOLETI, P.J.; OSUNA, M.D.; DE PRADO, R.A. Absorção, translocação e metabolismo do glyphosate por plantas tolerantes e suscetíveis a este herbicida. **Planta Daninha**, Viçosa – MG, v.22, n.3, p.445-451, 2004.
- NALEWAJA, J.D.; MATYSIAK, R.; FREEMAN, T.P. Spray droplet residual of glyphosate in various carriers. **Weed Science**, Champaign, v.40, n.4, p.576-589, 1992.
- NICOLAI, M.; CHRISTOFFOLETI, P.J. Casos potenciais de resistência de plantas daninhas a herbicidas. In: CHRISTOFFOLETI, P.J. (Coord.) **Aspectos de resistência de plantas daninhas a herbicidas**. Piracicaba: HRAC-BR, 2008. p.97-108.
- NIELSEN, K.H.; SCHJOERRING, J.K. Regulation of apoplastic NH_4^+ concentration in leaves of oilseed rape. **Plant Physiology**, Rockville, v.118, n.4, p.1361-1368, 1998.
- NURSE, R.E.; HAMILL, A.S.; KELLS, J.J.; SIKKEMA, P.H. Annual weed control may be improved when AMS is added to below-label glyphosate doses in glyphosate-tolerant maize (*Zea mays* L.). **Crop Protection**, Guildford, v.27, n.3-5, p.452-458, 2008.
- OLIVEIRA, M.F.; ALVARENGA, R.C.; OLIVEIRA, A.C.; CRUZ, J.C. Efeito da palha e da mistura atrazine e metolachlor no controle de plantas daninhas na cultura do milho, em sistema de plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.36, n.1, p.37-41, 2001.
- O'SULLIVAN, P.A.; O'DONOVAN, J.T.; HAMMAN, W.M. Influence of non-ionic surfactants, ammonium sulphate, water quality and spray volume on the phytotoxicity of glyphosate. **Canadian Journal of Plant Science**, Ottawa, v.61, n.2, p.391-400, 1981.
- PITELLI, R.A. Interferências de plantas daninhas em culturas agrícolas. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v.11, n.1, p.16-27, 1985
- PRATT, D.; KELLS, J.J.; PENNER, D. Substitutes for ammonium sulfate as additives with glyphosate and glufosinate. **Weed Technology**, Lawrence, v.17, n.3, p.576-581, 2003.
- RAMOS, H.H.; DURIGAN, J.C. Efeitos da qualidade da água de pulverização sobre a eficácia de herbicidas aplicados em pós-emergência. **Bragantia**, Campinas, v.57, n.2, p.313-324, 1998.
- RAMSDALE, B.K.; MESSERSMITH, C.G.; NALEWAJA, J.D. Spray volume, formulation, ammonium sulfate, and nozzle effects on glyphosate efficacy. **Weed Technology**, Lawrence, v.17, n.3, p.589-598, 2003.

RUITER, H.D.; MEINEN, E. Adjuvant-increased glyphosate uptake by protoplasts isolated from quackgrass *Elytrigia repens* (L.) Nevski. **Weed Science**, Champaign, v.44, n.1, p.38-45, 1996.

SALAS-PINO, P.A.G. **Efeito de adjuvantes, volume de calda e qualidade da água na eficácia do herbicida glyphosate**. 1996. 79p. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1996.

SCOTT, A.J.; KNOTT, M.A. Cluster analysis method for grouping means in the analysis of variance. **Biometrics**, Washington, v.30, n.2, p.507-512, 1974.

SEVERINO, F.J.; CARVALHO, S.J.P.; CHRISTOFFOLETI, P.J. Interferências mútuas entre a cultura do milho, espécies forrageiras e plantas daninhas em um sistema de consórcio. III – Implicações sobre as plantas daninhas. **Planta Daninha**, Viçosa – MG, v.24, n.1, p.53-60, 2006.

SILVA, J.F.; SILVA, J.F.; FERREIRA, L.R.; FERREIRA, F.A. Herbicidas: absorção, translocação, metabolismo, formulação e misturas. In: SILVA, A.A.; SILVA, J.F. (Ed.). **Tópicos em manejo de plantas daninhas**. Viçosa - MG: Ed. UFV, 2007. p.149-188.

SILVA, P.R.F.; STUTTE, C.A. Nitrogen volatilization from rice leaves. II. Effects of source of applied nitrogen in nutrient culture solution. **Crop Science**, Madison, v.21, n.6, p.913-916, 1981.

SODEK, L. Metabolismo do nitrogênio. In: KERBAUY, G.B. (Ed.) **Fisiologia vegetal**. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2004. p.94-113.

THELEN, K.D.; JACKSON, E.P.; PENNER, D. The basis for the hard-water antagonism of glyphosate activity. **Weed Science**, Champaign, v.43, n.4, p.541-548, 1995.

TIMOSSI, P.C.; DURIGAN, J.C.; LEITE, G.J. Eficácia de glyphosate em plantas de cobertura. **Planta Daninha**, Viçosa – MG, v.24, n.3, p.475-480, 2006.

WANAMARTA, G.D.; PENNER, D. Foliar absorption of herbicides. **Weed Science**, Champaign, v.4, n.2, p.215-231, 1989.

WITTE, C.P.; TILLER, S.A.; TAYLOR, M.A.; DAVIES, H.V. Leaf urea metabolism in potato. Urease activity profile and patterns of recovery and distribution of ¹⁵N after foliar urea application in wild-type and urease-antisense transgenics. **Plant Physiology**, Rockville, v.128, n.3, p.1129-1136, 2002.

YAMADA, Y.; WITTWER, S.H.; BUKOVAC, M.J. Penetration of organic compounds through isolated cuticular membranes with special reference to C¹⁴ urea. **Plant Physiology**, Rockville, v.40, n.1, p.170-175, 1965.

YOUNG, B.G.; KNEPP, A.W.; WAX, L.M.; HART, S.E. Glyphosate translocation in common lambsquarters (*Chenopodium album*) and velvetleaf (*Abutilon theophrasti*) in response to ammonium sulfate. **Weed Science**, Lawrence, v.51, n.2, p.151-156, 2003.

7 DESSECAÇÃO DE PLANTAS DANINHAS UTILIZANDO SOLUÇÃO DE URÉIA + SULFATO DE AMÔNIO COMO VEÍCULO PARA PULVERIZAÇÃO DE GLYPHOSATE

Resumo

Três experimentos foram desenvolvidos em campo com o objetivo de avaliar a eficácia do herbicida glyphosate para dessecação de diferentes espécies de plantas daninhas utilizando solução de fertilizantes nitrogenados como veículos de pulverização. Na primeira área, identificou-se comunidade mista de plantas daninhas, enquanto *Brachiaria decumbens* e *Sorghum halepense* foram as espécies dominantes da segunda e terceira áreas, respectivamente. Foram avaliados seis tratamentos, sendo estes: aplicação de glyphosate (540 g ha⁻¹) utilizando água, solução de sulfato de amônio – SA (15 g L⁻¹), solução de uréia – U (5 g L⁻¹) ou solução de U+SA (2,5 + 7,5 g L⁻¹) como veículos de pulverização; glyphosate a 1080 g ha⁻¹ aplicado com água; além de testemunha sem aplicação. O uso de solução de fertilizantes nitrogenados como veículo para pulverização do glyphosate não elevou o controle de *B. decumbens*. A menor dose do herbicida glyphosate teve maior eficácia sobre a comunidade mista de plantas daninhas e sobre *S. halepense* devido ao uso de solução de SA (15 g L⁻¹) ou de U+SA (2,5 + 7,5 g L⁻¹) como veículo de pulverização. Os resultados positivos obtidos pela aplicação de glyphosate com fertilizantes nitrogenados também foram observados para a redução de massa fresca da comunidade mista e para massa fresca e seca de *S. halepense*.

Palavras-chave: Eficácia; Manejo; *Sorghum halepense*; *Brachiaria decumbens*; Fertilizantes

Weed desiccation using solution of urea + ammonium sulfate as vehicle for glyphosate spraying

Abstract

Three experiments were developed in field conditions with the objective of evaluating glyphosate efficacy for desiccation of different weed species using solution of nitrogen fertilizers as spraying vehicles. In the first area, mixed community of weed species was identified, while *Brachiaria decumbens* and *Sorghum halepense* were the dominant species at the second and third area, respectively. Six treatments were evaluated, as follows: glyphosate (540 g ha⁻¹) application using water, solution of ammonium sulfate – AMS (15 g L⁻¹), solution of urea – U (5 g L⁻¹) or solution of U+AMS (2,5 + 7,5 g L⁻¹) as spraying vehicles; glyphosate at 1080 g ha⁻¹ sprayed with water; and checks without application. The use of nitrogen fertilizer solutions as glyphosate spraying vehicles did not increase the control of *B. decumbens*. The lower rate of glyphosate had higher efficacy on the mixed weed community and on *S. halepense* due to the use of AMS (15 g L⁻¹) or U+AMS (2,5 + 7,5 g L⁻¹) solutions as spraying vehicles. The positive results reached after glyphosate application with nitrogen fertilizers were also observed on the reduction of the mixed weed community fresh mass and for *S. halepense* fresh and dry mass.

Keywords: Efficacy; Management; *Sorghum halepense*; *Brachiaria decumbens*; Fertilizers

7.1 Introdução

Nos agroecossistemas, as plantas daninhas são um dos principais fatores bióticos que interferem negativamente nas culturas. Os efeitos negativos se manifestam sobre a quantidade e a qualidade do produto colhido, consequência da competição pelos recursos de crescimento oferecidos pelo ambiente, da alelopatia ou por serem hospedeiras de pragas e doenças (CARVALHO, 2006). Lorenzi (2006) estima que, no Brasil, as perdas ocasionadas às culturas agrícolas pela interferência das plantas daninhas sejam da ordem de 20 a 30%.

Atualmente, o principal método de controle de plantas daninhas é o químico, por meio da aplicação de herbicidas em pré ou pós-emergência das plantas daninhas e/ou das culturas. Neste sentido, o advento das culturas geneticamente modificadas para tolerância a herbicidas (transgênicas) e os sistemas de produção do tipo conservacionistas (semeadura direta) contribuíram para a crescente adoção do glyphosate (YOUNG et al., 2003; CHRISTOFFOLETI et al., 2008). O custo relativamente baixo, a alta eficácia sobre diferentes espécies, a baixa toxicidade ao homem e a facilidade de aplicação são alguns dos motivos que tornaram este herbicida o mais utilizado no controle de plantas daninhas no Brasil e no mundo (GIOLO et al., 2005; DIAS, 2008).

Trata-se de um herbicida não-seletivo, de ação sistêmica, usado no controle de plantas daninhas anuais e perenes e na dessecação de culturas de cobertura (RODRIGUES; ALMEIDA, 2005; TIMOSSO; DURIGAN; LEITE, 2006). A molécula inibe a EPSPs (enol piruvil shiquimato fosfato sintase), enzima que participa da rota de síntese dos aminoácidos aromáticos fenilalanina, tirosina e triptofano (COLE, 1985). Sua absorção foliar é um processo bifásico, que envolve rápida penetração inicial pela cutícula, seguida de absorção simplástica lenta, dependente de fatores como a idade da planta, ambiente, adjuvantes e concentração do herbicida na calda (MONQUERO et al., 2004).

Visando facilitar a penetração foliar do herbicida, bem como a absorção celular, diversas substâncias têm sido adicionadas à calda de pulverização, com destaque para a uréia e o sulfato de amônio. Nesta condição, o principal mecanismo de incremento de controle relatado para a uréia diz respeito à contribuição na penetração cuticular, devido ao rompimento de ligações éster, éter e di-éter da cutina e à difusão facilitada desta molécula (YAMADA; WITTE; BUKOVAC, 1965; MALAVOLTA, 1980; DURIGAN, 1992; WITTE et al., 2002).

Comumente, a maior eficácia do herbicida glyphosate em presença do sulfato de amônio é atribuída à atividade do sulfato como antagonista de cátions presentes na água, sobretudo Ca^{2+} e Mg^{2+} (NALEWAJA; MATYSIAK, 1991; SALAS-PINO, 1996; GAUVRIT, 2003). Também há relatos sobre a formação de sais glyphosate-amônio que possuem maior facilidade de absorção (NALEWAJA; MATYSIAK; FREEMAN, 1992; THELEN; JACKSON; PENNER, 1995); além da acidificação do apoplasto foliar, que facilita a absorção celular de herbicidas ácido fracos (GRONWALD et al., 1993; RUITER; MEINEN, 1996; YOUNG et al., 2003). Ainda, MacIsaac et al. (1991) comentam que a adição de sulfato de amônio à calda promove alteração na morfologia das gotas, atrasando ou prevenindo a cristalização do glyphosate na superfície foliar.

Em resumo, a uréia pode contribuir para a penetração cuticular do glyphosate, enquanto o sulfato de amônio é condicionador da água, além de promover a acidificação do apoplasto. Assim sendo, há indícios de efeito complementar destes fertilizantes nitrogenados (Capítulo 5 e 6), contudo não foram encontrados trabalhos que avaliaram em campo sua adição concomitante à calda herbicida. Neste sentido, este trabalho foi desenvolvido em campo com o objetivo de avaliar a eficácia do herbicida glyphosate para dessecação de diferentes espécies de plantas daninhas utilizando solução de sulfato de amônio (SA), uréia (U) e U+SA como veículos de pulverização.

7.2 Material e Métodos

Todo o trabalho foi desenvolvido no município de Piracicaba – SP – Brasil (22° 42' 30" Latitude Sul, 47° 38' 00" Longitude Oeste e 546 m de altitude), no período compreendido entre Janeiro e Março de 2009. Foram instalados três experimentos semelhantes em campo, em áreas distintas quanto à infestação de plantas daninhas, todas pertencentes ao Departamento de Produção Vegetal da Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” (Esalq/USP).

Em todos os experimentos, o delineamento experimental utilizado foi o de blocos ao acaso com seis tratamentos e seis repetições. Nas três áreas foram aplicados os mesmos tratamentos herbicidas, que estão detalhadamente descritos na Tabela 7.1; fundamentados na aplicação de glyphosate (Roundup Original®), em dose de 540 g ha⁻¹, utilizando os seguintes veículos de pulverização: água, solução de sulfato de amônio – SA (15 g L⁻¹), solução de uréia –

U (5 g L⁻¹) ou solução de U+SA (2,5 + 7,5 g L⁻¹); glyphosate a 1080 g ha⁻¹ aplicado com água; além de testemunha sem aplicação. Os fertilizantes nitrogenados utilizados foram provenientes de fontes convencionalmente utilizadas nas adubações agrícolas, com concentrações de 21 e 45% de nitrogênio no sulfato de amônio e uréia, respectivamente.

O primeiro experimento foi instalado em área cujo solo foi classificado como Nitossolo Vermelho eutrófico (EMBRAPA, 2006) de textura argilosa, pH 5,4, com 2,5% de matéria orgânica e 69% de saturação por bases. Constatou-se intensa infestação por plantas daninhas na área (média de 45 plantas m⁻²), com presença das seguintes espécies, todas em florescimento: 60% de apaga-fogo (*Alternanthera tenella* Colla), 15% de losna-branca (*Parthenium hysterophorus* L.), 10% de caruru-de-mancha (*Amaranthus viridis* L.), 10% de corda-de-viola (*Ipomoea nil* (L.) Roth) e 5% de outras espécies. As parcelas foram delimitadas em 2,5 x 3,0 m, considerando-se 6 m² de área útil.

O segundo experimento foi desenvolvido em área de aterro com cerca de 2,5 m de altura, relevo plano, solo de textura média-argilosa, pH 4,5, com 2,1% de matéria orgânica e 39% de saturação por bases. Constatou-se densa infestação de capim-braquiária (*Brachiaria decumbens* Stapf), considerada como espécie dominante (96%), cuja densidade foi estimada em 180 perfilhos m⁻². As parcelas foram delimitadas em 3 x 4 m, considerando-se 7,5 m² de área útil. No momento da aplicação dos tratamentos, registrou-se estágio fenológico de florescimento-frutificação para o capim-braquiária.

Tabela 7.1 – Tratamentos herbicidas aplicados em campo. Piracicaba – SP, 2009

Nº	Herbicida		Fertilizante Nitrogenado		
	Condição	Dose (g ha ⁻¹)	Tipo	Dose ²	
				(g L ⁻¹)	(kg ha ⁻¹)
1	Testemunha sem aplicação		Ausente	0,0	0,0
2	Glyphosate ¹	540	Ausente	0,0	0,0
3	Glyphosate	540	Sulfato de Amônio	15,0	4,5
4	Glyphosate	540	Uréia	5,0	1,5
5	Glyphosate	540	Uréia + Sulfato de Amônio	2,5 + 7,5	0,75 + 2,25
6	Glyphosate	1080	Ausente	0,0	0,0

¹Roundup Original®, 360 g e.a. L⁻¹; ²Volume de calda proporcional a 300 L ha⁻¹.

O terceiro experimento foi desenvolvido em área cujo solo também foi classificado como Nitossolo Vermelho eutrófico (EMBRAPA, 2006) de textura argilosa, relevo com suave declive, pH 5,4, com 3,2% de matéria orgânica e 75% de saturação por bases. Constatou-se densa infestação de capim-massambará (*Sorghum halepense* (L.) Pers.), considerada como espécie dominante (94%), cuja densidade foi estimada em 90 perfilhos m⁻². As parcelas foram delimitadas em 3 x 4 m, considerando-se 7,5 m² de área útil. No momento da aplicação dos tratamentos, registrou-se estágio fenológico de pleno perfilhamento / pré-florescimento para o capim-massambará.

Em todas as aplicações, utilizou-se pulverizador costal pressurizado por CO₂, acoplado a uma barra de pulverização com 2 m de largura, com quatro pontas do tipo jato plano, modelo XR 110.02, espaçadas em 0,50 m, calibrado para volume de calda proporcional a 300 L ha⁻¹. Neste caso, maior volume de calda foi adotado visando potencializar os efeitos oriundos da utilização de soluções de fertilizantes nitrogenados como veículo de pulverização, uma vez que a eficácia do glyphosate tende a ser reduzida nestas condições (O’SULLIVAN; O’DONOVAN; HAMMAN, 1981; SALAS-PINO, 1996; RAMSDALE; MESSERSMITH; NALEWAJA, 2003).

As datas, horários e condições meteorológicas registradas nos três momentos de aplicação estão descritas na Tabela 7.2. Ainda, dados de precipitação e temperatura média registrados durante o período de desenvolvimento dos experimentos em campo estão apresentados na Figura 7.1. Em todos os casos, a primeira chuva foi registrada em período superior a 48 horas após aplicação. A água utilizada nas aplicações passou por tratamento comum para distribuição pública, realizado na própria Esalq/USP, cuja análise está apresentada na Tabela 7.3.

Tabela 7.2 – Dados meteorológicos registrados para o momento da pulverização de herbicidas nas três áreas utilizadas. Piracicaba – SP, 2009

Local	Plantas Daninhas	Data 2009	Horário	Vento (km h ⁻¹)	UR ¹ (%)	T ² (°C)	Céu
Área 1	Comunidade Mista	7 / Jan	10:40 – 11:00 h	2,4	78,0	25,6	Sem nuvens
Área 2	<i>Brachiaria decumbens</i>	20 / Fev	08:55 – 09:25 h	1,8	88,2	24,8	Sem nuvens
Área 3	<i>Sorghum halepense</i>	3 / Mar	09:35 – 10:15 h	1,6	91,5	27,5	50% de nuvens

¹ UR – Umidade relativa; ² T – temperatura média.

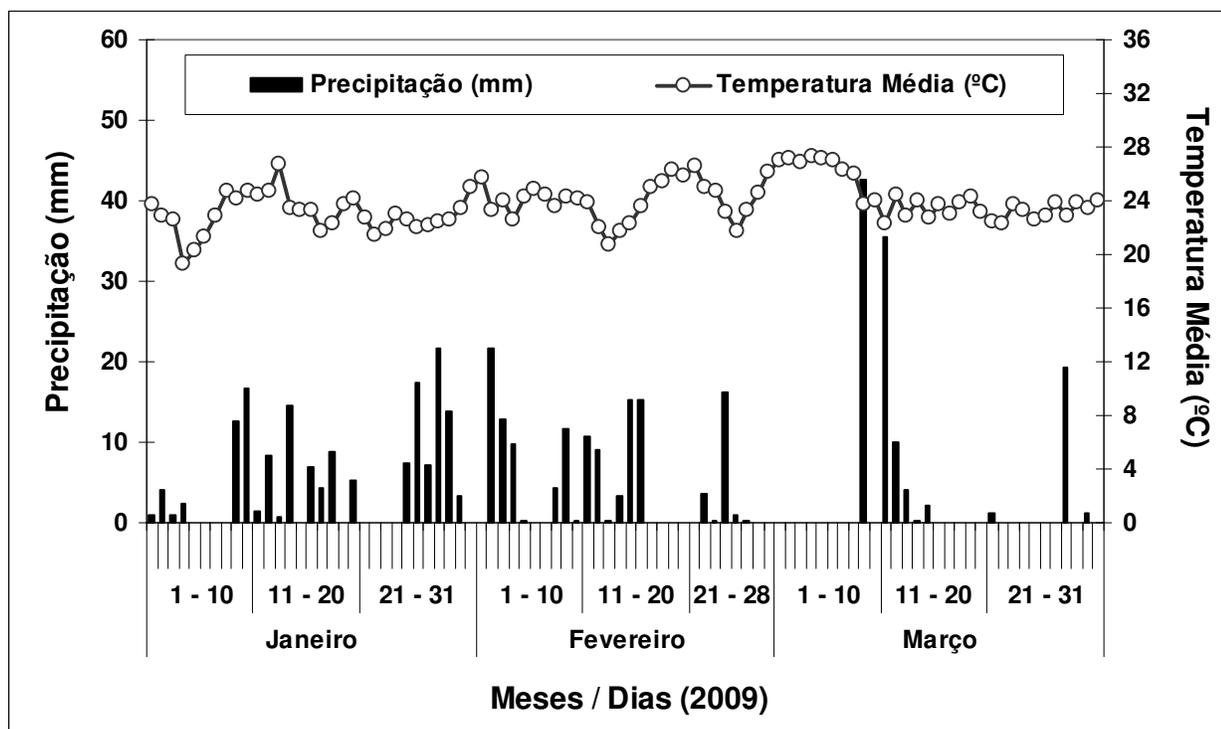


Figura 7.1 – Temperatura média (°C) e precipitações (mm) diárias observadas durante o período de desenvolvimento dos experimentos em campo. Piracicaba – SP, 2009

Tabela 7.3 – Resultados analíticos da água utilizada nas aplicações, previamente submetida a tratamento usual para distribuição pública, realizado na Esalq/USP. Piracicaba – SP, 2009

Parâmetro	Unidade	Resultado	Parâmetro	Unidade	Resultado
Cloreto (Cl ⁻)	mg L ⁻¹	43,6	Zinco (Zn)	mg L ⁻¹	0,04
Nitrato (N-NO ₃ ⁻)	mg L ⁻¹	4,0	Alcalinidade (2CO ₃ ²⁻ + HCO ₃ ⁻)	mg L ⁻¹	49,6
Sulfato (SO ₄ ²⁻)	mg L ⁻¹	33,0	Nitrogênio Amoniacal (N – NH ₃)	mg L ⁻¹	0,2
Fósforo (P)	mg L ⁻¹	0,02	Cor Aparente	PtCo	0,0
Sódio (Na ⁺)	mg L ⁻¹	66,0	Turbidez	FTU	0,0
Potássio (K ⁺)	mg L ⁻¹	5,6	Sedimentos em suspensão	mg L ⁻¹	4,3
Cálcio (Ca ²⁺)	mg L ⁻¹	31,8	Condutividade elétrica (CE)	mS cm ⁻¹	0,33
Magnésio (Mg ²⁺)	mg L ⁻¹	2,8	pH	--	7,5
Ferro (Fe)	mg L ⁻¹	0,0	Gás Carbônico (CO ₂)	mg L ⁻¹	2,5
Cobre (Cu)	mg L ⁻¹	0,0	Acidez (CaCO ₃)	mg L ⁻¹	5,0
Manganês (Mn)	mg L ⁻¹	0,01	Dureza Total* (CaCO ₃)	mg L ⁻¹	91,0

Análises realizadas pelo Laboratório de Ecologia Aplicada, Departamento de Ciências Florestais, Esalq/USP.
 *Dureza Total calculada com base no equivalente de Carbonato de Cálcio (CaCO₃) segundo Franson (1995): 2,497 [Ca, mg L⁻¹] + 4,118 [Mg, mg L⁻¹].

As variáveis avaliadas foram: controle percentual aos 14, 21 e 28 dias após a aplicação (DAA) e massa fresca e seca residual aos 28 DAA. Para as avaliações de controle, utilizou-se escala visual com variação entre zero e 100%, em que zero representou a ausência de sintomas e 100 a morte de todas as plantas. Para massa fresca e seca, em campo, um gabarito de ferro de 0,5 x 0,5 m foi lançado uma vez em área representativa de cada parcela. Todo o material vegetal presente na área do quadrado foi cortado rente à superfície do solo e secado em estufa (70 °C) por 72h. Posteriormente, os dados de massa foram convertidos para gramas por metro quadrado.

Os dados obtidos em campo foram submetidos à análise por grupo de experimentos, com aplicação do teste F na análise da variância. Quando os efeitos dos tratamentos foram significativos, aplicou-se teste de Scott-Knott para agrupamentos das médias (SCOTT; KNOTT, 1974), com 5% de significância.

7.3 Resultados e Discussão

Na análise por grupos de experimentos, é pressuposto que a variância dos erros experimentais dos diferentes experimentos seja homogênea (STORCK et al., 2006). Para avaliar a homocedasticidade dos experimentos, utilizou-se teste de F máximo, que indicou diferenças nos quadrados médios dos resíduos, inviabilizando a análise conjunta das áreas. Neste sentido, cada experimento foi analisado individualmente e os resultados de controle percentual e massa residual das plantas daninhas estão apresentados nas Tabelas 7.4 e 7.5, respectivamente.

Com relação ao controle percentual das diferentes espécies de plantas daninhas, observou-se constância de resultados nas diferentes avaliações (Tabela 7.4). Quando se estudou a comunidade mista (Área 1), todos os tratamentos herbicidas proporcionaram controles superiores a 80% nas três datas de avaliação. Não foi observado incremento de controle para aplicação de glyphosate com solução de uréia (U), que teve eficácia igual à menor dose de glyphosate (540 g ha⁻¹) aplicada com água. Mesmo utilizando-se de água com baixa concentração de sais (Tabela 7.3), foi constatado efeito benéfico do uso de solução de sulfato de amônio (SA) para pulverização de glyphosate, bem como da solução de U+SA (2,5 + 7,5 g L⁻¹). Estas soluções elevaram o controle obtido pela menor dose do herbicida (540 g ha⁻¹), igualando-o àquele obtido pela maior dose (1080 g ha⁻¹).

Tabela 7.4 – Controle percentual de plantas daninhas após aplicação de glyphosate utilizando solução de fertilizantes nitrogenados (uréia – U e sulfato de amônio – SA) como veículos de pulverização. Piracicaba – SP, 2009

Tratamentos	Doses		Plantas Daninhas ¹		
	Herbicida g ha ⁻¹	FN ² g L ⁻¹	Área 1 Comunidade Mista	Área 2 <i>B. decumbens</i> BRADC	Área 3 <i>S. halepense</i> SORHA
Controle percentual aos 14 dias após aplicação					
Testemunha sem aplicação	--	--	0,0 C	0,0 C	0,0 C
Glyphosate ³	540	--	81,6 B	32,4 B	56,1 B
Glyphosate + SA	540	15,0	87,7 A	33,0 B	82,8 A
Glyphosate + Uréia (U)	540	5,0	82,7 B	31,2 B	59,3 B
Glyphosate + U + SA	540	2,5 + 7,5	89,0 A	33,4 B	80,8 A
Glyphosate	1080	--	92,7 A	41,8 A	84,8 A
	F _(trat)		437,77**	111,02**	105,06**
	CV (%)		5,77	11,76	12,69
Controle percentual aos 21 dias após aplicação					
Testemunha sem aplicação	--	--	0,0 C	0,0 C	0,0 C
Glyphosate ³	540	--	88,1 B	32,3 B	66,2 B
Glyphosate + SA	540	15,0	94,7 A	35,3 B	88,0 A
Glyphosate + Uréia (U)	540	5,0	89,5 B	33,6 B	67,1 B
Glyphosate + U + SA	540	2,5 + 7,5	95,4 A	34,6 B	84,8 A
Glyphosate	1080	--	95,3 A	44,9 A	88,7 A
	F _(trat)		1102,23**	97,56**	178,69**
	CV (%)		3,63	12,70	9,41
Controle percentual aos 28 dias após aplicação					
Testemunha sem aplicação	--	--	0,0 C	0,0 C	0,0 C
Glyphosate ³	540	--	89,7 B	41,0 B	65,7 B
Glyphosate + SA	540	15,0	96,2 A	46,2 B	85,3 A
Glyphosate + Uréia (U)	540	5,0	90,1 B	39,2 B	67,3 B
Glyphosate + U + SA	540	2,5 + 7,5	96,0 A	43,0 B	85,5 A
Glyphosate	1080	--	95,3 A	56,1 A	90,3 A
	F _(trat)		1949,61**	115,69**	131,13**
	CV (%)		2,73	11,73	11,00

¹Médias seguidas por letras iguais, nas colunas, não diferem entre si segundo teste de agrupamento de médias de Scott-Knott, a 5% de probabilidade; ²Fertilizantes nitrogenados, em calda de 300 L ha⁻¹; ³Roundup Original®, 360 g e.a. L⁻¹; **Significativo a 1% de probabilidade pelo teste F.

Na Área 1, as notas de controle foram atribuídas no âmbito geral da comunidade infestante, contudo vale ressaltar que, visualmente, a espécie *Ipomoea nil* foi a melhor indicadora da diferença entre os tratamentos. É provável que a maior diferença visual observada para esta espécie seja consequência de sua maior tolerância ao glyphosate, quando comparada a *Alternanthera tenella*, *Parthenium hysterophorus* ou *Amaranthus viridis* (RODRIGUES; ALMEIDA, 2005; LORENZI, 2006). Estes resultados estão em concordância com o Capítulo 2, em que não foram observadas vantagens da aplicação de glyphosate com fertilizantes nitrogenados sobre *A. tenella*. Também concordam com o Capítulo 6, quando foi identificado melhor controle de *I. triloba* com aplicação de glyphosate via solução de SA ou de U+SA.

De acordo com a legislação brasileira e com Frans et al. (1986), para que um tratamento herbicida seja considerado adequado em campo, controles superiores a 80% devem ser alcançados. Neste caso, nenhum tratamento herbicida controlou de forma satisfatória a infestação de *Brachiaria decumbens* (Área 2), uma vez que as notas máximas alcançadas foram de 56%, aos 28 DAA, para aplicação de 1080 g ha⁻¹ de glyphosate (Tabela 7.4). Estes resultados são explicados por Rodrigues e Almeida (2005) que indicam doses de até 1440 g ha⁻¹ para controle de *B. decumbens*. Timossi; Durigan e Leite (2006) alcançaram adequado controle de *B. decumbens*, com notas superiores a 90%, após aplicação de doses de glyphosate iguais ou superiores a 1440 g ha⁻¹. Na Área 2, não foram observados efeitos benéficos da pulverização de glyphosate com soluções de fertilizantes nitrogenados (Tabela 7.4).

Com relação ao controle de *Sorghum halepense*, a escolha da dose do herbicida teve importância fundamental para assegurar a completa dessecação da espécie (Tabela 7.4). Ainda, a aplicação da menor dose de glyphosate via solução de U ou somente com água não foi suficiente para a adequada dessecação de *S. halepense*, com controle máximo da ordem de 67%. Neste caso, a menor dose de glyphosate só proporcionou controles considerados satisfatórios, superiores a 80%, quando pulverizada com solução de SA ou de U+SA, com igualdade ao controle obtido pela maior dose. Indicações de melhor controle de *S. halepense* com aplicação de glyphosate combinado a fertilizantes nitrogenados também foram observadas nos Capítulos 2 e 6.

Salisbury; Chandler e Merkle (1991) também avaliaram a eficácia de glyphosate sobre *S. halepense* quando aplicado em mistura com sulfato de amônio. Neste trabalho, o controle obtido pela menor dose de glyphosate (420 g ha⁻¹) foi igualado ao da maior dose (840 g ha⁻¹) quando o herbicida foi pulverizado combinado a 3,33 kg ha⁻¹ do fertilizante e somente foi observado

antagonismo para aplicação de glyphosate com 9,7 kg ha⁻¹ de sulfato de amônio. Por outro lado, Hall; Hart e Jones (2000) não observaram incremento no controle de *S. halepense* decorrente da aplicação de glyphosate com SA, contudo, neste trabalho, foram utilizadas doses reduzidas do fertilizante, de apenas 2,5 g L⁻¹, ou seja, cerca de 0,5 kg ha⁻¹.

Na literatura científica, são comuns relatos sobre controle diferencial de espécies de plantas daninhas obtidos pelo glyphosate combinado a fertilizantes nitrogenados. Donald (1988) elevou a eficácia e a consistência dos resultados obtidos pelo glyphosate para controle de *Hordeum jubatum*, quando aplicado com 2,8 kg ha⁻¹ de sulfato de amônio. Jordan et al. (1997) relataram que a adição da mesma dose de sulfato de amônio à calda de glyphosate melhorou o controle de *Sida spinosa* e *Ipomoea hederacea*, contudo não teve efeito sobre *Senna obtusifolia*, *Sesbania exaltata* e *Echinochloa crus-galli*. Pratt; Kells e Penner (2003) elevaram o controle de *Abutilon theophrasti* quando glyphosate foi pulverizado combinado ao sulfato de amônio (20 g L⁻¹). Neste sentido, Young et al. (2003) e Nurse et al. (2008) também observaram melhor controle de *A. theophrasti* após adição de 20 g L⁻¹ de sulfato de amônio à calda do glyphosate, contudo mínima resposta foi observada para *Amaranthus retroflexus* e *Chenopodium album*.

Com frequência, até mesmo espécies de plantas daninhas pertencentes ao mesmo gênero têm resposta diferencial a determinado tratamento herbicida. Estudos demonstraram diferenças de susceptibilidade de espécies de *Ipomoea* ao herbicida bentazon (McCLELLAND et al., 1978; MATHIS; OLIVER, 1980) e ao herbicida carfentrazone-ethyl (CHRISTOFFOLETI et al., 2006); de espécies de *Digitaria* ao herbicida diuron (DIAS et al., 2003); de *Bidens* aos herbicidas chlorimuron-ethyl e imazathapyr (LÓPEZ-OVEJERO et al., 2006); e de espécies de *Amaranthus* ao trifloxysulfuron-sodium e ao chlorimuron-ethyl (CARVALHO et al., 2006).

A diferença de suscetibilidade de espécies de plantas daninhas a herbicidas aplicados em pós-emergência pode estar relacionada com a afinidade enzimática das moléculas; com a absorção, translocação ou exclusão diferencial dos herbicidas; ou mesmo com rotas de detoxificação metabólica (CARVALHO et al., 2006). Neste sentido, a exposição de diferentes espécies ao mesmo tratamento herbicida ganha grande importância prática, pois oferece subsídios para estimativa das condições em que cada tratamento será mais ou menos eficaz.

A análise da massa fresca residual está em concordância com os dados de controle (Tabela 7.5). Neste caso, para a comunidade mista de plantas daninhas (Área 1), todos os tratamentos de glyphosate que receberam adição de fertilizantes nitrogenados foram diferentes da

aplicação da menor dose do produto somente com água. Não foram observadas diferenças entre os tratamentos herbicidas aplicados sobre *B. decumbens*. Para *S. halepense*, melhores resultados foram obtidos com a maior dose de glyphosate (1080 g ha⁻¹), sem diferença para a menor dose aplicada com solução de SA ou de U+SA. Quanto à análise de massa seca, somente foram observadas vantagens da aplicação de glyphosate com fertilizantes nitrogenados sobre *S. halepense* (Tabela 7.5). Conforme comentado em Capítulos anteriores, a massa de plantas daninhas é uma variável com menor sensibilidade a pequenas variações experimentais, porém a adoção de maior número de repetições contribuiu para a ocorrência de diferenças neste trabalho, principalmente quando à análise da massa fresca.

Tabela 7.5 – Massa fresca e seca residual (g m⁻²) de plantas daninhas após aplicação de glyphosate utilizando solução de fertilizantes nitrogenados (uréia – U e sulfato de amônio – SA) como veículos de pulverização. Piracicaba – SP, 2009

Tratamentos	Doses		Plantas Daninhas ¹		
	Herbicida g ha ⁻¹	FN ² g L ⁻¹	Comunidade Mista	<i>B. decumbens</i> BRADC	<i>S. halepense</i> SORHA
Massa fresca residual aos 28 dias após aplicação					
Testemunha sem aplicação	--	--	3012,2 C	1871,6 B	2105,9 C
Glyphosate ³	540	--	1797,0 B	1419,8 A	988,6 B
Glyphosate + SA	540	15,0	1148,0 A	1166,8 A	530,2 A
Glyphosate + Uréia (U)	540	5,0	1438,0 A	1325,3 A	720,3 B
Glyphosate + U + SA	540	2,5 + 7,5	1341,6 A	1387,6 A	557,1 A
Glyphosate	1080	--	1090,3 A	1017,7 A	357,3 A
	F _(trat)		20,09**	3,86**	33,51**
	CV (%)		23,97	26,54	30,84
Massa seca residual aos 28 dias após aplicação					
Testemunha sem aplicação	--	--	863,03 B	639,8	569,7 C
Glyphosate ³	540	--	513,7 A	545,3	388,9 B
Glyphosate + SA	540	15,0	442,6 A	461,4	260,2 A
Glyphosate + Uréia (U)	540	5,0	520,1 A	507,6	266,6 A
Glyphosate + U + SA	540	2,5 + 7,5	457,4 A	561,0	289,1 A
Glyphosate	1080	--	397,7 A	477,5	212,3 A
	F _(trat)		12,59**	1,55 ^{NS}	12,11**
	CV (%)		21,82	24,05	27,77

¹Médias seguidas por letras iguais, nas colunas, não diferem entre si segundo teste de agrupamento de médias de Scott-Knott, a 5% de probabilidade; ²Fertilizantes nitrogenados, em calda de 300 L ha⁻¹; ³Roundup Original®, 360 g e.a. L⁻¹; **Significativo a 1% de probabilidade pelo teste F; ^{NS} Não significativo.

A adoção da solução de U+SA como veículo de pulverização de glyphosate teve resultados positivos sobre a comunidade mista (Área 1) e sobre *S. halepense* (Área 3), porém nunca superiores à solução com somente SA. Na literatura científica, não foram encontrados outros experimentos que avaliaram a aplicação de glyphosate via solução de U+SA. Estudando apenas a uréia, Durigan (1992) relatou a possibilidade de redução na dose de glyphosate para controle de *Panicum maximum* após adição deste fertilizante à calda herbicida. Por outro lado, Suwunnamek e Parker (1975) observaram que a adição de uréia, fosfato-butil-amônio e fosfato de amônio elevaram o controle de tiririca (*Cyperus rotundus*) pelo glyphosate, porém não apresentaram vantagens em relação ao sulfato de amônio.

Assim sendo, sugere-se que incrementos na eficácia do glyphosate sobre plantas daninhas poderão ser obtidos com adoção de solução de fertilizantes nitrogenados como veículo de pulverização, mesmo utilizando água com baixa concentração de sais (Tabela 7.3), principalmente devido à adição do sulfato de amônio para espécies de difícil controle, tais como *Sorghum halepense* e aquelas pertencentes ao gênero *Ipomoea*. A exceção foi *B. decumbens* que, embora necessite de doses mais altas de glyphosate, não teve maior controle com uso combinado do herbicida e fertilizantes nitrogenados. Ainda, vale destacar que não foram observados efeitos antagônicos das diferentes misturas utilizadas. A solução de U+SA tem potencial para uso agrícola visando elevar a eficácia do herbicida glyphosate, de modo que novos ajustes nas proporções de U e SA devem ser estudados, tais como 5 : 10 ou 7,5 : 7,5 g L⁻¹, respectivamente.

7.4 Conclusões

O uso de solução de fertilizantes nitrogenados como veículo para aplicação do glyphosate não elevou o controle de *Brachiaria decumbens*. A menor dose do herbicida glyphosate teve maior eficácia sobre a comunidade mista de plantas daninhas e sobre *Sorghum halepense* devido ao uso de solução de sulfato de amônio (15 g L⁻¹) ou de uréia + sulfato de amônio (2,5 + 7,5 g L⁻¹) como veículo de pulverização. Os resultados positivos obtidos pela aplicação de glyphosate com fertilizantes nitrogenados também foram observados para a redução de massa fresca da comunidade mista e para massa fresca e seca de *S. halepense*.

Referências

- CARVALHO, S.J.P. **Características biológicas e suscetibilidade a herbicidas de cinco espécies de plantas daninhas do gênero *Amaranthus***. 2006. 96p. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia) - Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2006.
- CARVALHO, S.J.P.; BUISSA, J.A.R.; NICOLAI, M.; LÓPEZ-OVEJERO, R.F.; CHRISTOFFOLETI, P.J. Suscetibilidade diferencial de plantas daninhas do gênero *Amaranthus* aos herbicidas trifloxysulfuron-sodium e chlorimuron-ethyl. **Planta Daninha**, Viçosa – MG, v.24, n.3, p.541-548, 2006.
- CHRISTOFFOLETI, P.J.; GALLI, A.J.B.; CARVALHO, S.J.P.; MOREIRA, M.S.; NICOLAI, M.; FOLONI, L.L.; MARTINS, B.A.B.; RIBEIRO, D.N. Glyphosate sustainability in South American cropping systems. **Pest Management Science**, London, v.64, n.4, p.422–427, 2008.
- CHRISTOFFOLETI, P.J.; BORGES, A.; NICOLAI, M.; CARVALHO, S.J.P.; LÓPEZ-OVEJERO, R.F.; MONQUERO, P.A. Carfentrazone-ethyl aplicado em pós-emergência para o controle de *Ipomoea* spp. e *Commelina benghalensis* na cultura da cana-de-açúcar. **Planta Daninha**, Viçosa - MG, v. 24, n. 1, p. 83-90, 2006.
- COLE, D.J. Mode of action of glyphosate – a literature analysis. In: GROSSBARD, E.; ATKINSON, D.A. (Ed.). **The herbicide glyphosate**. London: Butterworths, 1985. p.48-74.
- DIAS, A.C.R. **Germinação, competitividade com a cultura da soja e resposta biológica a aplicações de glyphosate para plantas de trapoeraba (*Commelina benghalensis* L.)**. 2008. 78p. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2008.
- DIAS, N.M.P.; REGITANO, J.B.; CHRISTOFFOLETI, P.J.; TORNISIELO, V.L. Absorção e translocação do herbicida diuron por espécies suscetível e tolerante de capim-colchão (*Digitaria* spp.). **Planta Daninha**, Viçosa - MG, v. 21, n. 2, p. 293-300, 2003.
- DONALD, W.W. Established foxtail barley, *Hordeum jubatum*, control with glyphosate plus ammonium sulfate. **Weed Technology**, Champaign, v.2, n.3, p.364-368, 1988.
- DURIGAN, J.C. Efeito de adjuvantes na calda e no estágio de desenvolvimento das plantas, no controle do capim-colonião (*Panicum maximum*) com glyphosate. **Planta Daninha**, Brasília, v.10, n.1/2, p.39-44, 1992.
- EMBRAPA - EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 2.ed. Rio de Janeiro: EMBRAPA, 2006. 306p.

FRANS, R.E.; TALBERT, R.; MARX, D.; CROWLEY, H. Experimental design and techniques for measuring and analyzing plant responses to weed control practices. In: CAMPER, N.D. (Ed.) **Research methods in weed science**. 3rd.ed. Champaign: Southern Weed Science Society, 1986. p.29-46.

FRANSON, M.A.H. **Standard methods for the examination of water and wastewater**. 19th.ed. Washington: American Public Health Association, 1995. 1074p.

GAUVRIT, C. Glyphosate response to calcium, ethoxylated amine surfactant, and ammonium sulfate. **Weed Technology**, Lawrence, v.17, n.4, p.799-804, 2003.

GIOLO, F.P.; GRÜTZMACHER, A.D.; PROCÓPIO, S.O.; MANZONI, C.G.; LIMA, C.A.B.; NÖRNBERG, S.D. Seletividade de formulações de glyphosate a *Trichogramma pretiosum* (Hymenoptera: Trichogrammatidae). **Planta Daninha**, Viçosa - MG, v. 23, n.3, p. 457-462, 2005.

GRONWALD, J.W.; JOURDAN, S.W.; WYSE, D.L.; SOMERS, D.A.; MAGNUSSON, M.U. Effect of ammonium sulfate on absorption of imazethapyr by quackgrass (*Elytrigia repens*) and maize (*Zea mays*) cell suspension cultures. **Weed Science**, Champaign, v.41, n.3, p.325-334, 1993.

HALL, G.J.; HART, C.A.; JONES, C.A. Plants as sources of cations antagonistic to glyphosate activity. **Pest Management Science**, London, v. 56, n.4, p.351-358, 2000.

JORDAN, D.L.; YORK, A.C.; GRIFFIN, J.L.; CLAY, P.A.; VIDRINE, P.R.; REYNOLDS, D.B. Influence of application variables on efficacy of glyphosate. **Weed Technology**, Lawrence, v.11, n.2, p.354-362, 1997.

LÓPEZ-OVEJERO, R.F.; CARVALHO, S.J.P.; NICOLAI, M.; ABREU, A.G.; GROMBONE-GUARATINI, M.T.; TOLEDO, R.E.B.; CHRISTOFFOLETI, P.J. Resistance and differential susceptibility of *Bidens pilosa* and *B. subalternans* biotypes to ALS-inhibiting herbicides. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 63, n. 2, p. 139-145, 2006.

LORENZI, H. **Manual de identificação e controle de plantas daninhas: plantio direto e convencional**. 6.ed. Nova Odessa: Instituto Plantarum, 2006. 339 p.

MacISAAC, S.A.; PAUL, R.N.; DEVINE, M.D. A scanning electron microscope study of glyphosate deposits in relation to foliar uptake. **Pesticide Science**, London, v.31, n.1, p.53-64, 1991.

MALAVOLTA, E. **Elementos da nutrição mineral de plantas**. São Paulo: Agronômica Ceres, 1980. 252p.

MATHIS, W.D.; OLIVER, L.R. Control of six morningglory (*Ipomoea*) species in soybeans (*Glycine max*). **Weed Science**, Champaign, v. 28, n. 4, p. 409-415, 1980.

- McCLELLAND, M.R.; OLIVER L.R.; MATHIS W.D.; FRANS R.E. Responses of six morningglory (*Ipomoea*) species to bentazon. **Weed Science**, Champaign, v. 26, n.5, p. 459-464, 1978.
- MONQUERO, P.A.; CHRISTOFFOLETI, P.J.; OSUNA, M.D.; DE PRADO, R.A. Absorção, translocação e metabolismo do glyphosate por plantas tolerantes e suscetíveis a este herbicida. **Planta Daninha**, Viçosa – MG, v.22, n.3, p.445-451, 2004.
- NALEWAJA, J.D.; MATYSIAK, R. Salt antagonism of glyphosate. **Weed Science**, Champaign, v.39, n.4, p.622-628, 1991.
- NALEWAJA, J.D.; MATYSIAK, R.; FREEMAN, T.P. Spray droplet residual of glyphosate in various carriers. **Weed Science**, Champaign, v.40, n.4, p.576-589, 1992.
- NURSE, R.E.; HAMILL, A.S.; KELLS, J.J.; SIKKEMA, P.H. Annual weed control may be improved when AMS is added to below-label glyphosate doses in glyphosate-tolerant maize (*Zea mays* L.). **Crop Protection**, Guildford, v.27, n.3-5, p.452-458, 2008.
- O’SULLIVAN, P.A.; O’DONOVAN, J.T.; HAMMAN, W.M. Influence of non-ionic surfactants, ammonium sulphate, water quality and spray volume on the phytotoxicity of glyphosate. **Canadian Journal of Plant Science**, Ottawa, v.61, n.2, p.391-400, 1981.
- PRATT, D.; KELLS, J.J.; PENNER, D. Substitutes for ammonium sulfate as additives with glyphosate and glufosinate. **Weed Technology**, Lawrence, v.17, n.3, p.576-581, 2003.
- RAMSDALE, B.K.; MESSERSMITH, C.G.; NALEWAJA, J.D. Spray volume, formulation, ammonium sulfate, and nozzle effects on glyphosate efficacy. **Weed Technology**, Lawrence, v.17, n.3, p.589-598, 2003.
- RODRIGUES, B.N.; ALMEIDA, F.S. **Guia de herbicidas**. 5.ed. Londrina, 2005. 592p.
- RUITER, H.D.; MEINEN, E. Adjuvant-increased glyphosate uptake by protoplasts isolated from quackgrass *Elytrigia repens* (L.) Nevski. **Weed Science**, Champaign, v.44, n.1, p.38-45, 1996.
- SALAS-PINO, P.A.G. **Efeito de adjuvantes, volume de calda e qualidade da água na eficácia do herbicida glyphosate**. 1996. 79p. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1996.
- SALISBURY, C.D.; CHANDLER, J.M.; MERKLE, M.G. Ammonium sulfate enhancement of glyphosate and SC-0224 control of johnsongrass (*Sorghum halepense*). **Weed Technology**, Champaign, v.5, n.1, p.18-21, 1991.
- SCOTT, A.J.; KNOTT, M.A. Cluster analysis method for grouping means in the analysis of variance. **Biometrics**, Washington, v.30, n.2, p.507-512, 1974.

STORCK, L.; GARCIA, D.C.; LOPES, S.J.; ESTEFANEL, V. **Experimentação vegetal**. Santa Maria: Ed. UFSM, 2006. 198p.

SUWUNNAMEK, U.; PARKER, C. Control of *Cyperus rotundus* with glyphosate: the influence of ammonium sulfate and other additives. **Weed Research**, Oxford – UK, v.15, n.1, p.13-20, 1975.

THELEN, K.D.; JACKSON, E.P.; PENNER, D. The basis for the hard-water antagonism of glyphosate activity. **Weed Science**, Champaign, v.43, n.4, p.541-548, 1995.

TIMOSSI, P.C.; DURIGAN, J.C.; LEITE, G.J. Eficácia de glyphosate em plantas de cobertura. **Planta Daninha**, Viçosa – MG, v.24, n.3, p.475-480, 2006.

WITTE, C.P.; TILLER, S.A.; TAYLOR, M.A.; DAVIES, H.V. Leaf urea metabolism in potato. Urease activity profile and patterns of recovery and distribution of ^{15}N after foliar urea application in wild-type and urease-antisense transgenics. **Plant Physiology**, Rockville, v.128, n.3, p.1129-1136, 2002.

YAMADA, Y.; WITTWER, S.H.; BUKOVAC, M.J. Penetration of organic compounds through isolated cuticular membranes with special reference to C^{14} urea. **Plant Physiology**, Rockville, v.40, n.1, p.170-175, 1965.

YOUNG, B.G.; KNEPP, A.W.; WAX, L.M.; HART, S.E. Glyphosate translocation in common lambsquarters (*Chenopodium album*) and velvetleaf (*Abutilon theophrasti*) in response to ammonium sulfate. **Weed Science**, Lawrence, v.51, n.2, p.151-156, 2003.

8 CONCLUSÕES GERAIS

O desenvolvimento deste trabalho evidenciou a contribuição dos fertilizantes nitrogenados para maior eficácia do herbicida glyphosate na dessecação da cobertura vegetal, principalmente relacionado com a participação do sulfato de amônio. Com frequência, maiores percentuais de controle foram obtidos após adição dos fertilizantes à calda, com destaque para a combinação dos mesmos às menores doses do glyphosate, promovendo, em alguns casos, também a aceleração da senescência das plantas. Neste sentido, a massa seca residual da cobertura vegetal foi a variável com mensuração mais complexa e que, em alguns casos, não esteve em concordância com as avaliações de controle. Considerando o somatório dos experimentos, para uso isolado de solução de sulfato de amônio, a concentração mais adequada do fertilizante na calda herbicida foi de 15 g L⁻¹, enquanto para a uréia a melhor concentração foi da ordem de 5 g L⁻¹.

A adição isolada de sulfato de amônio à água pura promoveu a redução do pH desta, enquanto a uréia elevou o mesmo. Porém, houve evidências suficientes para considerar que o efeito tamponante do glyphosate supera as interferências promovidas pelos fertilizantes nitrogenados, de modo que a alteração na eficácia do herbicida devido a adição destes adjuvantes está pouco relacionada com a variável pH de calda. Neste sentido, a adoção do pulverizador costal pressurizado por CO₂ também pouco alterou o pH da calda de glyphosate, sem importância prática.

A contribuição do sulfato de amônio como condicionador de água dura (altos teores de cálcio e magnésio) é bastante documentada na literatura científica, de modo que esta interferência foi minimizada nos trabalhos, utilizando-se sempre água com baixas concentrações de sais. Nestas condições, supõe-se que o sulfato de amônio tenha contribuído para: formação de sais glyphosate-amônio que possuem maior facilidade de absorção; alteração na morfologia das gotas, atrasando ou prevenindo a cristalização do herbicida na superfície foliar; e para maior extrusão de prótons pelas células após a absorção e metabolização do amônio, com conseqüente acidificação do apoplasto, que é muito benéfica à absorção celular do glyphosate.

A uréia, por sua vez, tem contribuição na penetração cuticular e absorção celular de herbicidas, relacionada com o rompimento de ligações éster, éter e di-éter da cutina e com a difusão facilitada desta molécula. Neste sentido, foram encontradas evidências experimentais que justificaram a aplicação conjunta de glyphosate com sulfato de amônio e uréia (7,5 + 2,5 g L⁻¹),

principalmente quando as espécies-alvo da aplicação são consideradas de difícil controle ou possuem conhecidos impedimentos à penetração/absorção do herbicida. A utilização desta mistura pode contribuir, inclusive, para redução dos custos relacionados com os adjuvantes, sem perda de eficácia.

Somente a aplicação de caldas concentradas em até 20% de nitrogênio não foi eficiente em promover a dessecação da cobertura vegetal, o que possibilita concluir que, por si só, as baixas concentrações de sulfato de amônio e uréia utilizadas nos demais experimentos não foram diretamente responsáveis pelo maior controle, porém atuaram indiretamente, facilitando a atividade do glyphosate. A aplicação de sulfato de amônio via solo elevou a eficácia do glyphosate na dessecação da cobertura vegetal, indicando a participação deste fertilizante em mecanismos fisiológicos relacionados com a maior ação herbicida.

A espécie vegetal avaliada foi um fator de extrema importância prática, justificando ou não a adoção de soluções nitrogenadas como veículo para pulverização do glyphosate. Neste sentido, não foram encontrados resultados satisfatórios da adição de sulfato de amônio ou uréia à calda de glyphosate para dessecação de apaga-fogo (*Alternanthera tenella*), trapoeraba (*Commelina benghalensis*) e capim-braquiária (*Brachiaria decumbens*). Por outro lado, resultados positivos desta associação foram observados sobre o capim-massambará (*Sorghum halepense*), capim-amargoso (*Digitaria insularis*) e corda-de-viola (*Ipomoea triloba*).

A adição de fertilizantes nitrogenados à calda do herbicida glyphosate é uma técnica que, em muitos casos, pode elevar a eficácia do produto para dessecação da cobertura vegetal. Ainda, a adição destes fertilizantes não resultou em controle inferior àquele obtido em plantas tratadas somente com o herbicida. Neste sentido, novos experimentos devem ser estimulados com o objetivo de avaliar opções para elevar ainda mais a eficácia dos tratamentos, incluindo diferentes proporções entre os fertilizantes dissolvidos na calda, quando adicionados concomitantemente, bem como a eficácia da técnica sobre outras espécies vegetais.

Livros Grátis

(<http://www.livrosgratis.com.br>)

Milhares de Livros para Download:

[Baixar livros de Administração](#)

[Baixar livros de Agronomia](#)

[Baixar livros de Arquitetura](#)

[Baixar livros de Artes](#)

[Baixar livros de Astronomia](#)

[Baixar livros de Biologia Geral](#)

[Baixar livros de Ciência da Computação](#)

[Baixar livros de Ciência da Informação](#)

[Baixar livros de Ciência Política](#)

[Baixar livros de Ciências da Saúde](#)

[Baixar livros de Comunicação](#)

[Baixar livros do Conselho Nacional de Educação - CNE](#)

[Baixar livros de Defesa civil](#)

[Baixar livros de Direito](#)

[Baixar livros de Direitos humanos](#)

[Baixar livros de Economia](#)

[Baixar livros de Economia Doméstica](#)

[Baixar livros de Educação](#)

[Baixar livros de Educação - Trânsito](#)

[Baixar livros de Educação Física](#)

[Baixar livros de Engenharia Aeroespacial](#)

[Baixar livros de Farmácia](#)

[Baixar livros de Filosofia](#)

[Baixar livros de Física](#)

[Baixar livros de Geociências](#)

[Baixar livros de Geografia](#)

[Baixar livros de História](#)

[Baixar livros de Línguas](#)

[Baixar livros de Literatura](#)
[Baixar livros de Literatura de Cordel](#)
[Baixar livros de Literatura Infantil](#)
[Baixar livros de Matemática](#)
[Baixar livros de Medicina](#)
[Baixar livros de Medicina Veterinária](#)
[Baixar livros de Meio Ambiente](#)
[Baixar livros de Meteorologia](#)
[Baixar Monografias e TCC](#)
[Baixar livros Multidisciplinar](#)
[Baixar livros de Música](#)
[Baixar livros de Psicologia](#)
[Baixar livros de Química](#)
[Baixar livros de Saúde Coletiva](#)
[Baixar livros de Serviço Social](#)
[Baixar livros de Sociologia](#)
[Baixar livros de Teologia](#)
[Baixar livros de Trabalho](#)
[Baixar livros de Turismo](#)