

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
FACULDADE DE AGRONOMIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM FITOTECNIA

**PERSISTÊNCIA E LIXIVIAÇÃO DOS HERBICIDAS RESIDUAIS
S-METOLACHLOR E IMAZAQUIN ASSOCIADOS AO PARAQUAT OU
GLYPHOSATE**

ANDERSON LUIS NUNES
ENGENHEIRO AGRÔNOMO (UTFPR)

DISSERTAÇÃO APRESENTADA COMO UM DOS
REQUISITOS À OBTENÇÃO DO GRAU DE
MESTRE EM FITOTECNIA
ÁREA DE CONCENTRAÇÃO PLANTAS DE LAVOURA

Porto Alegre (RS), Brasil
Fevereiro, 2007

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho, a todos que aceitaram minha ausência para a realização deste sonho, principalmente, aqueles a quem amo.

AGRADECIMENTOS

Ao fim desta árdua batalha, vejo que não teria vencido com honra, sem a presença e a ajuda de muitas pessoas a qual sou muito grato. Agradeço.

A Deus pelo dom da Persistência.

A minha maravilhosa Mãe, Dona Nair e meus padrinhos Orady e Sandra pelo amor durante mais esta importante etapa de minha vida.

Aos meus irmãos, Nilce, Ana Keli, Gi e Thiago e sobrinhos Ruhan e Gustavo pela compreensão da minha ausência durante os anos.

A Família Müller Nichel, em especial a Fernanda, pelo apoio no início e parte desta grande luta.

Ao meu orientador Prof. Ribas Vidal por me guiar pelos caminhos da ciência.

Aos membros da Comissão avaliadora, André Thomas, Luiz Carlos Federizzi e Michelangelo Müzell Trezzi.

Aos bolsistas de iniciação científica, Augusto Kalsing, Ives Goulart ajuda na condução dos trabalhos de campo e casa-de-vegetação.

Aos meus professores, especialmente Carla Delatorre, Marcelo Pacheco pela atenção e transmissão dos seus conhecimentos.

Ao grupo de trilha de Porto Alegre, pelas amizades e aventuras.

Enfim, agradeço aqueles que mais estiverem ao meu lado durante esta batalha, meus amigos: Adriano Alves da Silva, Alexandre Tadeu Piana, Carlos Alberto Lazaroto, Daniel Santos Grohs, Divanilde Guerra, Fabiane Pinto Lamego, Fausto Borges Ferreira, Franceli Rodrigues Kulcheski, Josana de Abreu Rodrigues, Mércio Luiz Strieder, Noryam Bervian Bispo, Paula Wiethölter, Paulo Roberto da Silva, Tatiana Boff, Tatiana de Freitas Terra, Thais Fernanda Stella de Freitas e Vanderlei Doneda Tonon. Em especial, aqueles amigos que considero como irmãos: Emerson da Silva Portes, Everton Alen Brenner, Itamar Cristiano Nava e Naracelis Poletto.

A ISLA Sementes pelo fornecimento do material para a elaboração do bioensaio.

A Capes, CNPQ e a Fapergs pelo apoio financeiro do trabalho.

EPÍGRAFE

O tempo passou e eu mudei. Mudei porque cresci. Mudei porque passei por tantas e tão diversas experiências, que consegui aprender com meus próprios erros. Mudei porque me decepcionei com amigos. Mudei porque me decepcionei com amores. Mudei porque conheci pessoas tão especiais que fui capaz de me inspirar por elas e me espelhar nelas para me tornar uma pessoa diferente, talvez uma pessoa melhor. O tempo passou, eu mudei e nem tudo, nem todos, me acompanharam. Mas valeu a pena.

SUMÁRIO

RELAÇÃO DE TABELAS	viii
RELAÇÃO DE FIGURAS	ix
1. CAPÍTULO I – INTRODUÇÃO GERAL	1
1.1 Persistência e lixiviação de herbicidas	3
1.2 Herbicidas utilizados	5
1.3 Objetivos gerais	8
1.4 Organização desta dissertação.....	8
2. CAPÍTULO II – PERSISTÊNCIA DOS HERBICIDAS S-METOLACHLOR E IMAZAQUIN QUANDO ASSOCIADOS AOS HERBICIDAS GLYPHOSATE OU PARAQUAT.....	10
2.1 Introdução	10
2.1.1 Hipóteses.....	13
2.1.2 Objetivos.....	14
2.2 Materiais e métodos.....	14
2.2.1 Locais dos experimentos.....	14
2.2.2 Experimento a campo.....	14
2.2.3 Coleta das amostras de solo	15
2.2.4 Bioensaio.....	15
2.2.5 Análise estatística.....	17
2.3 Resultados	17
2.3.1 Fitotoxicidade	19
2.3.2 Estatura.....	24
2.3.3 Massa seca.....	27
2.3.4 Biodisponibilidade e meia-vida obtida através das primeiras curvas de calibração	29
2.3.5 Biodisponibilidade e meia-vida obtida através das curvas de calibração mais precisas.....	33
2.4 Discussões.....	37
2.4.1 Seleção da espécie indicadora e dos herbicidas residuais.....	37
2.4.2 Efeito da cobertura vegetal na biodisponibilidade dos herbicidas residuais.....	39
2.4.3 Efeitos dos herbicidas dessecantes na biodisponibilidade dos herbicidas residuais	41
2.5 Conclusões	44
3. CAPÍTULO III – LIXIVIAÇÃO DOS HERBICIDAS IMAZAQUIN E S-METOLACHLOR QUANDO ASSOCIADOS A HERBICIDAS DESSECANTES	46
3.1 Introdução	46
3.1.1 Hipóteses.....	48
3.1.2 Objetivos	48

3.2 Materiais e métodos.....	48
3.2.1 Locais dos experimentos	48
3.2.2 Experimento a campo	49
3.2.3 Coleta das amostras de solo.....	50
3.2.4 Bioensaio	50
3.2.5 Análise estatística	51
3.3 Resultados	52
3.3.1 Fitotoxicidade	52
3.3.2 Estatura.....	57
3.3.3 Massa seca.....	60
3.3.4 Biodisponibilidade	62
3.4 Discussões.....	63
3.5 Conclusões	66
4. CAPÍTULO IV – DISCUSSÃO GERAL	68
4.1 Implicações metodológicas	68
4.2 Implicações agrônômicas.....	69
4.3 Implicações econômicas	71
4.3 Implicações ambientais.....	72
5. CAPÍTULO V – CONCLUSÕES GERAIS.....	75
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	76
7. APÊNDICES.....	86
7.1 Glossário e estrutura molecular dos nomes químicos (IUPAC) utilizados na dissertação	86
7.2 Glossário dos nomes químicos (IUPAC) citados na dissertação	87
7.3 Abreviaturas e siglas.....	88
7.4 Análise da variância das variáveis analisadas	90

RELAÇÃO DE TABELAS

1.1 – Principais propriedades físico-químicas ¹ dos herbicidas utilizados.....	6
2.1 – Constantes de dissipação (k) e meia-vida ($t_{1/2}$) dos herbicidas S-metolachlor e imazaquin quando associados ao paraquat ou glyphosate.....	37

RELAÇÃO DE FIGURAS

- 2.1** – Precipitação pluvial entre cada coleta (mm) e precipitação pluvial acumulada (mm) durante o estudo. 18
- 2.2** – Toxicidade de S-metolachlor associado a herbicidas dessecantes (paraquat e glyphosate) sobre nabo forrageiro, sete dias após a semeadura (DAS) do mesmo em amostras de solo com até 35 dias após a aplicação (DAA) dos herbicidas a campo. 20
- 2.3** – Toxicidade de imazaquin associado a herbicidas dessecantes (paraquat e glyphosate) sobre nabo forrageiro, sete dias após a semeadura (DAS) do mesmo em amostras de solo com até 35 dias após a aplicação (DAA) dos herbicidas a campo. 21
- 2.4** – Toxicidade de S-metolachlor associado a herbicidas dessecantes (paraquat e glyphosate) sobre nabo forrageiro, catorze dias após a semeadura (DAS) do mesmo em amostras de solo com até 35 dias após a aplicação (DAA) dos herbicidas a campo. 21
- 2.5** – Toxicidade de imazaquin associado a herbicidas dessecantes (paraquat e glyphosate) sobre nabo forrageiro, catorze dias após a semeadura (DAS) do mesmo em amostras de solo com até 35 dias após a aplicação (DAA) dos herbicidas a campo. 22
- 2.6** – Toxicidade de S-metolachlor associado a herbicidas dessecantes (paraquat e glyphosate) sobre nabo forrageiro, vinte e um dias após a semeadura (DAS) do mesmo em amostras de solo com até 35 dias após a aplicação (DAA) dos herbicidas a campo. 23
- 2.7** – Toxicidade de imazaquin associado a herbicidas dessecantes (paraquat e glyphosate) sobre nabo forrageiro, vinte e um dias após a semeadura (DAS) do mesmo em amostras de solo com até 35 dias após a aplicação (DAA) dos herbicidas a campo. 23
- 2.8** – Estatura (% em relação à testemunha) do nabo forrageiro, em função do S-metolachlor associado a herbicidas dessecantes (paraquat e glyphosate), onze dias após a semeadura (DAS) do mesmo em amostras de solo com até 35 dias após a aplicação (DAA) dos herbicidas a campo. 24
- 2.9** – Estatura (% em relação à testemunha) do nabo forrageiro, em função do imazaquin associado a herbicidas dessecantes (paraquat e glyphosate), onze dias após a semeadura (DAS) do mesmo em amostras de solo com até 35 dias após a aplicação (DAA) dos herbicidas a campo..... 25
- 2.10** – Estatura (% em relação à testemunha) do nabo forrageiro, em função do S-metolachlor associado a herbicidas dessecantes (paraquat e glyphosate), vinte e um dias após a semeadura (DAS) do mesmo em amostras de solo com até 35 dias após a aplicação (DAA) dos herbicidas a campo. 26

- 2.11** – Estatura (% em relação à testemunha) do nabo forrageiro, em função do imazaquin associado a herbicidas dessecantes (paraquat e glyphosate), vinte e um dias após a semeadura (DAS) do mesmo em amostras de solo com até 35 dias após a aplicação (DAA) dos herbicidas a campo..... 27
- 2.12** – Massa seca (% em relação à testemunha) do nabo forrageiro, em função do S-metolachlor associado a herbicidas dessecantes (paraquat e glyphosate), vinte e um dias após a semeadura (DAS) do mesmo em amostras de solo com até 35 dias após a aplicação (DAA) dos herbicidas a campo. 28
- 2.13** – Massa seca (% em relação à testemunha) do nabo forrageiro, em função do imazaquin associado a herbicidas dessecantes (paraquat e glyphosate), vinte e um dias após a semeadura (DAS) do mesmo em amostras de solo com até 35 dias após a aplicação (DAA) dos herbicidas a campo..... 28
- 2.14** – Estatura (% em relação à testemunha) do nabo forrageiro, em função de doses do herbicida S-metolachlor, onze dias após a semeadura do mesmo... 29
- 2.15** – Estatura (% em relação à testemunha) do nabo forrageiro, em função de doses do herbicida imazaquin, onze dias após a semeadura do mesmo..... 30
- 2.16** – Biodisponibilidade do S-metolachlor em função do herbicida dessecante (paraquat e glyphosate), obtido através da variável estatura avaliada aos onze dias após a semeadura (DAS) do nabo forrageiro em amostras de solo com até 35 dias após a aplicação (DAA) dos herbicidas a campo. 32
- 2.17** – Biodisponibilidade do imazaquin em função do herbicida dessecante (paraquat e glyphosate), obtido através da variável estatura avaliada aos onze dias após a semeadura (DAS) do nabo forrageiro em amostras de solo com até 35 dias após a aplicação (DAA) dos herbicidas a campo..... 32
- 2.18** – Estatura (% em relação à testemunha) do nabo forrageiro, em função de doses do herbicida S-metolachlor, onze dias após a semeadura do mesmo... 33
- 2.19** – Estatura (% em relação à testemunha) do nabo forrageiro, em função de doses do herbicida imazaquin, onze dias após a semeadura do mesmo..... 34
- 2.20** – Biodisponibilidade do S-metolachlor em função do herbicida dessecante (paraquat e glyphosate), obtido através da variável estatura avaliada aos onze dias após a semeadura (DAS) do nabo forrageiro em amostras de solo com até 35 dias após a aplicação (DAA) dos herbicidas a campo. 35
- 2.21** – Biodisponibilidade do imazaquin em função do herbicida dessecante (paraquat e glyphosate), obtido através da variável estatura avaliada aos onze dias após a semeadura (DAS) do nabo forrageiro em amostras de solo com até 35 dias após a aplicação (DAA) dos herbicidas a campo..... 36
- 3.1** – Toxicidade de S-metolachlor associado a herbicidas dessecantes (Paraquat e Glyphosate) sobre nabo forrageiro, sete dias após a semeadura (DAS) do mesmo em diferentes profundidades. DMS (D) compara médias entre

dessecantes na mesma profundidade e DMS (P) compara médias entre profundidades de uma mesma associação.	53
3.2 – Toxicidade de imazaquin associado a herbicidas dessecantes (Paraquat e Glyphosate) sobre nabo forrageiro, sete dias após a semeadura (DAS) do mesmo em diferentes profundidades. DMS (D) compara médias entre dessecantes na mesma profundidade e DMS (P) compara médias entre profundidades de uma mesma associação.	53
3.3 – Toxicidade de S-metolachlor associado a herbicidas dessecantes (Paraquat e Glyphosate) sobre nabo forrageiro, catorze dias após a semeadura (DAS) do mesmo em diferentes profundidades. DMS (D) compara médias entre dessecantes na mesma profundidade e DMS (P) compara médias entre profundidades de uma mesma associação.	55
3.4 – Toxicidade de imazaquin associado a herbicidas dessecantes (Paraquat e Glyphosate) sobre nabo forrageiro, sete dias após a semeadura (DAS) do mesmo em diferentes profundidades. DMS (D) compara médias entre dessecantes na mesma profundidade e DMS (P) compara médias entre profundidades de uma mesma associação.	55
3.5 – Toxicidade de S-metolachlor associado a herbicidas dessecantes (Paraquat e Glyphosate) sobre nabo forrageiro, vinte e um dias após a semeadura (DAS) do mesmo em diferentes profundidades. DMS (D) compara médias entre dessecantes na mesma profundidade e DMS (P) compara médias entre profundidades de uma mesma associação.	56
3.6 – Toxicidade de imazaquin associado a herbicidas dessecantes (Paraquat e Glyphosate) sobre nabo forrageiro, vinte e um dias após a semeadura (DAS) do mesmo em diferentes profundidades. DMS (D) compara médias entre dessecantes na mesma profundidade e DMS (P) compara médias entre profundidades de uma mesma associação.	56
3.7 – Estatura (% em relação à testemunha) do nabo forrageiro, em função do S-metolachlor associado a herbicidas dessecantes (paraquat e glyphosate), onze dias após a semeadura (DAS) do mesmo em diferentes profundidades. DMS (D) compara médias entre dessecantes na mesma profundidade e DMS (P) compara médias entre profundidades de uma mesma associação.	57
3.8 – Estatura (% em relação à testemunha) do nabo forrageiro, em função do imazaquin associado a herbicidas dessecantes (paraquat e glyphosate), onze dias após a semeadura (DAS) do mesmo em diferentes profundidades. DMS (D) compara médias entre dessecantes na mesma profundidade e DMS (P) compara médias entre profundidades de uma mesma associação.	58
3.9 – Estatura (% em relação à testemunha) do nabo forrageiro, em função do S-metolachlor associado a herbicidas dessecantes (paraquat e glyphosate), vinte e um dias após a semeadura (DAS) do mesmo em diferentes profundidades. DMS (D) compara médias entre dessecantes na mesma	

profundidade e DMS (P) compara médias entre profundidades de uma mesma associação.	59
3.10 – Estatura (% em relação à testemunha) do nabo forrageiro, em função do imazaquin associado a herbicidas dessecantes (paraquat e glyphosate), vinte e um dias após a semeadura (DAS) do mesmo em diferentes profundidades. DMS (D) compara médias entre dessecantes na mesma profundidade e DMS (P) compara médias entre profundidades de uma mesma associação.....	60
3.11 – Massa seca (% em relação à testemunha) do nabo forrageiro, em função do S-metolachlor associado a herbicidas dessecantes (paraquat e glyphosate), vinte e um dias após a semeadura (DAS) do mesmo em diferentes profundidades. DMS (D) compara médias entre dessecantes na mesma profundidade e DMS (P) compara médias entre profundidades de uma mesma associação.....	61
3.12 – Massa seca (% em relação à testemunha) do nabo forrageiro, em função do imazaquin associado a herbicidas dessecantes (paraquat e glyphosate), vinte e um dias após a semeadura (DAS) do mesmo em diferentes profundidades. DMS (D) compara médias entre dessecantes na mesma profundidade e DMS (P) compara médias entre profundidades de uma mesma associação.	61
3.13 – Biodisponibilidade do S-metolachlor em função do herbicida dessecante (paraquat e glyphosate), obtido através da variável estatura avaliada aos onze dias após a semeadura (DAS) do nabo forrageiro em diferentes profundidades. DMS (D) compara médias entre dessecantes na mesma profundidade e DMS (P) compara médias entre profundidades de uma mesma associação.	62
3.14 – Biodisponibilidade do imazaquin em função do herbicida dessecante (paraquat e glyphosate), obtido através da variável estatura avaliada aos onze dias após a semeadura (DAS) do nabo forrageiro em diferentes profundidades. DMS (D) compara médias entre dessecantes na mesma profundidade e DMS (P) compara médias entre profundidades de uma mesma associação.	63

PERSISTÊNCIA E LIXIVIAÇÃO DOS HERBICIDAS RESIDUAIS S-METOLACHLOR E IMAZAQUIN ASSOCIADOS AO PARAQUAT OU GLYPHOSATE¹

Autor: Anderson Luis Nunes
Orientador: Ribas Antonio Vidal

RESUMO

A associação de herbicidas dessecantes com residuais tem sido comum entre os agricultores no manejo das áreas sob semeadura direta. Essa prática permite dessecar a cultura de inverno que vai ser utilizada como cobertura morta e também evitar a reinfestação de ervas na cultura de verão durante parte de seu ciclo. Os objetivos deste trabalho foram avaliar a persistência e a lixiviação no solo dos herbicidas residuais S-metolachlor e imazaquin quando aplicados simultaneamente ou seqüencialmente aos herbicidas dessecantes paraquat e glyphosate. A presença do herbicida dessecante afeta a persistência do herbicida residual quando aplicado sobre cobertura vegetal. Não há diferença entre aplicação em associação e seqüencial do herbicida não seletivo na persistência do S-metolachlor e imazaquin. A persistência do imazaquin é maior em relação a do S-metolachlor, independente do herbicida dessecante utilizado. A persistência do S-metolachlor é maior na presença do paraquat, do que na presença de glyphosate. Contrariamente, a persistência do imazaquin é maior na presença do glyphosate, do que na presença do paraquat. A lixiviação dos herbicidas residuais não foi afetada pela presença do herbicida dessecante e pelo tipo de aplicação. A lixiviação do herbicida S-metolachlor é maior em relação ao imazaquin. A concentração bioestimada em solo coletado aos 21 dias após a aplicação foi máxima aos 18 cm de profundidade para o S-metolachlor e entre 2 e 8 cm de profundidade para o imazaquin.

¹ Dissertação de Mestrado em Fitotecnia, Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, RS, Brasil. (93p.) Fevereiro, 2007.

PERSISTENCE AND LEACHING OF THE RESIDUAL HERBICIDES S-METOLACHLOR AND IMAZAQUIN ASSOCIATED TO PARAQUAT OR GLYPHOSATE²

Author: Anderson Luis Nunes

Adviser: Ribas Antonio Vidal

ABSTRACT

The association between non-selective and residual herbicides is a common practice among the farmers as a field management in no-tillage areas. This practice allows the control of winter crop that will be used as cover crop and to avoid weed reinfestation during part of the summer crop cycle. The objectives of this work were to evaluate the persistence and soil leaching of the residual herbicides S-metolachlor and imazaquin when applied simultaneously or in sequence to non-selective herbicides paraquat and glyphosate. The presence of non-selective herbicides affects the persistence of the residual herbicide when applied on cover crop. There is no difference between associated and sequential application of the non-selective herbicides on the persistence of S-metolachlor and imazaquin herbicides. The persistence of imazaquin is longer when compared to the persistence of S-metolachlor, independent of the non-selective herbicide applied. The persistence of S-metolachlor is longer in the presence of paraquat when compared to glyphosate. Conversely, the persistence of imazaquin is greater in the presence of glyphosate, when compared to paraquat. The residual herbicide leaching was not affected by the presence of non-selective herbicides or application type. The S-metolachlor herbicide leaching is greater when compared to imazaquin. The bioavailable concentration in soil collected 21 days after the application was highest at 18 cm depth for S-metolachlor and between 2 – 8 cm depth for imazaquin.

² Master of Science dissertation in Agronomy, Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, RS, Brazil. (93p.). February, 2007.

1. CAPÍTULO I – INTRODUÇÃO GERAL

No processo produtivo da agricultura brasileira, um dos maiores avanços foi a introdução do sistema de semeadura direta a partir da década de 70. Atualmente, estima-se que a área de semeadura direta no Brasil seja de 20 milhões de hectares (FEBRAPDP, 2006). Seu objetivo inicial foi o controle da erosão hídrica. Um dos aspectos mais importantes para se alcançar sucesso neste sistema é a formação de uma cobertura vegetal contínua, viva ou morta, que seja capaz de minimizar o processo erosivo, melhorar a retenção de água no solo e a disponibilidade de nutrientes às plantas (LOPES et al., 2004).

Neste sistema de preparo do solo há necessidade e dependência de herbicidas para controle de plantas daninhas. A associação de herbicidas dessecantes com residuais tem sido comum entre os agricultores no manejo das áreas sob semeadura direta. Essa prática permite dessecar a cultura de inverno que vai ser utilizada como cobertura morta e também evitar a reinfestação de ervas na cultura de verão durante parte de seu ciclo. A interação dos herbicidas aplicados em pré-emergência com a cobertura influi na eficácia do controle de plantas daninhas.

O benefício mais importante na associação de herbicidas dessecantes com os residuais é que existe a possibilidade da não utilização de herbicidas pós-emergentes, em função da persistência dos herbicidas residuais e conseqüente controle de plantas daninhas no período inicial de desenvolvimento da cultura. Sendo este o período em que as plantas daninhas mais interferem no desenvolvimento da cultura. Outros benefícios incluem a otimização do uso de máquinas agrícolas e mão-de-obra, devido o menor número de pulverizações realizadas.

A disponibilidade dos herbicidas residuais aplicados na época do manejo da vegetação inicial do sistema de semeadura direta é afetada pelo herbicida dessecante utilizado. Atrazine associada com paraquat é mais eficiente do que quando associada com glyphosate, na transposição da palha sobre as coberturas de azevém (*Lolium multiflorum* Lam.) e ervilhaca (*Vicia villosa* Roth.) (ISENSEE et al., 1990).

As doses dos herbicidas residuais em semeadura direta são, muitas vezes, superiores do que no sistema convencional, pois parte do produto fica retida na vegetação ou palha e não atinge o solo. Em alguns casos, utiliza-se elevada pressão e vazão na pulverização para facilitar a penetração do produto na cobertura de solo. Nesses casos, ficam evidentes o potencial de poluição ambiental e o aumento no custo de produção.

A presença da cobertura vegetal sobre a superfície pode, benéficamente, suprimir a germinação e a emergência de plantas daninhas (BURGOS & TALBERT, 1996; THEISEN et al, 2000). Mas a sua manutenção sobre a superfície promove alterações que afetam a dinâmica dos herbicidas aplicados ao solo (LEVANON et al., 1993; WEED et al., 1995; FERRI & VIDAL, 2003).

Uma das características marcantes da manutenção desta cobertura vegetal é o aumento do teor de matéria orgânica (M.O.) na camada superficial do solo com o decorrer do tempo (LOPES et al., 2004), o que afeta o desempenho dos herbicidas residuais. Os herbicidas aplicados ao solo estão sujeitos a processos de transferência ou transformação que determinam a sua dinâmica no mesmo. Dentre os processos, os mais importantes são: a adsorção ao solo e à palha, lixiviação e degradação biológica (MACHADO & SILVA, 2001).

A dinâmica do herbicida no solo e os mecanismos de interações com seus colóides dependem de propriedades físicas e químicas dos herbicidas, da solução do solo e, principalmente, da M.O. (SENESI & CHEN, 1989; CANELLAS et al., 1999; FERRI et al., 2002). A M.O. apresenta capacidade de adsorver herbicidas, devido a sua elevada superfície específica e a presença de grupos reativos polares e apolares (BARRIUSO & CALVET, 1992; SENESI et al., 1994; CANELLAS et al., 1999).

Os herbicidas residuais têm desempenho diferenciado quando utilizados em pré-emergência sobre palhadas no sistema de semeadura direta. Produtos como atrazine, imazaquin e imazapic possuem boas perspectivas de uso em pré-emergência (AZANIA et al., 2004). Outros produtos como metribuzin, oryzalin, acetochlor e metolachlor possuem problemas de retenção na palha quando utilizados em pré-emergência no sistema de semeadura direta (FERRI & VIDAL, 2003).

1.1 Persistência e lixiviação de herbicidas

A permanência do herbicida no solo, após a sua aplicação, pode determinar a eficácia no controle de plantas daninhas, sendo denominada período residual. Ou, pode determinar problemas, tais como: danos à cultura subsequente e o risco de lixiviação e contaminação ambiental, sendo, então, denominada persistência (ROSS & LEMBI, 1999).

O período de permanência varia com a adsorção, lixiviação, degradação e transformação química ou biológica e ainda através da absorção e decomposição pelas plantas. Esses fatores regulam a concentração e o fluxo das moléculas destes compostos na solução do solo (LOUX et al. 1989; CELIS et al., 2006). Além disso, a

importância e a intensidade da ação destes fatores sobre a persistência dependem das condições edafo-climáticas específicas aos locais de estudo (WALKER et al., 1992; HOLLAWAY et al., 2006b).

A lixiviação é a movimentação do herbicida em solução, no perfil do solo, por meio da força gravitacional, das características físico-químicas do herbicida, das condições do clima e do tipo de solo (KELLER & WEBER, 1998; LEE & WEBER, 1993, WEBER et al., 2006a). Esta é a principal forma de mobilidade no solo das moléculas não-voláteis e solúveis em água (AYENI et al., 1998), a qual é governada pela diferença de potencial da água entre dois pontos (LAVORENTI et al., 2003).

As formas de determinar a persistência e lixiviação de compostos no solo são através da espectrometria de massa, cromatografia e o uso de plantas indicadoras (bioensaios). Este último apresenta como principal vantagem detectar somente resíduos biologicamente ativos, não havendo necessidade de instrumentos onerosos e de prévia extração dos resíduos do solo. Porém, os resultados apresentados são semiquantitativos e necessitam curvas de calibração para cada herbicida e para cada espécie indicadora (BEYER et al., 1988).

A partir da década de 30 surgiram os primeiros ensaios utilizando plantas como indicadoras da presença de compostos no solo, sendo que o apogeu desta técnica ocorreu entre as décadas de 60 e 70. Um dos primeiros ensaios realizados utilizou plantas do gênero *Avena* como indicadora da presença de arsenito de sódio e cloreto de sódio em solos da Califórnia (CRAFTS, 1935). Atualmente esta técnica continua sendo muito utilizada, para estudos de persistência, dissipação, lixiviação, atividade biológica e dose resposta de herbicidas em solos (BRINTON et al., 2005;; HOLLAWAY et al., 2006a; PANNACCI et al., 2006; SHANER et al., 2006; ZHOU & WANG, 2006).

As plantas indicadoras podem responder a faixa de dose limitada, assim, há a necessidade de utilizar espécies sensíveis aos herbicidas utilizados. Características importantes das espécies indicadoras incluem: alta taxa de crescimento, pois permite rápida visualização dos sintomas ocorridos; ampla distribuição geográfica, para que as espécies possam ser utilizadas como indicadoras em outros locais de estudo; e homogeneidade genética, porque padroniza as respostas obtidas e possibilita maior homoscedasticidade da variância na análise dos dados. Normalmente estas características são encontradas em espécies cultivadas.

1.2 Herbicidas utilizados

Cada herbicida, em virtude do tipo e número de átomos que o compõe e do seu arranjo estrutural, possui uma série específica de propriedades físico-químicas. O conhecimento das propriedades físico-químicas dos herbicidas é muito importante, pois através delas é possível prever o comportamento dos mesmos no ambiente. As principais propriedades físico-químicas relacionadas a seu comportamento ambiental são: coeficiente de partição octanol-água (K_{OW}), coeficiente de sorção (K_d), constante de ionização ácido (pK_a) ou básico (pK_b), meia-vida ($t_{1/2}$) e solubilidade em água (S). As principais características físico-químicas dos herbicidas utilizados neste estudo encontram-se na Tabela 1.1. Os herbicidas foram selecionados por apresentarem características contrastantes.

Tabela 1.1 – Principais propriedades físico-químicas¹ dos herbicidas utilizados.

Propriedade/Herbicida	Paraquat	Glyphosate	S-metolachlor	Imazaquin
Log K_{OW} ²	-4,5	-3,5	2,89	0,30
K_d (mL g⁻¹)	2990	62000	200	20
pK_a/pK_b	# ³	0,8 – 11,0	#	3,8
Meia-vida (dias)	44	30 – 90	15-50	70-210
S (mg L⁻¹)	620000	11000	488	60

¹ – Adaptado de VIDAL, 2002;

² – Abreviaturas: Log K_{OW} = logaritmo do coeficiente de partição octanol-água; K_d = coeficiente de sorção; pK_a ou pK_b = constante de dissociação do ácido ou base; S = Solubilidade em água a 25 °C.

³ – Produto não ionizável.

O K_{OW} representa a relação entre a concentração do herbicida na fase de octanol saturado em água e sua concentração na fase aquosa saturada em octanol. Esses valores são expressos, geralmente, na forma logarítmica (log K_{OW}). Esta propriedade indica o caráter hidrofóbico ou hidrofílico do herbicida (LAVORENTI et al., 2003). Herbicidas hidrofílicos, com valores de log K_{OW} menor que 1,0, são mais solúveis em água e apresentam baixa sorção ao solo. Herbicidas lipofílicos, com valores de log K_{OW} maior que 4,0, tendem a permanecer na fração orgânica do solo e, assim, possuem lixiviação reduzida (MONTGOMERY, 1997). Entre os produtos utilizados neste trabalho, encontram-se desde herbicidas hidrofílicos como o paraquat a herbicidas medianamente lipofílicos como o herbicida S-metolachlor.

O K_d indica a afinidade do herbicida pelos colóides minerais e orgânicos do solo. Existe elevada correlação entre K_d e K_{OW}, pois, quanto mais lipofílico, maior a adsorção do herbicida no solo e, menores as perdas por lixiviação, entretanto menor será a disponibilidade do herbicida na solução do solo para a absorção das raízes das plantas daninhas (VIDAL, 2002). Os valores de K_d dos produtos utilizados variam de 20 a 62000 mL g⁻¹.

Os valores de pK_a indicam o pH da solução do solo em que 50% das moléculas do herbicida estão ionizadas. Na forma ionizada os compostos possuem

comportamento diferente do que quando neutros. A molécula do glyphosate apresenta uma característica muito peculiar, possui três valores de pK_a e um de pK_b , o que lhe confere um comportamento zwitteriônico. O herbicida imazaquin possui caráter de ácido fraco. Assim quando o valor do pH da solução for maior que o valor de pK_a do herbicida, mais de 50% das moléculas estarão na forma aniônica. Esta forma normalmente apresenta maior mobilidade no perfil do solo (VIDAL, 2002; LAVORENTI et al., 2003). O paraquat e o S-metolachlor são compostos não ionizáveis, sendo assim, não apresentam constante de ionização.

A $t_{1/2}$ é o tempo necessário para que a concentração do herbicida no solo atinja a metade da concentração inicial, e depende, principalmente, da degradação microbiana (VIDAL, 2002). Esta característica representa com confiabilidade o destino do herbicida no ambiente para a maioria das situações. Entretanto em casos específicos, como o do herbicida atrazine em determinados ambientes, é necessária também a caracterização da $t_{1/2}$ para os seus metabólitos (LAVORENTI et al., 2003). Entre os produtos utilizados encontram-se desde produtos pouco persistentes como o S-metolachlor que apresenta $t_{1/2}$ entre 15 e 50 dias a produtos persistentes como o imazaquin que apresenta $t_{1/2}$ de até 210 dias (VIDAL, 2002).

A S refere-se à quantidade máxima de moléculas que pode ser dissolvida em água a uma determinada temperatura. A S é uma das principais propriedades que afetam o destino do herbicida no solo. Em geral, herbicidas com alta S apresentam baixos coeficientes de sorção em solos devido a baixa afinidade aos colóides do solo e, portanto, tendem a apresentar lixiviação no perfil do solo mais acentuada do que herbicidas de baixa S (ROBERTS et al., 1998; ROBERTS & HUDSON, 1999; SINGH & KULSHRESTHA, 2006). Dos compostos utilizados nesta dissertação

encontram-se desde herbicidas pouco solúveis como o imazaquin, até altamente solúveis como o paraquat (Tabela 1.1).

1.3 Objetivos gerais

Este trabalho teve como finalidade verificar a influencia dos herbicidas dessecantes paraquat e glyphosate no comportamento dos herbicidas residuais S-metolachlor e imazaquin. Para isto, foi determinada a persistência e a lixiviação dos herbicidas residuais quando associado aos dessecantes.

1.4 Organização desta dissertação

Inicialmente foi realizada uma introdução geral com o intuito de situar o leitor com relação à problemática que estimulou o desenvolvimento desta dissertação e as possíveis vantagens da associação entre herbicidas dessecantes e residuais. Ainda neste capítulo foi conceituada a persistência e a lixiviação dos herbicidas no solo; foi abordado o método utilizado para determinar o destino no solo dos compostos residuais utilizados e as características físico-químicas dos produtos que são importantes na análise e compreensão dos resultados obtidos nos próximos capítulos.

Nos capítulos II e III foram determinadas a persistência e a lixiviação, respectivamente, dos herbicidas residuais S-metolachlor e imazaquin quando associados aos herbicidas dessecantes paraquat e glyphosate. A introdução desses capítulos situa o leitor com relação à importância desse tema e os trabalhos existentes na literatura a respeito do destino dos herbicidas residuais utilizados neste trabalho.

No capítulo IV é feita uma abordagem geral que engloba os resultados dos capítulos II e III nos contextos metodológicos, agronômicos, econômicos e ambientais, com o objetivo de discuti-los de forma interdisciplinar. Nos apêndices há informações suplementares que podem ajudar o leitor na compreensão do texto.

2. CAPÍTULO II – PERSISTÊNCIA DOS HERBICIDAS S-METOLACHLOR E IMAZAQUIN QUANDO ASSOCIADOS AOS HERBICIDAS GLYPHOSATE OU PARAQUAT

2.1 Introdução

A associação de herbicidas dessecantes com residuais tem sido comum entre os agricultores no manejo das áreas sob semeadura direta. Essa prática permite dessecar a cultura de inverno que vai ser utilizada como cobertura morta e também evitar a reinfestação de plantas daninhas na cultura de verão durante parte de seu ciclo.

O sistema de semeadura direta deixa cobertura vegetal sobre a superfície do solo e pode suprimir a germinação e a emergência de plantas daninhas (BURGOS & TALBERT, 1996; THEISEN et al., 2000). Mas a manutenção de palha sobre a superfície promove alterações que afetam a dinâmica dos herbicidas aplicados ao solo (LEVANON et al., 1993; WEED et al., 1995; FERRI & VIDAL, 2003).

A atividade e a permanência do herbicida acetochlor foi reduzida com o aumento da cobertura vegetal na superfície do solo, reduzindo o controle de plantas daninhas (FERRI et al., 2002; FERRI et al., 2006). Metolachlor aplicado sobre cobertura morta formada por *Vicia villosa* Roth teve menor eficiência no controle de plantas daninhas quando comparado ao sistema sem cobertura, devido à redução da concentração de metolachlor no solo ocasionada pela cobertura da superfície do solo (TEASDALE et al., 2003). A disponibilidade do herbicida trifluralin no solo foi maior no sistema de semeadura convencional quando comparado ao sistema de semeadura direta (CHAUHAN et al., 2006). Isso ocorre, provavelmente, devido ao fato que a cobertura vegetal possui maior capacidade de sorção que o solo (REDDY et al., 1995; DOZIER et al., 2002). Porém, o comportamento do imazaquin no solo

não foi afetado pela cobertura de *Triticum aestivum* L. com até 5900 kg ha⁻¹ (SCHMITZ et al., 2001).

O herbicida S-metolachlor é um composto não ionizável, que pertence ao grupo químico das acetamidas. É aplicado, em pré-emergência ou pré-plantio incorporado, para o controle de algumas monocotiledôneas e dicotiledôneas, atuando como inibidor da parte aérea das plantas, de forma seletiva para as culturas do milho e soja (AHRENS, 1994; VIDAL & FLECK, 2001). O produto formulado DUAL[®] é formado por dois isômeros R e dois S de metolachlor, que estão presentes em proporções iguais no herbicida. Os isômeros S apresentam maior atividade herbicida do que os isômeros R (MOSER et al., 1982). Com o conhecimento dessa propriedade foi desenvolvido um novo sistema catalítico que produziu uma nova formulação enriquecida (>80%) com os isômeros S, a qual foi denominada S-metolachlor, originando o produto formulado DUAL GOLD[®] (BLASER & SPINDLER 1997; SPINDLER et al., 1998). Estudos demonstram similaridade entre metolachlor e S-metolachlor quanto ao seu comportamento no ambiente (O'CONNELL et al., 1998).

Há grande variabilidade no tempo de permanência do S-metolachlor no solo. Estudos realizados em laboratório mostram que a meia-vida do S-metolachlor no solo varia entre 6 e 100 dias, dependendo das condições em que a pesquisa foi realizada (O'CONNELL et al., 1998; DINELLI et al., 2000; SEYBOLD et al., 2001; MERSIE et al., 2004; MA et al., 2006; ACCINELLI et al., 2005). Sob condições de campo, os trabalhos evidenciam que a meia-vida do metolachlor varia entre 8 e 85 dias (O'CONNELL et al., 1998; DINELLI et al., 2000; BURGARD et al., 1993; LAABS et al., 2002). A degradação do metolachlor no solo ocorre através de processo microbiano (ACCINELLI et al., 2001). Trabalhos de campo e laboratório demonstram

que a intensidade da dissipação está relacionada à biomassa e atividade microbiana no solo (STADDON et al., 2001 e ACCINELLI et al., 2006).

O herbicida imazaquin é um composto anfótero, possuindo um ácido fraco carboxílico e uma base fraca quinolina como grupos funcionais ionizáveis (STOUGAARD et al., 1990) e pertence ao grupo químico das imidazolinonas. É aplicado, em pré-emergência, pré-plantio incorporado ou pós-emergência, para o controle de algumas monocotiledôneas e grande número de dicotiledôneas, atuando como inibidor da enzima acetolactato sintase (ALS), de forma seletiva para a cultura da soja (AHRENS, 1994; TREZZI & VIDAL, 2001).

Também há grande variabilidade no período de permanência do imazaquin no solo. Estudos de laboratório mostram que a meia-vida do imazaquin varia entre 39 a 1330 dias, dependendo das condições do experimento (BASHAM & LAVY 1987; LOUX & REESE, 1992; AICHELE & PENNER, 2005). Pesquisas a campo mostram que a meia-vida do imazaquin varia entre 8 e 71 dias (BAUGHMAN & SHAW, 1996; SEIFERT et al., 2001; SMITH et al., 2005). A dissipação do imazaquin a campo é maior do que a observada em laboratório. O aumento da degradação do imazaquin a campo em relação ao laboratório pode se dar pela fotodegradação (KATAGI, 2004; QUIVET et al., 2006). Mas, a dissipação do imazaquin no solo ocorre principalmente pela degradação microbiana (FLINT & WITT, 1997; GREENLAND, 2003).

A aplicação conjunta de glyphosate e atrazine no solo estimulou maior atividade microbiana do que quando se aplicou somente atrazine. Mas a degradação de atrazine foi similar entre os tratamentos atrazine e glyphosate + atrazine, com exceção dos tratamentos compostos por duas e seis vezes a dose máxima de rótulo dos herbicidas, aos 28 e 14 dias após a aplicação dos herbicidas, respectivamente, onde glyphosate aumentou ligeiramente a degradação de atrazine (HANEY et al.,

2002). Entretanto, em trabalho similar, a presença em grande quantidade do glyphosate (129 mg kg^{-1} de solo) estimulou a atividade microbiana que simultaneamente inibiu a degradação do herbicida atrazine aos oito dias após a aplicação dos herbicidas associados, mostrando que a degradação do atrazine está inversamente correlacionada com as doses de glyphosate aos oito dias após a aplicação e a atividade microbiana (KRUTZ et al., 2003). Estas discrepâncias entre os estudos podem indicar que a degradação de herbicidas em associação pode ser dependente da concentração dos mesmos.

Além da interação entre herbicida dessecante e residual, interações entre herbicidas residuais aplicados em associação influenciam a degradação dos mesmos no solo. O herbicida atrazine retardou a degradação do herbicida cyanazine em extratos celulares (GEBENDINGER & RADOSEVICH, 1999). A mineralização e a degradação do atrazine por microrganismos foi atrasada por altas concentrações de metolachlor, mas não por trifluralin (MOORMAN et al., 2001). Entretanto, os herbicidas atrazine e pendimethalin, na concentração de 50 mg kg^{-1} de solo, não tiveram efeitos na degradação do metolachlor (ANHALT et al., 2000).

2.1.1 Hipóteses

- a)** Há diferenças na permanência dos herbicidas residuais no solo, quando estes forem aplicados simultaneamente ou seqüencialmente aos herbicidas totais;
- b)** Glyphosate favorece a degradação de herbicidas residuais quando associados entre si.

2.1.2 Objetivos

Determinar a persistência dos herbicidas residuais S-metolachlor e imazaquin, quando associados com herbicidas dessecantes, e aplicados sobre cobertura vegetal.

2.2 Materiais e métodos

2.2.1 Locais dos experimentos

O experimento foi instalado a campo no dia 21 de outubro de 2005, na Estação Experimental Agronômica da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (EEA/UFRGS), localizada em Eldorado do Sul, região fisiográfica da Depressão Central do RS, e em casa de vegetação da Faculdade de Agronomia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), localizada no município de Porto Alegre. O solo da EEA/UFRGS é classificado, segundo o Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (EMBRAPA, 1999), como Argissolo Vermelho Distrófico típico, contendo 28% de argila.

2.2.2 Experimento a campo

O delineamento experimental utilizado foi blocos casualizados, com quatro repetições, sendo os tratamentos distribuídos em parcelas subdivididas. Nas parcelas principais foram alocados os herbicidas dessecantes: paraquat (600 g ha^{-1}) ou glyphosate (720 g ha^{-1}), nas subparcelas os herbicidas residuais S-metolachlor (2800 g ha^{-1}) e imazaquin (300 g ha^{-1}) associados ou aplicados seqüencialmente aos herbicidas dessecantes, assim como uma testemunha contendo apenas herbicida dessecante, sem aplicação de herbicidas residuais. A aplicação seqüencial foi

realizada cinco minutos após a dessecação. Cada unidade experimental mediu 2 x 5 m.

Os herbicidas foram pulverizados com equipamento costal, pressurizado com CO₂, à pressão constante de 200 kPa, bicos tipo leque 8001, distantes entre si em 0,50 m na barra de 1,5 m de largura e volume de calda de 110 L ha⁻¹. A aplicação foi realizada das 16:00 às 16:55 horas. No momento da aplicação a temperatura média do ar foi igual a 27°C e a umidade relativa média do ar foi igual a 71%. A pulverização foi realizada sobre cobertura vegetal viva formada por plantas de *Lolium multiflorum* Lam. que estavam na fase de floração. A massa seca total da cobertura viva era de 2800 kg ha⁻¹. As precipitações pluviais foram medidas através de pluviômetro.

2.2.3 Coleta das amostras de solo

Inicialmente, o material vegetal foi retirado da superfície do solo, em seguida as amostras de solo foram coletadas nos primeiros 5 cm do perfil do solo. As amostras foram acondicionadas em copos plásticos com capacidade de 300 cm³, e logo após armazenadas à -5 °C. A coleta das amostras de solo foi distribuída no tempo, aos 1, 5, 10, 14, 21, 27, 35 dias após a aplicação (DAA) dos herbicidas a campo.

2.2.4 Bioensaio

Após as coletas de solo, distribuídas em diferentes intervalos após a aplicação dos herbicidas no campo (1 aos 35 DAA), realizou-se um bioensaio em casa de vegetação, utilizando *Raphanus sativus* L. como espécie indicadora da persistência dos herbicidas residuais. Três sementes pré-germinadas foram

semeadas em vasos com capacidade de 300 cm³. O desenvolvimento das plantas ocorreu em câmara de crescimento com temperatura média de 25,3 ± 3,1°C e umidade relativa do ar de 85,4 ± 9,8%, fotoperíodo de 12 h, com irrigação por aspersão.

No bioensaio, avaliaram-se variáveis como fitotoxicidade, estatura e massa seca. A fitotoxicidade foi avaliada aos 7, 14 e 21 dias após a semeadura (DAS) das plantas indicadoras nas amostras de solo coletadas em diferentes intervalos tempo, após a aplicação dos herbicidas no campo (1 aos 35 DAA); a estatura foi avaliada aos 11 e 21 DAS e a massa seca aos 21 DAS. Para fitotoxicidade, atribuíram-se notas que variaram de 0%, para ausência de efeito, a 100%, para efeito letal nas plantas. A estatura foi determinada através de régua milimétrica. A massa seca foi determinada através de balança com 0,001 g de precisão, após as plantas atingirem massa constante.

A biodisponibilidade dos herbicidas residuais no solo foi determinada através de curvas de calibração. Plantas foram semeadas no solo oriundo do local do experimento a campo (coletado antes da implementação) aspergidos com 0, 15, 30, 50, 65, 80 e 100% das doses máximas dos rótulos dos herbicidas imazaquin (150 g ha⁻¹) e S-metolachlor (1920 g ha⁻¹). Para o herbicida S-metolachlor realizou-se uma segunda curva de calibração (0, 1, 3, 6, 9 e 20% da dose máxima de rótulo) com o objetivo de aumentar a precisão da bioestimação deste herbicida no solo. As curvas de calibração foram obtidas através do programa computacional *Origin* 8.0, após submeter os dados à análise da variância.

A persistência dos herbicidas residuais no solo foi determinada mediante a cinética de dissipação de herbicidas (PAUL & CLARK, 1989), utilizando a equação 1.

$$\ln\left(\frac{[C_f]}{[C_i]}\right) = -kt \quad (1)$$

onde $[C_i]$ e $[C_f]$ são as concentrações de herbicidas indicadas pelo bioensaio no tempo inicial e final, respectivamente, k é a constante de dissipação do herbicida na tempo, e t é o tempo. A meia-vida ($t_{1/2}$) na solução do solo foi calculada pela equação 2. A $[C_i]$ foi considerada a partir da data após aplicação dos herbicidas onde houve a máxima quantidade disponível na solução do solo.

$$t_{1/2} = \frac{0,693}{k} \quad (2)$$

2.2.5 Análise estatística

Os dados obtidos no bioensaio foram convertidos para porcentagem em relação à testemunha sem herbicida. Os dados provenientes da variável estatura avaliados aos 11 dias após a semeadura (DAS) da planta indicadora foram utilizados para obter a biodisponibilidade (g ha^{-1}) dos herbicidas residuais no solo, através da curva de calibração. Os dados do bioensaio e da biodisponibilidade foram em seguida submetidos à análise da variância pelo teste F. As variáveis analisadas foram avaliadas através da comparação das médias de tratamentos pelo teste DMS a 5% de probabilidade de erro experimental ($P \geq 0,05$).

2.3 Resultados

Entre a pulverização dos herbicidas na cobertura vegetal até a primeira coleta de solo realizada ao primeiro dia após a aplicação (DAA) ocorreram chuvas no total de 21 mm. Outras precipitações ocorreram até o final das coletas de solo, sendo a de maior intensidade aquela entre as coletas dos 10 e 14 DAA, onde precipitaram 42

mm. Não ocorreram precipitações entre as coletas dos 14 e 21 e; 21 e 28 DAA. Entre a aplicação dos herbicidas e a finalização do estudo aos, 35 DAA, houve uma precipitação acumulada de 100 mm (Figura 2.1).

Não houve diferenças significativas, nas variáveis analisadas, entre a testemunha geral (sem herbicidas) e as testemunhas dessecantes (somente paraquat ou glyphosate), demonstrando que os herbicidas dessecantes não possuem atividade residual. Não ocorreram diferenças significativas, nas variáveis analisadas, entre a aplicação em associação e a aplicação seqüencial (Apêndices 1 e 2). Devido a isso, será apresentada a média das formas de aplicação de cada combinação de herbicidas dessecantes e residuais.

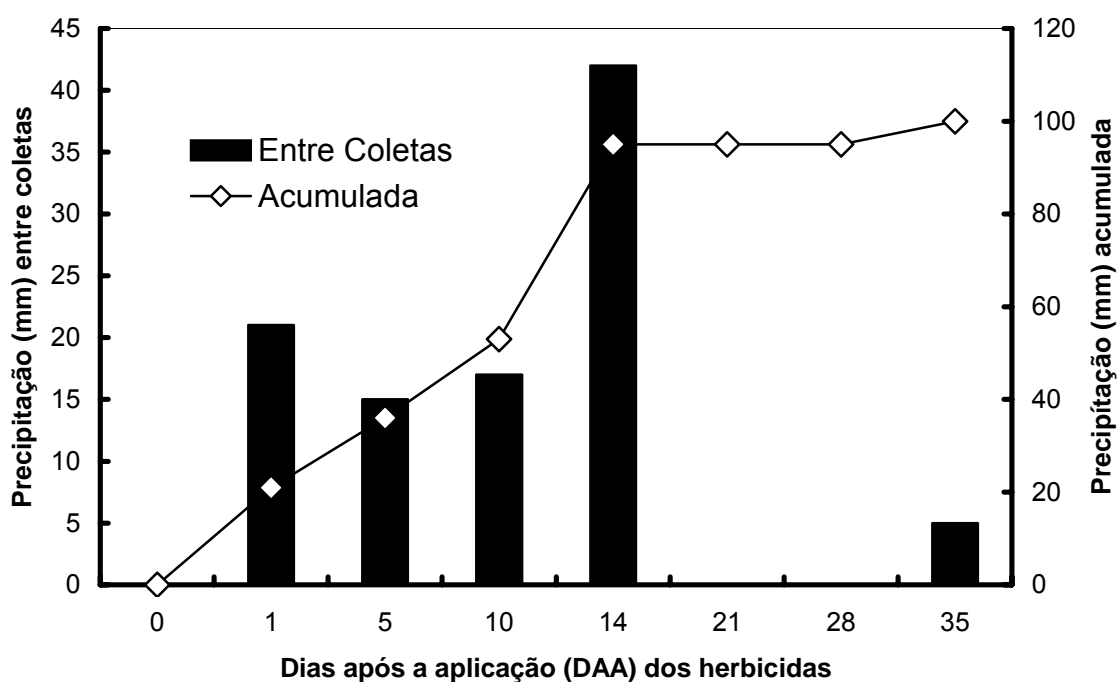


Figura 2.1 – Precipitação pluvial entre cada coleta (mm) e precipitação pluvial acumulada (mm) durante o estudo.

2.3.1 Fitotoxicidade

Na avaliação realizada aos 07 dias após a semeadura (DAS) observou-se que as plantas de nabo forrageiro apresentaram baixos sintomas de toxicidade quando semeadas no solo coletado no primeiro DAA do S-metolachlor, independente do herbicida dessecante utilizado. Isso indica que a primeira precipitação de 21 mm não foi suficiente para mover o S-metolachlor da cobertura vegetal para a solução do solo. Mas, uma segunda precipitação de 15 mm, ocorrida entre a primeira coleta de solo e a coleta realizada aos 5 DAA, foi suficiente para mover quantidade do produto da cobertura vegetal ao solo para causar toxicidade na planta indicadora (Figura 2.2).

Em solos coletados aos 5 e 10 DAA, o S-metolachlor associado ao glyphosate causou menor fitotoxicidade do que quando associado ao paraquat. A diferença entre os herbicidas dessecantes não foi significativa aos 14 DAA, provavelmente, devido à precipitação de 42 mm, que deve ter deslocado S-metolachlor da cobertura vegetal para a solução do solo, principalmente quando o S-metolachlor estava associado ao glyphosate. A partir do 14 DAA ocorreu redução da toxicidade dos herbicidas nas plantas indicadoras e esta redução foi maior quando o S-metolachlor foi associado ao glyphosate, em comparação a sua associação com paraquat (Figura 2.2).

Para o herbicida imazaquin a primeira precipitação foi suficiente para mover uma grande quantidade do produto da cobertura vegetal para a solução do solo. Assim, o aumento da toxicidade nas plantas de nabo forrageiro do 1 para o 5 DAA foi muito menor quando comparado ao S-metolachlor (Figura 2.3).

Aos 1, 5 e 21 DAA não houve diferenças significativas entre as associações dos herbicidas dessecantes. Porém, aos 10, 14 e 35 DAA a toxicidade causada às

plantas indicadoras causada por imazaquin foi maior quando associada ao glyphosate, em relação à sua associação com paraquat (Figura 2.3).

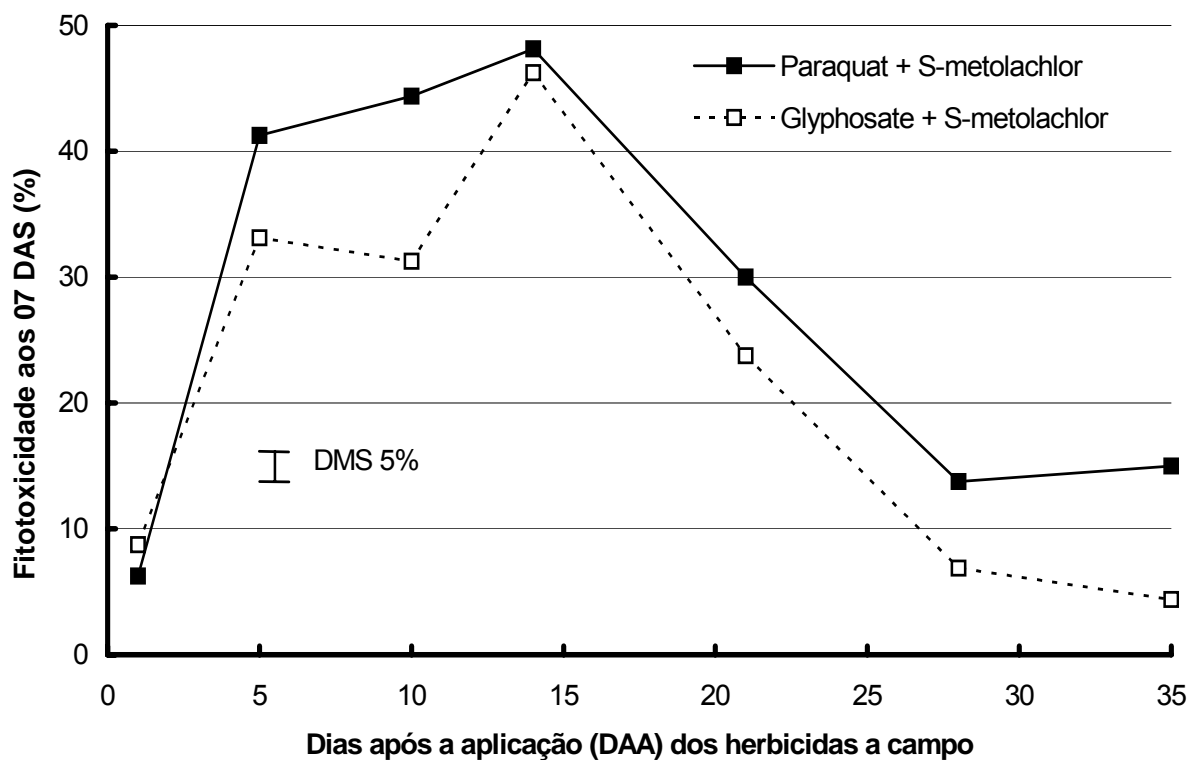


Figura 2.2 – Toxicidade de S-metolachlor associado a herbicidas dessecantes (paraquat e glyphosate) sobre nabo forrageiro, sete dias após a semeadura (DAS) do mesmo em amostras de solo com até 35 dias após a aplicação (DAA) dos herbicidas a campo.

A toxicidade nas plantas de nabo forrageiro, aos 14 DAS, causada pelo S-metolachlor, foi semelhante à avaliação de fitotoxicidade aos 07 DAS. Entretanto, não houve diferenças significativas entre as associações de herbicidas dessecantes aos 21 DAA dos mesmos a campo (Figura 2.4).

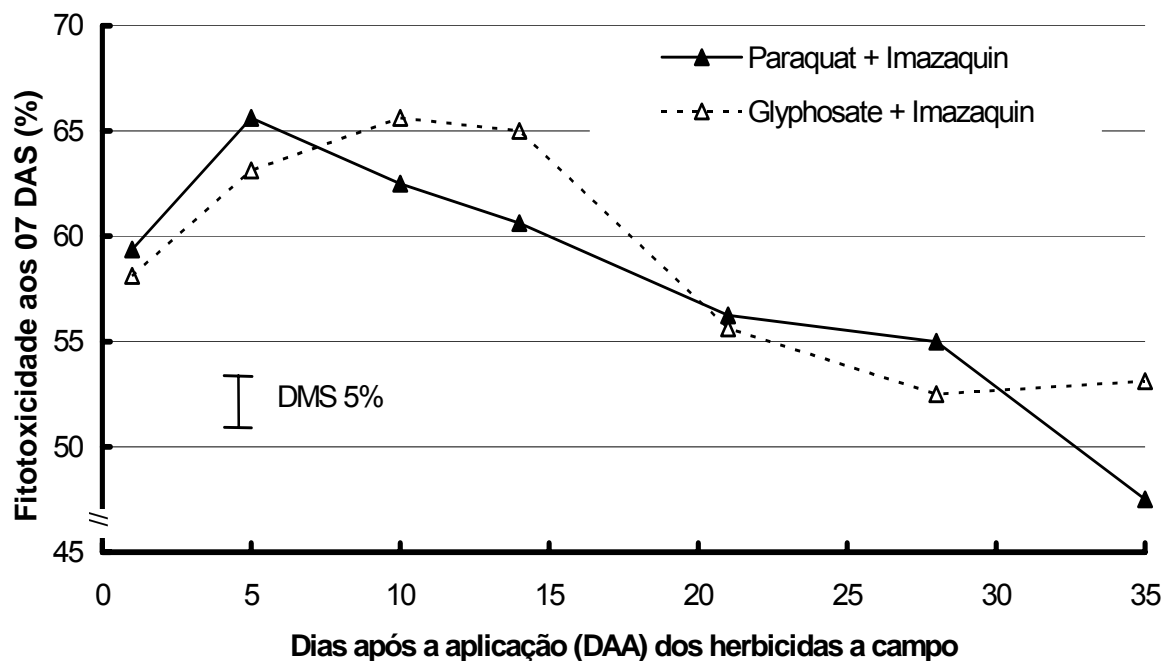


Figura 2.3 – Toxicidade de imazaquin associado a herbicidas dessecantes (paraquat e glyphosate) sobre nabo forrageiro, sete dias após a semeadura (DAS) do mesmo em amostras de solo com até 35 dias após a aplicação (DAA) dos herbicidas a campo.

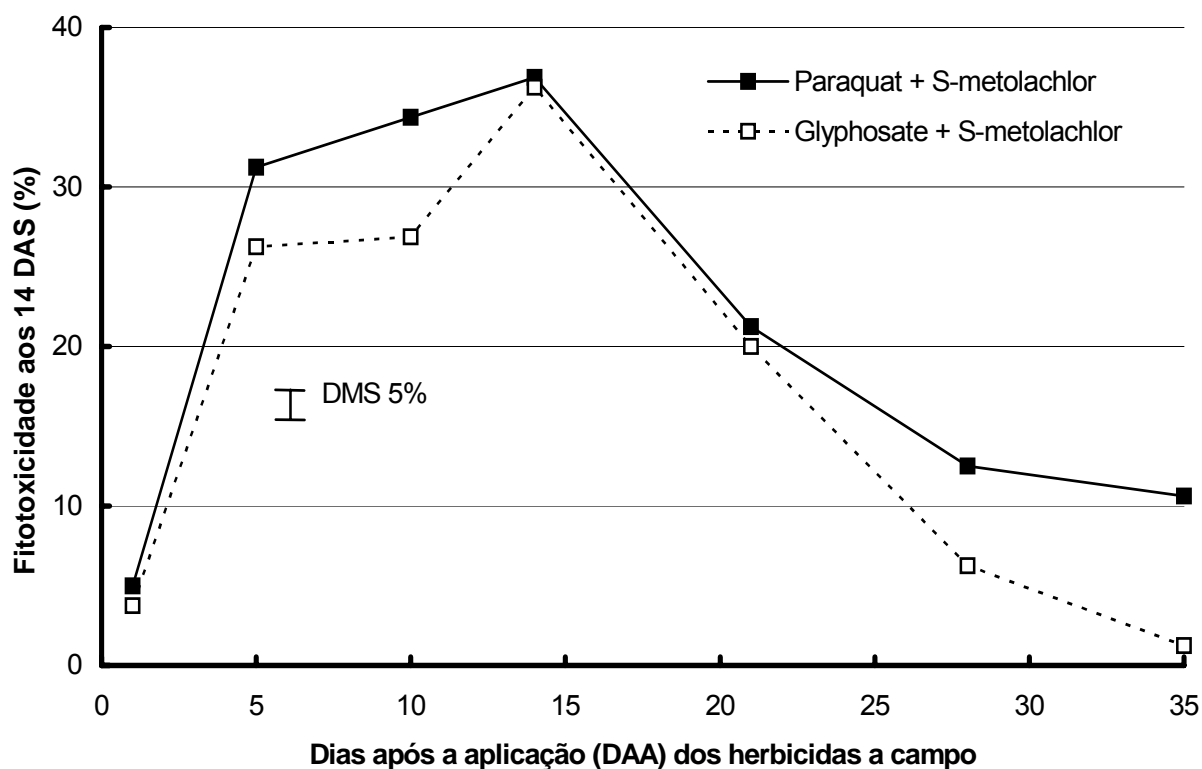


Figura 2.4 – Toxicidade de S-metolachlor associado a herbicidas dessecantes (paraquat e glyphosate) sobre nabo forrageiro, catorze dias após a semeadura (DAS) do mesmo em amostras de solo com até 35 dias após a aplicação (DAA) dos herbicidas a campo.

Quando o nabo forrageiro foi semeado no solo aspergido com imazaquin, a avaliação da toxicidade realizada aos 14 DAS revelou o mesmo comportamento da avaliação realizada aos 07 DAS. Porém, as diferenças significativas entre as associações dos herbicidas dessecantes ocorreram somente aos 21 e 35 DAA, sendo que o imazaquin associado ao glyphosate causou maior toxicidade às plantas de nabo forrageiro (Figura 2.5).

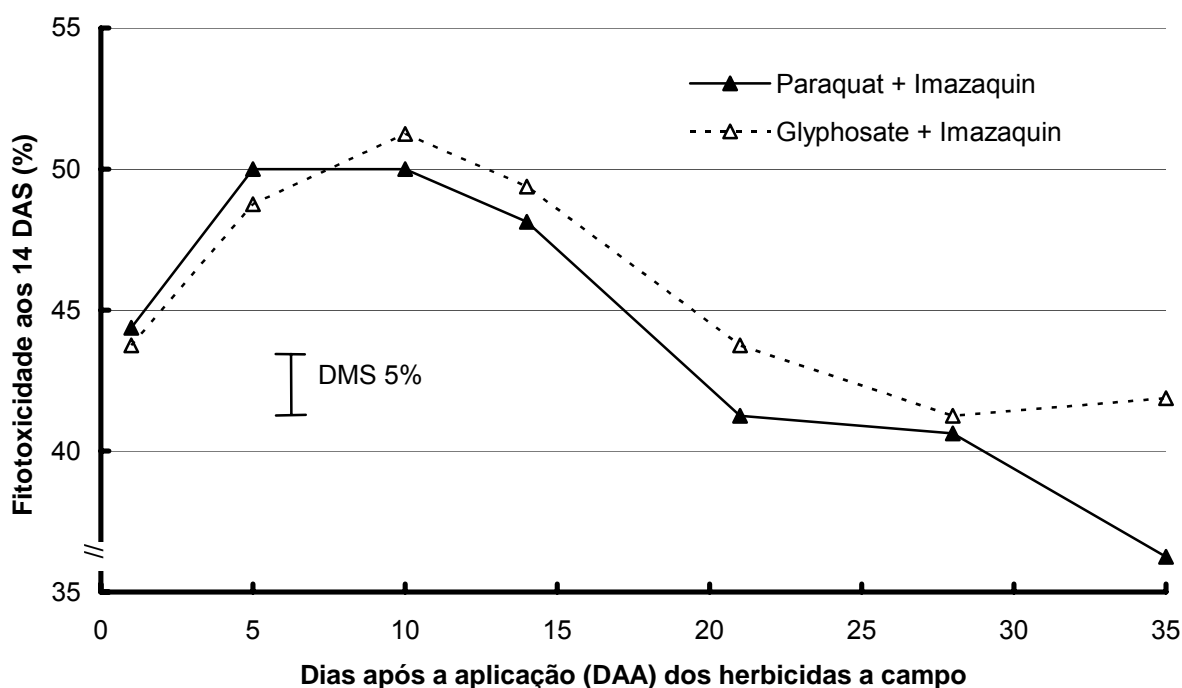


Figura 2.5 – Toxicidade de imazaquin associado a herbicidas dessecantes (paraquat e glyphosate) sobre nabo forrageiro, catorze dias após a semeadura (DAS) do mesmo em amostras de solo com até 35 dias após a aplicação (DAA) dos herbicidas a campo.

A toxicidade causada pelo S-metolachlor, aos 21 DAS, às plantas indicadoras foi similar à avaliação de fitotoxicidade aos 14 DAS (Figura 2.6). A fitotoxicidade do herbicida imazaquin aos 21 DAS, porém, apresentou um padrão de resposta diferente das avaliações anteriores. O imazaquin associado ao paraquat apresentou maior toxicidade às plantas indicadoras em todos os períodos de coleta, quando essa associação foi comparada à associação com glyphosate (Figura 2.7).

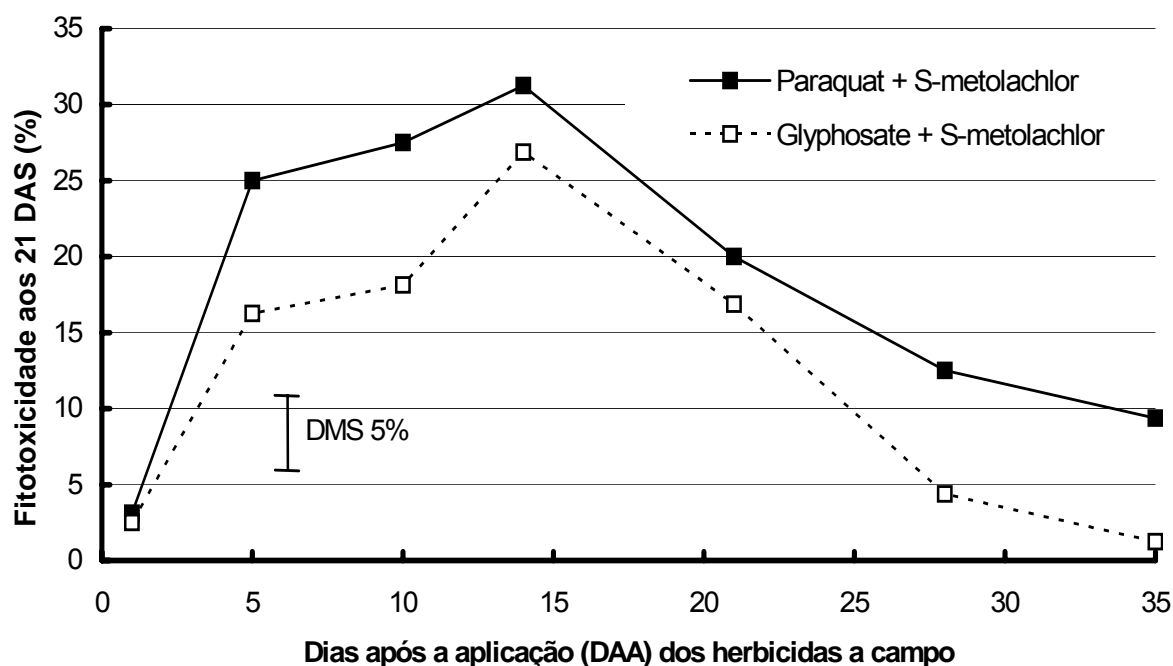


Figura 2.6 – Toxicidade de S-metolachlor associado a herbicidas dessecantes (paraquat e glyphosate) sobre nabo forrageiro, vinte e um dias após a semeadura (DAS) do mesmo em amostras de solo com até 35 dias após a aplicação (DAA) dos herbicidas a campo.

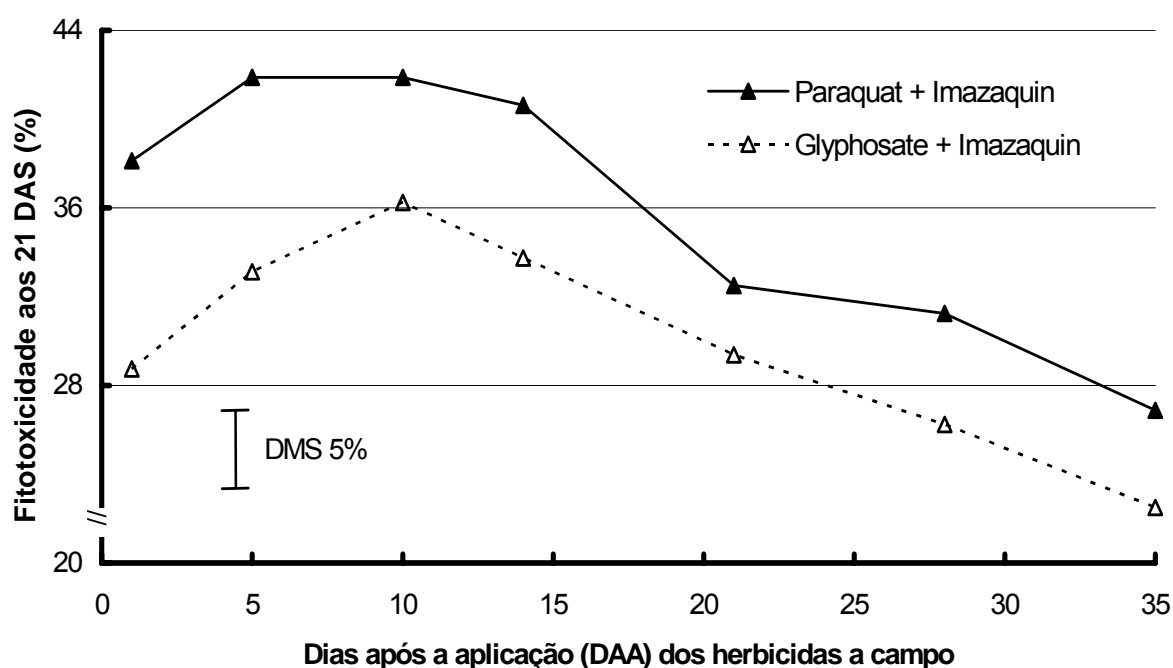


Figura 2.7 – Toxicidade de imazaquin associado a herbicidas dessecantes (paraquat e glyphosate) sobre nabo forrageiro, vinte e um dias após a semeadura (DAS) do mesmo em amostras de solo com até 35 dias após a aplicação (DAA) dos herbicidas a campo.

2.3.2 Estatura

As plantas de nabo forrageiro, aos 11 DAS, apresentaram estatura igual a testemunha quando semeadas no solo coletado no primeiro DAA do S-metolachlor, independente do herbicida dessecante utilizado. Os resultados de estatura, assim como os de fitotoxicidade, indicam que a primeira precipitação, de 21 mm, não foi suficiente para translocar o S-metolachlor da cobertura vegetal para a solução do solo (Figura 2.8).

A avaliação da estatura da planta realizada aos 11 DAS mostrou, assim como os resultados de fitotoxicidade, que a primeira precipitação foi suficiente para mover uma grande quantidade do imazaquin da cobertura vegetal para a solução do solo. Pois, a redução da estatura nas plantas indicadoras do 1 para o 5 DAA foi menor quando comparado ao S-metolachlor (Figura 2.9).

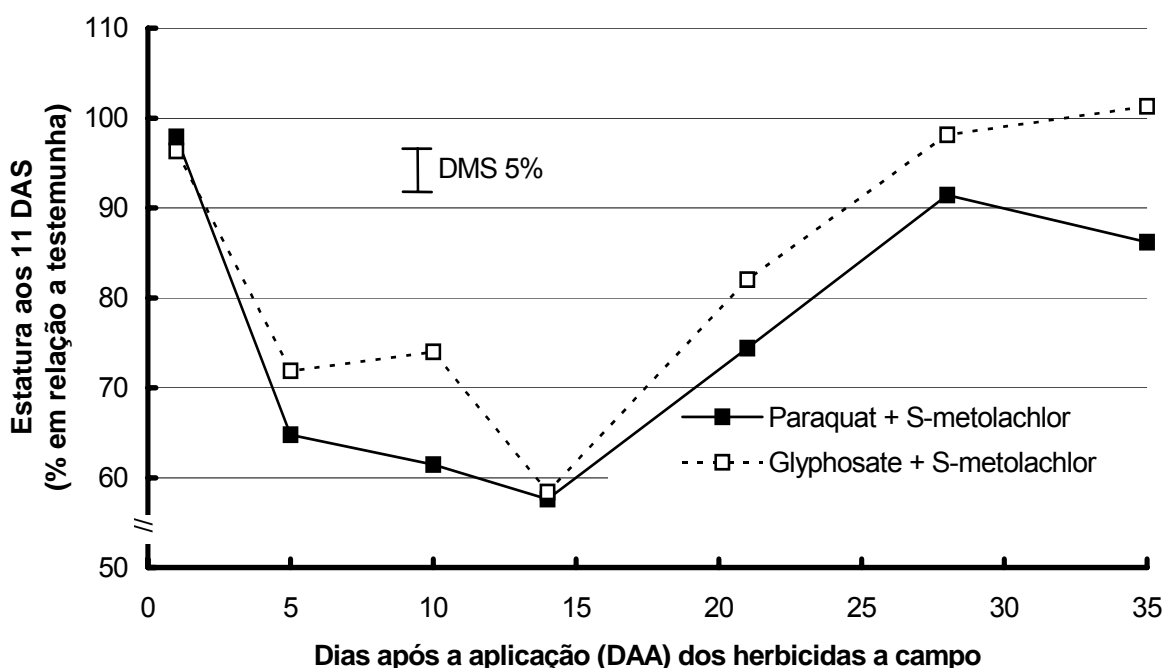


Figura 2.8 – Estatura (% em relação à testemunha) do nabo forrageiro, em função do S-metolachlor associado a herbicidas dessecantes (paraquat e glyphosate), onze dias após a semeadura (DAS) do mesmo em amostras de solo com até 35 dias após a aplicação (DAA) dos herbicidas a campo.

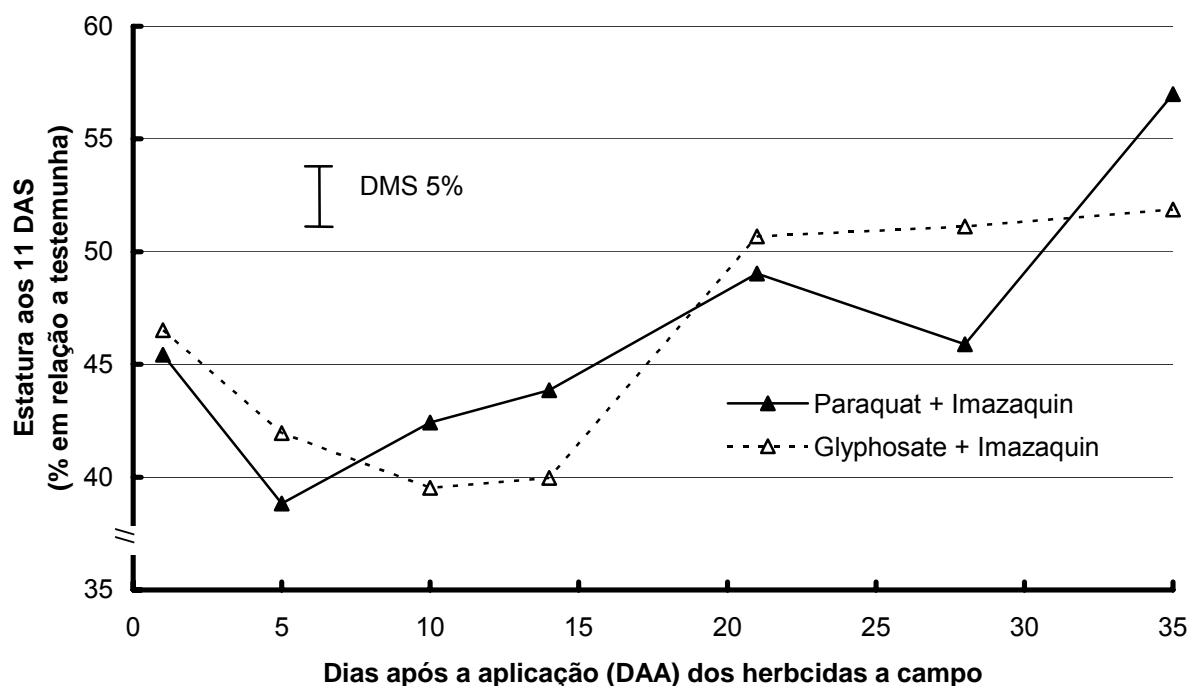


Figura 2.9 – Estatura (% em relação à testemunha) do nabo forrageiro, em função do imazaquin associado a herbicidas dessecantes (paraquat e glyphosate), onze dias após a sementeira (DAS) do mesmo em amostras de solo com até 35 dias após a aplicação (DAA) dos herbicidas a campo.

A redução na estatura das plantas de nabo forrageiro, aos 21 DAS, causada pelo S-metolachlor, foi semelhante à avaliação da estatura das plantas indicadoras aos 11 DAS. Entretanto, ocorreu menor número de diferenças significativas entre as associações de herbicidas dessecantes com o S-metolachlor aos 21 DAS em relação à avaliação realizada aos 11 DAS (Figura 2.10).

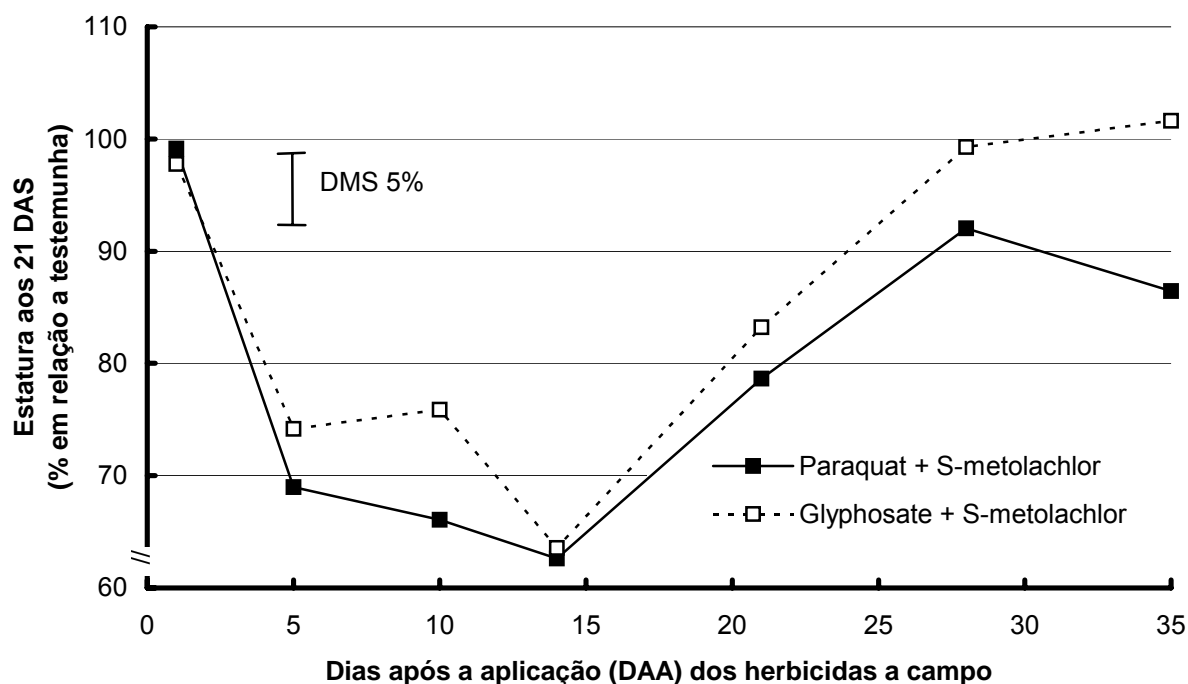


Figura 2.10 – Estatura (% em relação à testemunha) do nabo forrageiro, em função do S-metolachlor associado a herbicidas dessecantes (paraquat e glyphosate), vinte e um dias após a semeadura (DAS) do mesmo em amostras de solo com até 35 dias após a aplicação (DAA) dos herbicidas a campo.

A redução da estatura do nabo forrageiro aos 21 DAS, causada pelo imazaquin, apresentou o mesmo comportamento da avaliação realizada aos 11 DAS. Porém, as diferenças significativas entre a associação dos herbicidas dessecantes com o imazaquin ocorreram somente após 28 DAA dos herbicidas, em que a redução da estatura em relação a testemunha foi mais elevada quando o imazaquin estava associado ao paraquat do que com glyphosate. Entretanto, aos 35 DAA, a redução da estatura foi maior quando o imazaquin estava associado ao glyphosate do que com paraquat (Figura 2.11).

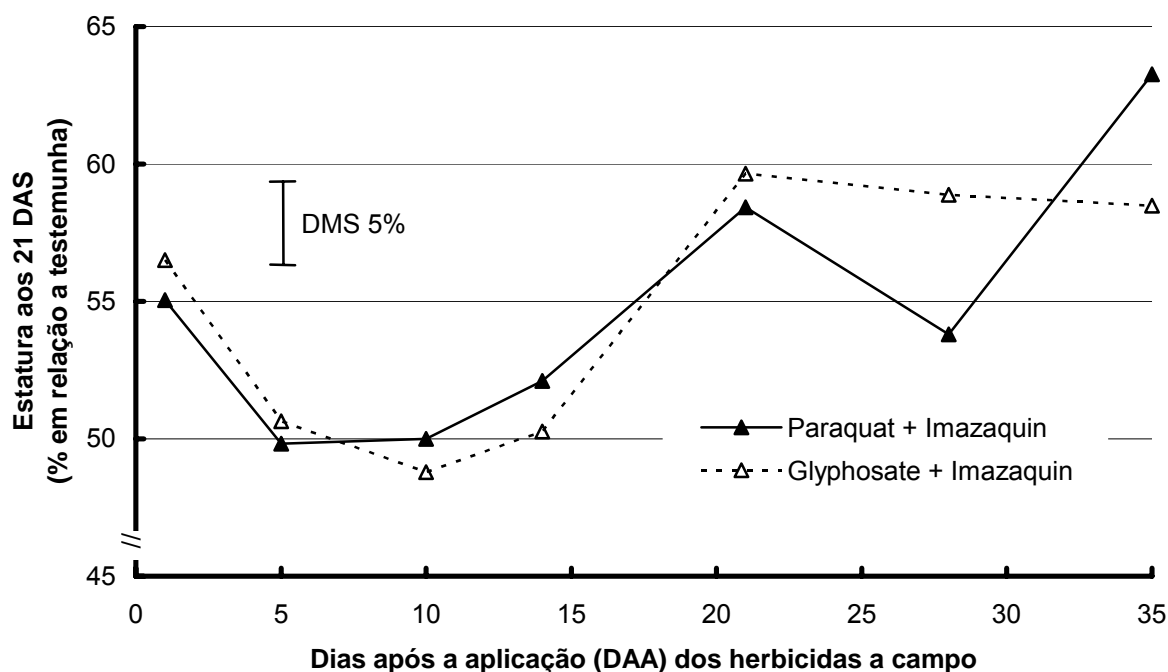


Figura 2.11 – Estatura (% em relação à testemunha) do nabo forrageiro, em função do imazaquin associado a herbicidas dessecantes (paraquat e glyphosate), vinte e um dias após a semeadura (DAS) do mesmo em amostras de solo com até 35 dias após a aplicação (DAA) dos herbicidas a campo.

2.3.3 Massa seca

A massa seca do nabo forrageiro avaliada aos 21 DAS demonstrou apenas uma diferença significativa entre as associações de herbicidas dessecantes com o S-metolachlor. Aos 35 DAA, a redução da massa seca das plantas indicadoras foi maior quando o S-metolachlor estava associado com paraquat (Figura 2.12).

Para o herbicida imazaquin, a partir dos 10 DAA ocorreram diferenças significativas entre as associações dos herbicidas dessecantes e o imazaquin, onde a redução da massa seca foi maior quando o imazaquin estava associado ao paraquat (Figura 2.13).

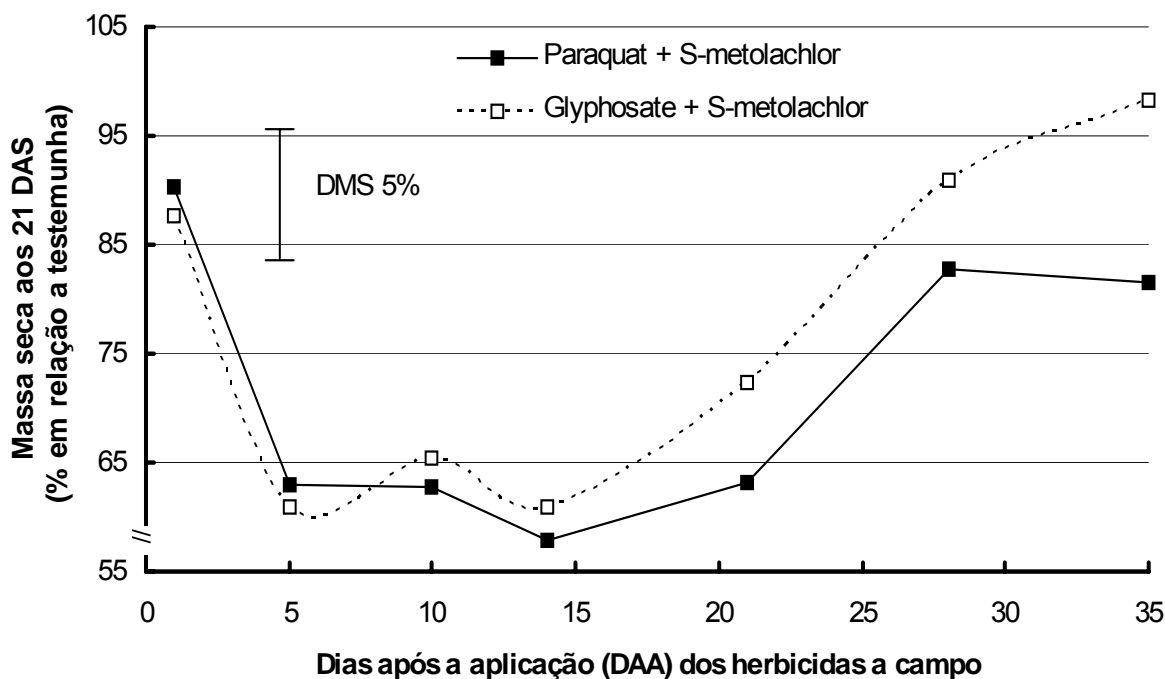


Figura 2.12 – Massa seca (% em relação à testemunha) do nabo forrageiro, em função do S-metolachlor associado a herbicidas dessecantes (paraquat e glyphosate), vinte e um dias após a semeadura (DAS) do mesmo em amostras de solo com até 35 dias após a aplicação (DAA) dos herbicidas a campo.

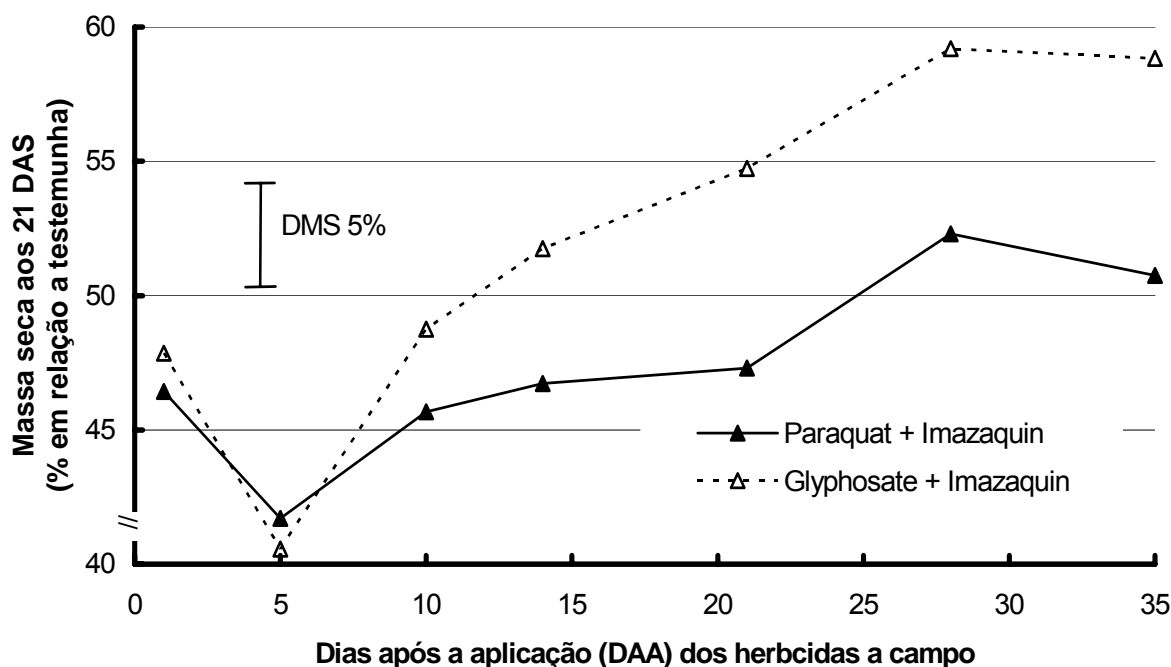


Figura 2.13 – Massa seca (% em relação à testemunha) do nabo forrageiro, em função do imazaquin associado a herbicidas dessecantes (paraquat e glyphosate), vinte e um dias após a semeadura (DAS) do mesmo em amostras de solo com até 35 dias após a aplicação (DAA) dos herbicidas a campo.

2.3.4 Biodisponibilidade e meia-vida obtida através das primeiras curvas de calibração

Através de ensaio de dose-resposta foram obtidas as curvas de calibração do S-metolachlor e imazaquin por meio da variável estatura do nabo forrageiro avaliada aos 11 DAS. As equações de ajuste para ambos os herbicidas seguiram o modelo polinomial, com R^2 igual a 0,96 e 0,90 para S-metolachlor e imazaquin, respectivamente (Figuras 2.14 e 2.15).

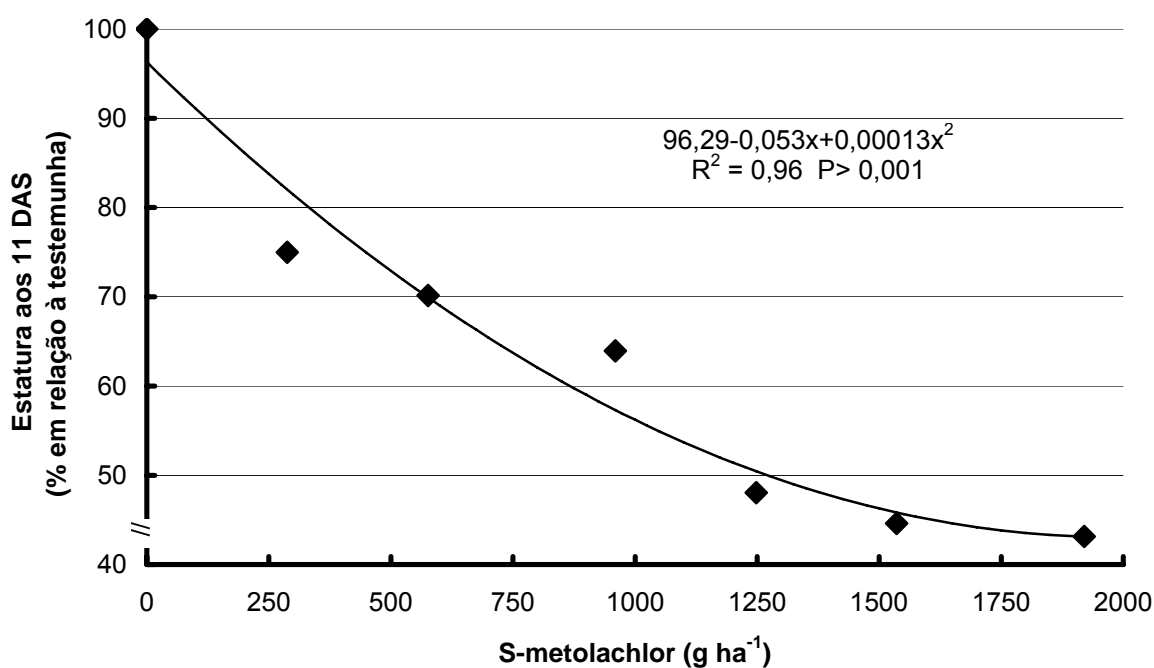


Figura 2.14 – Estatura (% em relação à testemunha) do nabo forrageiro, em função de doses do herbicida S-metolachlor, onze dias após a semeadura do mesmo.

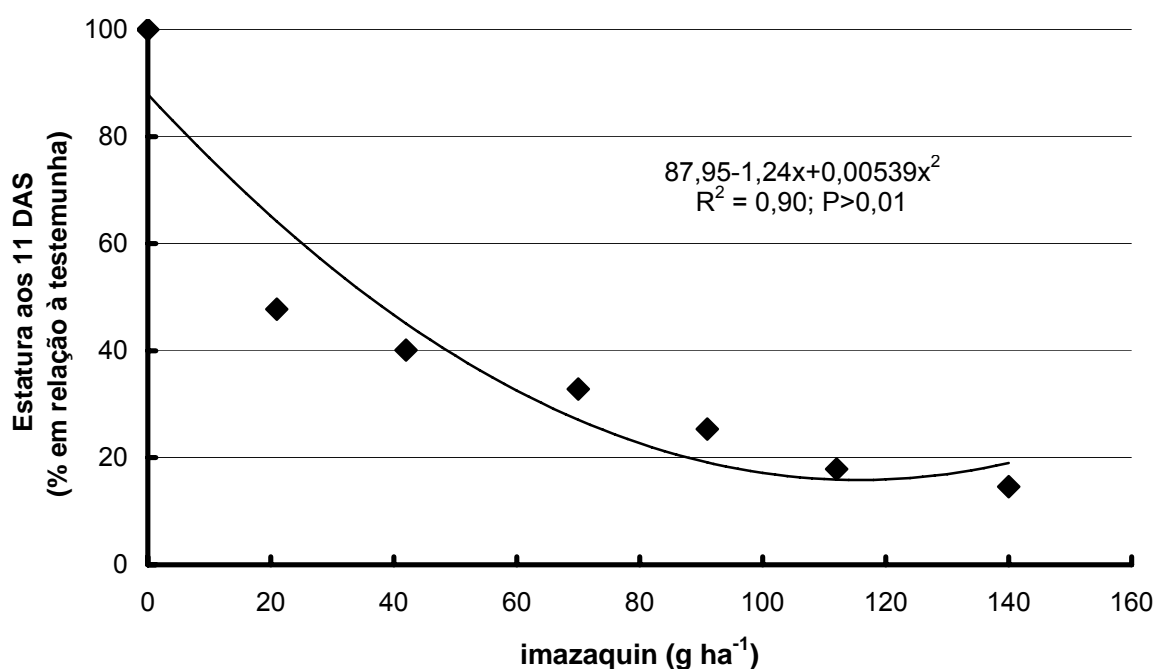


Figura 2.15 – Estatura (% em relação à testemunha) do nabo forrageiro, em função de doses do herbicida imazaquin, onze dias após a semeadura do mesmo.

Através das curvas de calibração e a variável estatura avaliada aos 11 DAS do nabo forrageiro semeado no solo coletado a campo (Figuras 2.8 e 2.9), determinou-se a biodisponibilidade e a meia-vida dos herbicidas S-metolachlor e imazaquin na solução do solo (Figuras 2.16 e 2.17).

Após determinar pela primeira vez a biodisponibilidade e a meia-vida dos herbicidas residuais, através das curvas de calibração e a variável estatura avaliada aos 11 DAS, verificou-se que a faixa de concentração do S-metolachlor e imazaquin estava em uma parte pouco explorada das primeiras curvas de calibração. Na primeira curva de calibração a estatura aos 11 DAS do nabo forrageiro foi avaliada entre 0 e 1920 g ha⁻¹ de S-metolachlor e 0 e 140 g ha⁻¹ de imazaquin (Figuras 2.14 e 2.15). Mas, a disponibilidade desses herbicidas na solução do solo concentrou-se na parte inicial da curva de calibração, principalmente para o herbicida S-metolachlor, onde há poucos pontos de inferência, o que diminui a precisão na determinação da

biodisponibilidade e meia-vida. Devido a isso, foi determinada uma nova curva de calibração para o herbicida S-metolachlor, sob as mesmas condições da curva anterior, com uma menor faixa de concentração 0 a 384 g ha⁻¹ de S-metolachlor (Figura 2.18). Para o herbicida imazaquin, foi possível reutilizar a primeira curva de calibração, usando somente a posição linear da curva de calibração (21 a 140 g ha⁻¹ de imazaquin) (Figura 2.19).

A cobertura vegetal evitou que o herbicida S-metolachlor atingisse o solo, pois apenas 3,3% do volume inicial aplicado foi detectado nos primeiros 5 cm do perfil do solo. Aos 1 e 14 DAA não houve diferenças significativas entre as associações dessecantes. Aos 5, 10, 21, 28 e 35 DAA a disponibilidade do herbicida S-metolachlor foi maior quando associado ao paraquat (Figura 2.16).

Para o herbicida imazaquin, 15,7% do volume inicial aplicado estava presente nos primeiros 5 cm do perfil do solo, independente do herbicida dessecante associado. Entre 1 e 10 DAA não houve diferenças significativas entre as associações dessecantes. Aos 14 DAA a disponibilidade do herbicida imazaquin foi maior quando associado ao glyphosate. Entretanto, aos 28 DAA a disponibilidade foi mais elevada quando o composto estava associado ao paraquat (Figura 2.17).

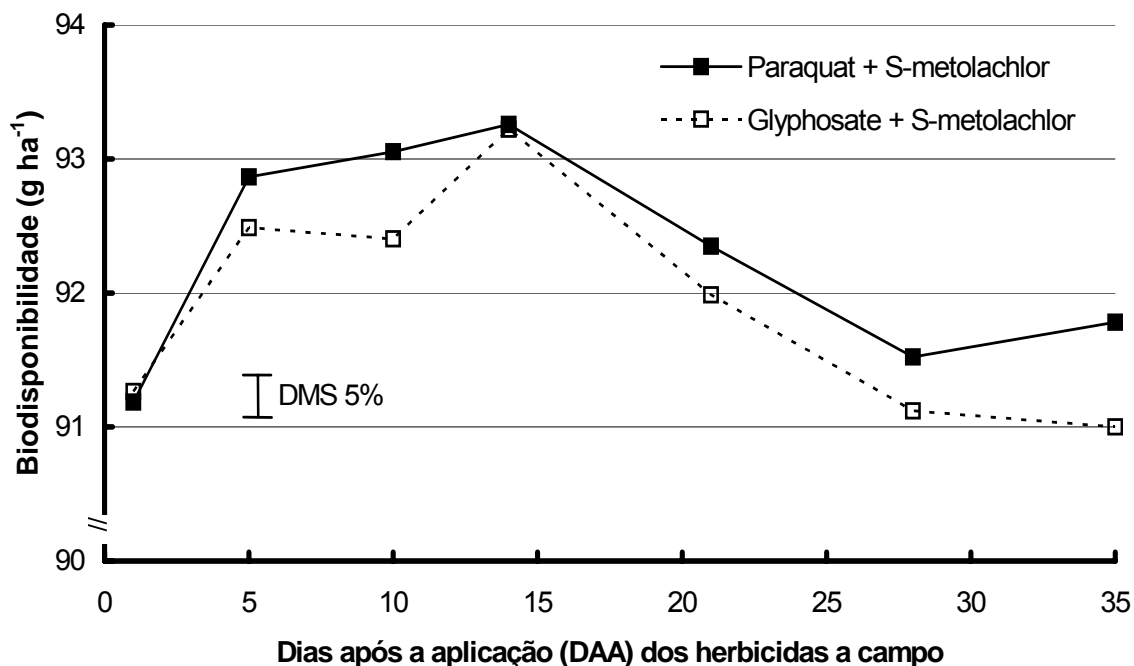


Figura 2.16 – Biodisponibilidade do S-metolachlor em função do herbicida dessecante (paraquat e glyphosate), obtido através da variável estatura avaliada aos onze dias após a semeadura (DAS) do nabo forrageiro em amostras de solo com até 35 dias após a aplicação (DAA) dos herbicidas a campo.

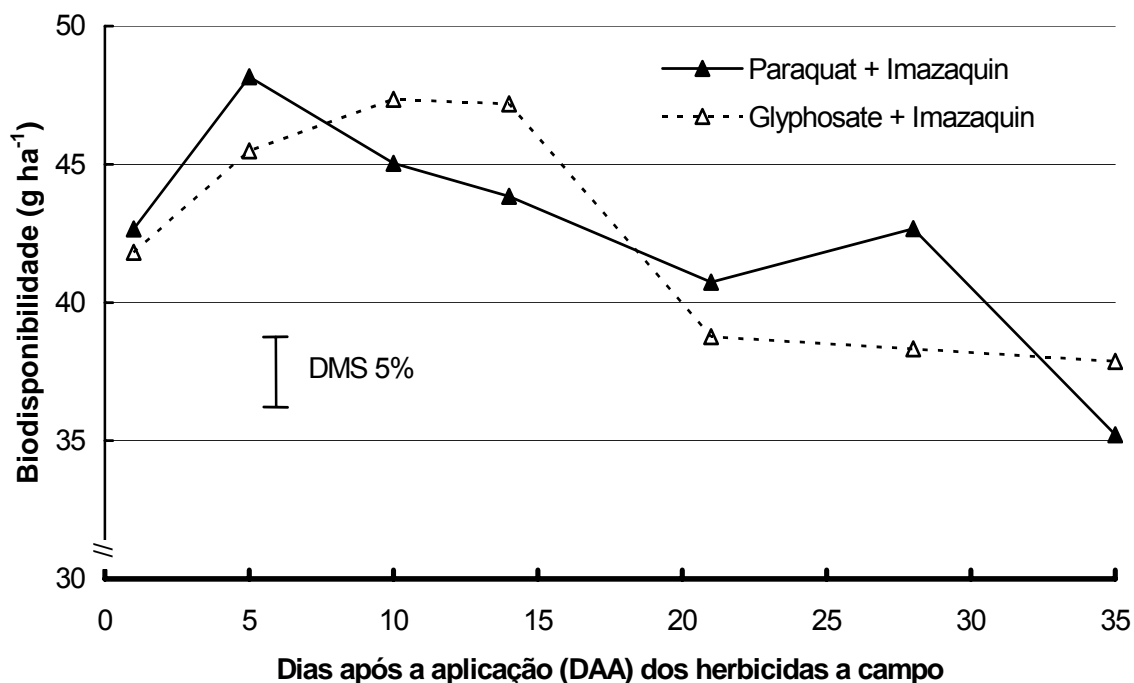


Figura 2.17 – Biodisponibilidade do imazaquin em função do herbicida dessecante (paraquat e glyphosate), obtido através da variável estatura avaliada aos onze dias após a semeadura (DAS) do nabo forrageiro em amostras de solo com até 35 dias após a aplicação (DAA) dos herbicidas a campo.

2.3.5 Biodisponibilidade e meia-vida obtida através das curvas de calibração mais precisas

Através das novas curvas de calibração e a variável estatura avaliada aos 11 DAS do nabo forrageiro semeado no solo coletado a campo (Figuras 2.8 e 2.9), determinou-se com maior precisão a biodisponibilidade e a meia-vida dos herbicidas S-metolachlor e imazaquin na solução do solo (Figuras 2.20 e 2.21).

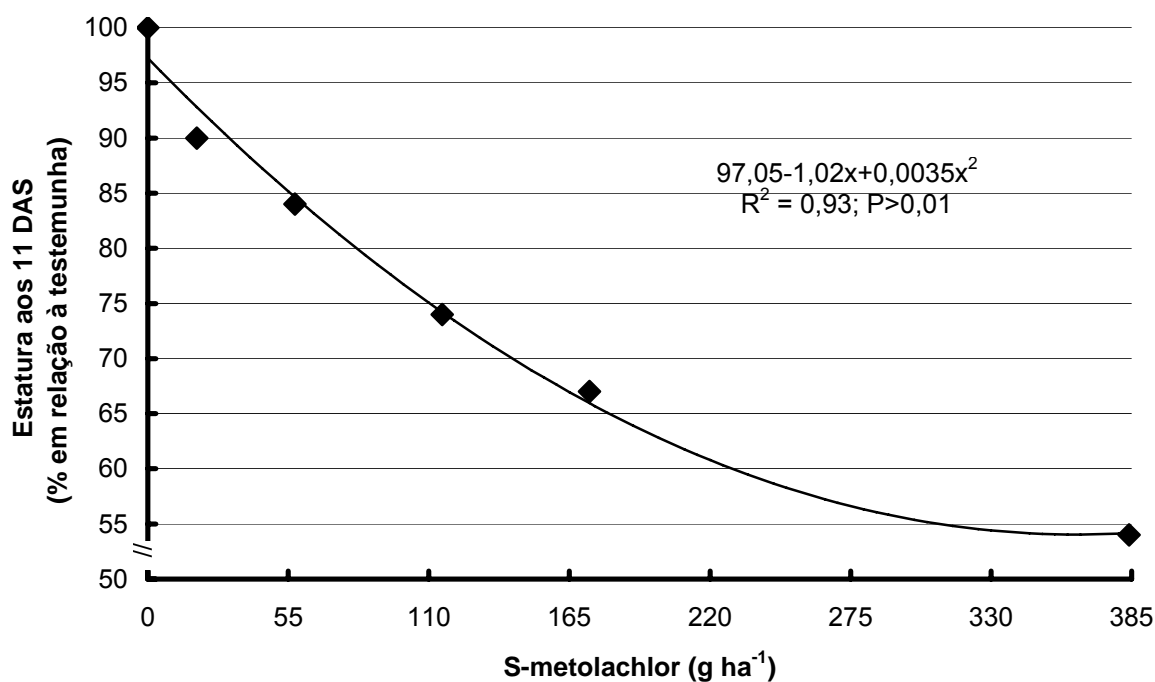


Figura 2.18 – Estatura (% em relação à testemunha) do nabo forrageiro, em função de doses do herbicida S-metolachlor, onze dias após a semeadura do mesmo.

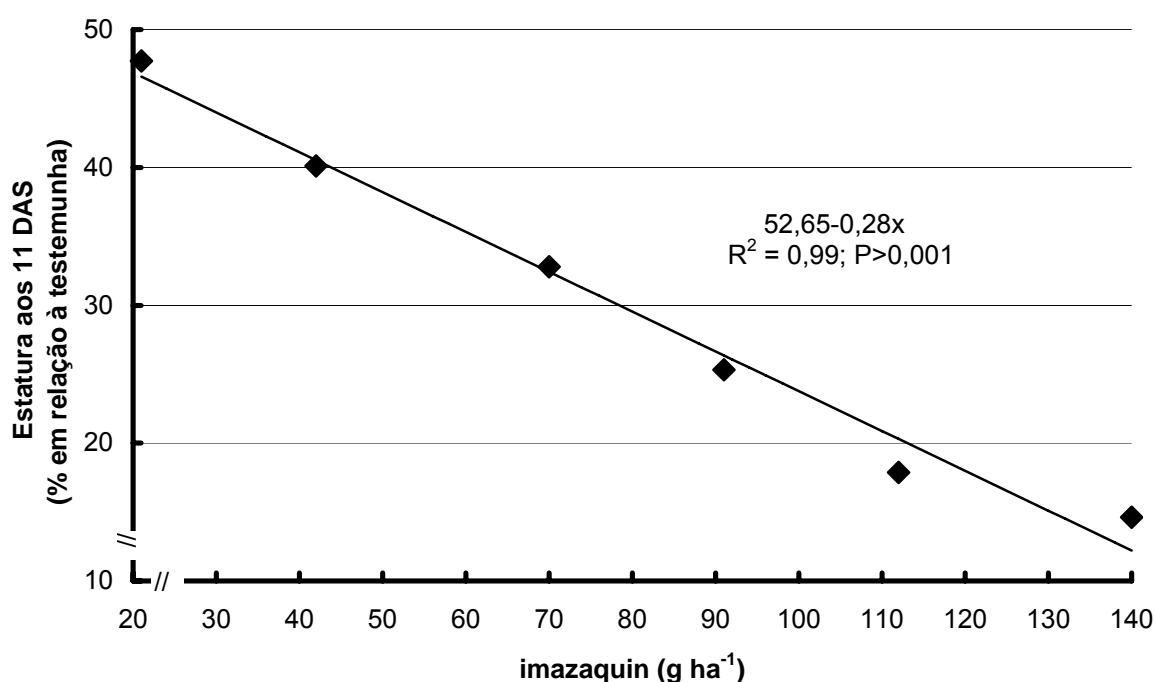


Figura 2.19 – Estatura (% em relação à testemunha) do nabo forrageiro, em função de doses do herbicida imazaquin, onze dias após a semeadura do mesmo.

Em geral, a quantidade dos herbicidas residuais bioestimada na solução do solo foi menor com o uso da segunda curva de calibração. Anteriormente, 3,3% do volume inicial do S-metolachlor aplicado (2800 g ha⁻¹) foi detectado no solo, agora, 3,0% do volume inicial foi detectado nos primeiros 5 cm do perfil do solo. As diferenças entre as associações de herbicidas dessecantes e residuais foram as mesmas apresentadas na primeira curva de calibração. Aos 1 e 14 DAA não houve diferenças significativas entre as associações. Aos 5, 10, 21, 28 e 35 DAA a disponibilidade do herbicida S-metolachlor foi maior quando associado ao paraquat (Figura 2.20).

A quantidade bioestimada de imazaquin disponível na solução do solo foi menor na segunda curva de calibração em relação à primeira. Na primeira, estimou-se que 15,7% do volume inicial aplicado (300 g ha⁻¹) estava presente nos primeiros 5

cm do perfil do solo, na segunda, 13,7% estavam disponíveis. A única diferença em relação a primeira curva de calibração, foi aos 35 DAA, onde houve diferença entre as associações de herbicidas dessecantes e residuais. Aos 1, 5, 10 e 21 DAA não houve diferenças significativas entre as associações. Aos 14 e 35 DAA a disponibilidade do herbicida imazaquin foi maior quando associado ao glyphosate. Entretanto, aos 28 DAA a disponibilidade foi mais elevada quando o composto estava associado ao paraquat (Figura 2.21).

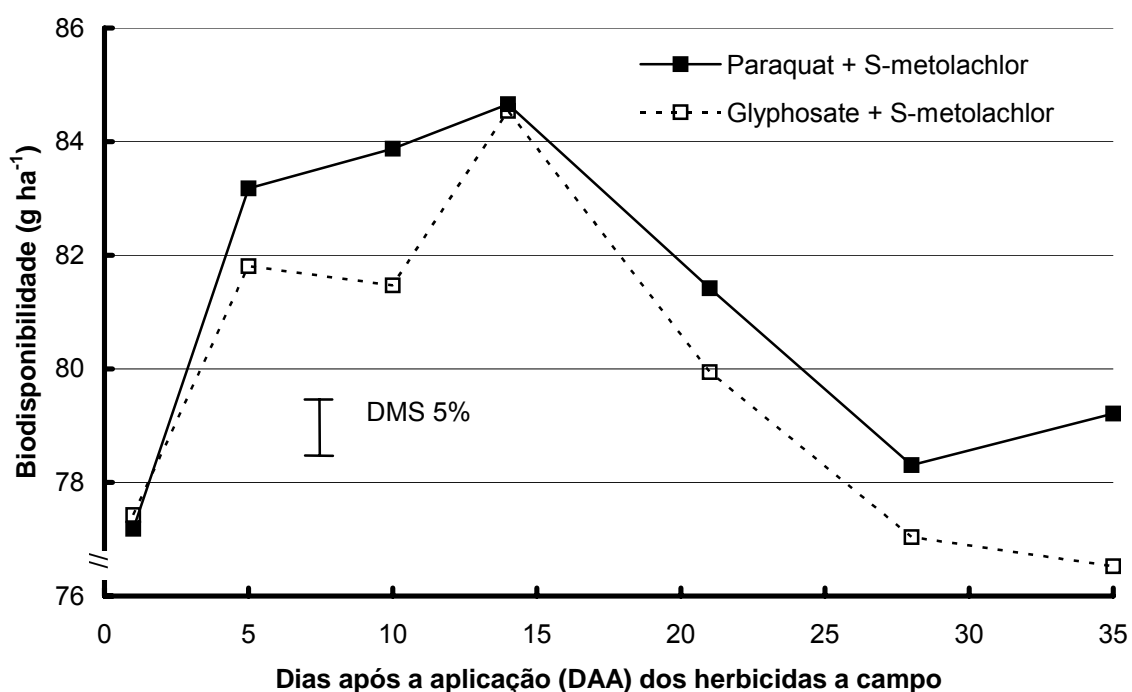


Figura 2.20 – Biodisponibilidade do S-metolachlor em função do herbicida dessecante (paraquat e glyphosate), obtido através da variável estatura avaliada aos onze dias após a semeadura (DAS) do nabo forrageiro em amostras de solo com até 35 dias após a aplicação (DAA) dos herbicidas a campo.

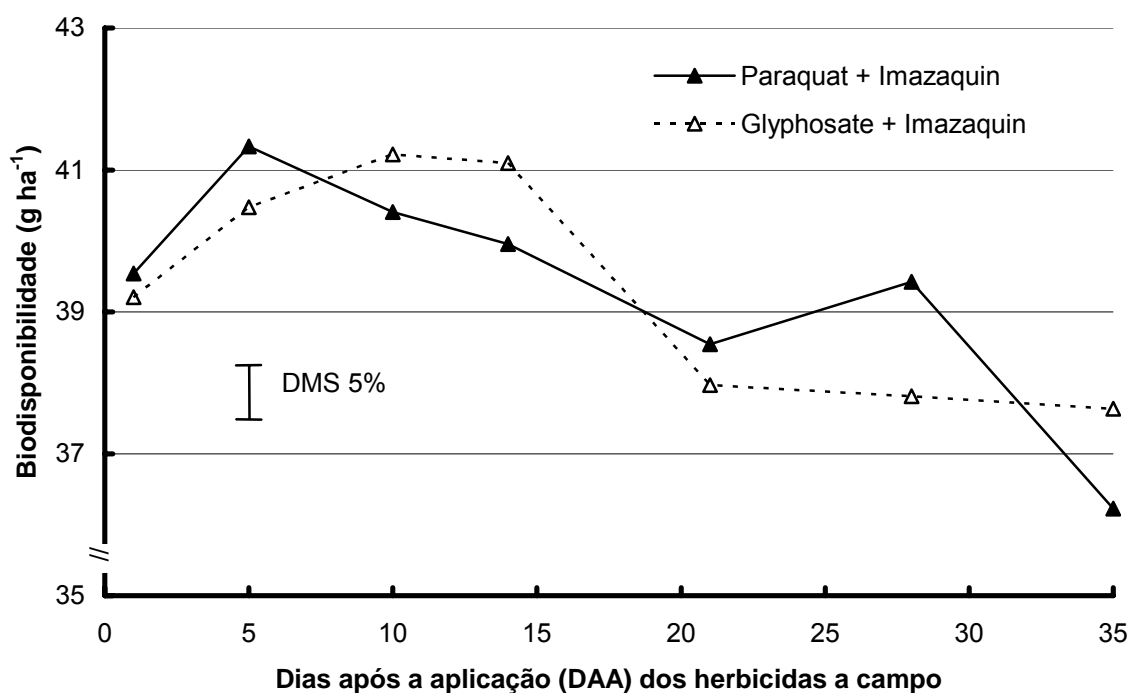


Figura 2.21 – Biodisponibilidade do imazaquin em função do herbicida dessecante (paraquat e glyphosate), obtido através da variável estatura avaliada aos onze dias após a semeadura (DAS) do nabo forrageiro em amostras de solo com até 35 dias após a aplicação (DAA) dos herbicidas a campo.

Através da cinética de dissipação, verificou-se que a persistência do S-metolachlor foi maior quando o composto estava associado ao paraquat, em relação ao glyphosate, com constante de dissipação (k) de $0,0462 \text{ dia}^{-1}$ ($P > 0,02$) e meia-vida ($t_{1/2}$) de 15 dias ($P > 0,02$). Contrariamente, a persistência do imazaquin foi maior quando o mesmo estava associado ao glyphosate, comparada à associação ao paraquat, com k igual a $0,0101 \text{ dia}^{-1}$ ($P > 0,02$) e $t_{1/2}$ igual a 68 dias ($P > 0,01$) (Tabela 2.2).

Tabela 2.1 – Constantes de dissipação (k) e meia-vida ($t_{1/2}$) dos herbicidas S-metolachlor e imazaquin quando associados ao paraquat ou glyphosate.

Associação	Constante de dissipação (k) (dia^{-1})	Meia-vida ($t_{1/2}$) (dias)
S-metolachlor + paraquat	$4,62 \times 10^{-2}$	15
S-metolachlor + glyphosate	$6,30 \times 10^{-2}$	11
Imazaquin + paraquat	$1,15 \times 10^{-2}$	60
Imazaquin + glyphosate	$1,01 \times 10^{-2}$	68

2.4 Discussões

Para melhor discussão dos resultados apresentados neste capítulo, esta seção será dividida em três partes. Inicialmente, será discutida a seleção da espécie indicadora e dos herbicidas residuais utilizados. Após, será discutida a implicação da presença de cobertura vegetal na biodisponibilidade dos herbicidas residuais. Em seguida, será discutido o efeito dos herbicidas dessecantes na biodisponibilidade dos produtos residuais.

2.4.1 Seleção da espécie indicadora e dos herbicidas residuais

Para a realização do bioensaio, previamente, foi realizado um trabalho (dados não apresentados), para selecionar as espécies indicadoras e os herbicidas utilizados. Na seleção foram utilizadas as espécies: *Avena sativa* L. (AVESA), *Cucumis sativus* L. (CUMSA), *Curcubita pepo* L. (CUUPE), *Hordeum vulgare* L. (HORVX), *Lactuca sativa* L. (LACSA), *Raphanus sativus* var. *oleiferus* Metzger. (RAPSO), *Raphanus sativus* var. *sativus* L. (RAPSR) e *Triticum aestivum* L. (TRZAX) e os herbicidas de aplicação em pré-emergência: atrazine (3000 g ha^{-1}), cloransulam (40 g ha^{-1}), imazaquin (140 g ha^{-1}), metribuzin (1440 g ha^{-1}), S-metolachlor (1920 g ha^{-1}) e testemunha.

As espécies utilizadas neste trabalho apresentaram diferentes padrões de resposta aos herbicidas aspergidos no solo. A espécie potencialmente indicadora da presença dos herbicidas utilizados no solo deve ser sensível, para indicar a presença do produto, mas deverá ser suficientemente tolerante, para que a mesma possa desenvolver-se, e assim, apresentar os efeitos do herbicida e, conseqüentemente, apresentar potencial de resposta à dose. Espécies altamente sensíveis restringem a resposta dos herbicidas, porque, pequenas concentrações são suficientes para causar elevados efeitos nas espécies e, assim, a faixa de resposta à dose é limitada. Da mesma forma, espécies tolerantes, só apresentam efeito sob elevada concentração do herbicida, restringindo a faixa de resposta a altas concentrações.

Considerando todos os resultados apresentados anteriormente deparou-se com três situações distintas. A primeira é aquela em que a espécie não apresentou potencial indicador dos herbicidas utilizados no solo, como RAPSUR e LACSA, porque foram altamente sensíveis aos produtos. E portanto, estão automaticamente excluídas da seleção, por não atenderem ao objetivo inicial.

A situação seguinte é aquela em que a espécie apresentou-se como potencial indicador de apenas um dos produtos utilizados, como CUUPE e HORVX que poderiam ser utilizadas em bioensaios com o produto metribuzin e TRZAX com o atrazine.

Com a finalidade de facilitar as etapas posteriores do trabalho, destaca-se a terceira situação, onde uma espécie indicou dois dos herbicidas utilizados. Nesse caso a espécie CUMSA indicou os produtos cloransulân e imazaquin. Porém, esses herbicidas pertencem ao grupo dos inibidores da enzima ALS, o que dificulta a teorização dos resultados obtidos futuramente com herbicidas pertencentes a outros

grupos, pois suas características físico-químicas são similares. O ideal, é que os herbicidas utilizados nas etapas posteriores possuam características físico-químicas contrastantes ao extremo, e assim, os resultados obtidos poderão ser comparados com outros produtos que tem os valores das suas características físico-químicas situados entre esses dois extremos.

Da análise realizada acima existe a opção de utilizar a espécie RAPSO como indicadora e quantificadora dos herbicidas imazaquin e S-metolachlor, produtos inibidores da enzima ALS e da parte aérea, respectivamente. Ou, utilizar a espécie AVESA para os herbicidas imazaquin e metribuzin, produtos inibidores da enzima ALS e fotossistema II, respectivamente. Para a continuidade desta dissertação, optou-se por utilizar a espécie RAPSO, pois os herbicidas por ela indicados, além das diferenças extremas nas características físico-químicas, possuem diferenças na ionização dos compostos, sendo que o imazaquin é produto ionizável e o S-metolachlor não é ionizável. Já na segunda opção, apesar de imazaquin e metribuzin possuírem características físico-químicas extremas, ambos são ionizáveis.

2.4.2 Efeito da cobertura vegetal na biodisponibilidade dos herbicidas residuais

A cobertura vegetal, formada por plantas de azevém e resíduos culturais, possivelmente reteu elevada quantidade dos herbicidas S-metolachlor e imazaquin (Figuras 2.20 e 2.21). Trabalhos demonstram que de 15 a 95% dos herbicidas aplicados podem ser interceptados pela cobertura vegetal, dependendo da quantidade, do tipo e do grau de decomposição da mesma (BANKS & ROBINSON, 1982; SORENSON et al., 1991; SELIM et al., 2003; MA & SELIM, 2005). A quantidade de atrazine detectado no solo foi menor quando aplicado sobre cobertura

de aveia preta (*Avena strigosa* Scherb) do que em solo sem cobertura morta, pois parte do produto ficou retido na palha. Em aplicações de atrazine sobre cobertura de centeio, 30% a menos do produto atingiu o solo do que quando aplicados diretamente ao solo (BAUMAN & ROSS, 1983). A atrazine quando aplicada sobre restos vegetais de milho (*Zea mays* L.) e aveia, ficou mais retida na palha de milho do que na de aveia (LOWDER & WEBER, 1982).

Um fato interessante a respeito da adsorção dos herbicidas residuais na cobertura vegetal, é que, o herbicida retido pode deissorver com o tempo e manter o controle de plantas daninhas por maior período. Esse evento pode ser notado na Figura 2.16, onde, entre 10 e 14 DAA dos herbicidas a campo, houve aumento na biodisponibilidade do S-metolachlor quando associado ao glyphosate, após precipitação pluvial de 43 mm.

A primeira precipitação pluvial de 21 mm e a precipitação acumulada de 100 mm, provavelmente não foram suficientes para mover elevadas concentrações dos herbicidas residuais da cobertura vegetal para a solução do solo (Figuras 2.20 e 2.21). A retenção dos herbicidas pela cobertura vegetal também é afetada pela quantidade e a época de ocorrência de precipitações pluviais após a aplicação. Sobre cobertura morta de trigo, houve aumento das quantidades de metolachlor, alachlor e acetochlor na superfície do solo com o aumento da água de irrigação (BANKS & ROBINSON, 1986). Irrigação com 100 mm de água logo após a aplicação de atrazine removeu 87% deste herbicida da cobertura morta, mas, quando realizada sete dias após a aplicação removeu apenas 77% do produto (LOWDER & WEBER, 1982).

A porcentagem da dose inicial do herbicida imazaquin nos primeiros 5 cm do perfil do solo foi maior quando comparado à dose inicial do S-metolachlor,

evidenciando que S-metolachlor poderia estar adsorvido em maior quantidade à cobertura vegetal em relação ao imazaquin. A solubilidade em água do S-metolachlor é maior do que a do imazaquin, 488 e 60 mg L⁻¹, respectivamente (VIDAL, 2002). Com isso, poderia-se supor, erroneamente que, quanto maior a solubilidade em água de um herbicida, menor é a capacidade do mesmo em passar pela cobertura vegetal e atingir a camada inicial do solo. Comparações entre os herbicidas residuais alachlor e metolachlor (STREK & WEBER, 1982) e entre clomazone e imazaquin (RODRIGUES, 1993), aplicados sobre cobertura morta de trigo também suportam esta suposição. Nos resultados e discussões dos capítulos posteriores será visto porque esta suposição está errada.

2.4.3 Efeitos dos herbicidas dessecantes na biodisponibilidade dos herbicidas residuais

A biodisponibilidade dos herbicidas residuais S-metolachlor e imazaquin foi afetada pela presença dos herbicidas dessecantes paraquat ou glyphosate (Figuras 2.20 e 2.21). Os herbicidas dessecantes podem influenciar a disponibilidade dos herbicidas residuais através de duas formas. Primeira, através da interação entre o herbicida dessecante e a cobertura vegetal, que afeta de forma negativa ou positiva o movimento do produto residual da cobertura vegetal para a solução do solo. Segunda, o herbicida dessecante pode mudar a composição da comunidade microbiana, aumentar a biomassa e estimular a atividade microbiana no solo, o que pode inibir ou estimular a degradação dos herbicidas residuais.

Os herbicidas S-metolachlor e imazaquin tiveram maior tempo de retenção na cobertura vegetal quando associados ao glyphosate do que quando associados ao paraquat (Figuras 2.20 e 2.21). Trabalhos apresentados na literatura corroboram esses resultados. Um estudo revelou que a atrazine associada com paraquat foi

mais eficiente do que quando associada com glyphosate, na transposição sobre as coberturas de azevém (*Lolium multiflorum* Lam.) e ervilhaca (*Vicia villosa* Roth.) (ISENSEE et al., 1998).

Outro trabalho utilizando cobertura viva de inverno formada pela associação de aveia-preta + ervilhaca verificou que as porcentagens da dose inicial de atrazine associada com glyphosate ou com paraquat, detectadas no solo, foram de 41 e 61%, respectivamente (RODRIGUES et al., 2000). Dados esses, semelhantes ao obtido neste trabalho. Isto demonstra que, em cobertura vegetal viva, o tipo de herbicida dessecante associado ao herbicida residual influencia diretamente na quantidade de composto residual disponível na solução do solo.

O fato de não haver diferenças entre a aplicação em associação e a aplicação seqüencial indica que a associação entre os herbicidas dessecantes e residuais não alterou as características físico-químicas da calda de pulverização. Mas, uma análise mais profunda indica que na aplicação em associação a alteração poderia ocorrer antes da aplicação dos produtos, pois os produtos estariam presentes na mesma calda de pulverização. Na aplicação seqüencial a interação entre os herbicidas ocorreria na planta ou na palha, após a aplicação dos produtos, já que a aplicação do herbicida residual foi cinco minutos após a aplicação do herbicida dessecante. Dessa forma, influenciaria na capacidade de absorção do S-metolachlor e imazaquin pelas plantas vivas, ou na adsorção e dessorção dos mesmos na cobertura vegetal.

Essas duas hipóteses podem gerar três situações que podem explicar o efeito dos dessecantes na transposição dos herbicidas residuais pela cobertura vegetal. Primeira, o glyphosate pode aumentar a capacidade das plantas de absorção do S-metolachlor e imazaquin e/ou aumentar a adsorção ou ainda diminuir a dessorção desses herbicidas na cobertura vegetal. Segunda, a presença do paraquat influencia

o S-metolachlor e o imazaquin de forma contrária ao glyphosate, podendo então diminuir a capacidade de absorção pelas plantas dos herbicidas residuais e/ou diminuir a adsorção ou ainda aumentar a dessorção desses herbicidas na cobertura vegetal. A terceira situação é que ambas as situações anteriores podem ocorrer concomitantemente aumentando as diferenças na biodisponibilidade dos compostos residuais na solução do solo.

Através da técnica de carbono marcado verificou-se que a presença do herbicida bentazon diminuiu a absorção do herbicida imazethapyr de 61 para 26% e a translocação de 35 para 9%, quando a umidade do solo era de 65% (HAGER et al., 1999). A associação de bentazon (1120 g ha⁻¹) com glyphosate (420 g ha⁻¹) sinergicamente aumentou o controle da planta daninha *Abutilon theophrasti*, provavelmente devido a maior absorção ou translocação desses herbicidas (LICH et al., 1997). Contrariamente, a associação entre imazaquin (36 g ha⁻¹) e glyphosate (210 g ha⁻¹) teve efeito antagônico no controle de *Ipomoea hederacea* var. *integriscula* (HYDRICK & SHAW, 1994).

A meia-vida do S-metolachlor foi significativamente maior quando associado ao paraquat do que quando associado ao glyphosate. Contrariamente, a meia-vida do imazaquin foi maior quando associado ao glyphosate do que quando associado ao paraquat (Tabela 2.2).

Os valores de meia-vida do S-metolachlor e imazaquin obtidos nesse trabalho estão dentro dos limites normalmente observados para esses herbicidas sob condições de campo. Os trabalhos demonstram que a meia-vida do S-metolachlor e metolachlor varia entre 8 e 85 dias (O'CONNELL et al., 1998; DINELLI et al., 2000; BURGARD et al., 1993; LAABS et al., 2002), e imazaquin entre 8 e 71 dias (BAUGHMAN & SHAW, 1996; SEIFERT et al., 2001; SMITH et al., 2005).

A degradação do metolachlor (ACCINELLI et al., 2001) e do imazaquin no solo ocorre através de processo microbiano (FLINT & WITT, 1997; GREENLAND, 2003). Trabalhos de campo e laboratório demonstram que a intensidade da dissipação desses herbicidas está relacionada à biomassa e atividade microbiana no solo (FLINT & WITT, 1997; STADDON et al., 2001; GREENLAND, 2003; ACCINELLI et al., 2006).

Como o paraquat não possui efeito na população microbiana, pois apresenta elevada adsorção ao solo, os resultados de dissipação e meia-vida entre S-metolachlor e imazaquin podem ser explicados pela presença ou ausência do glyphosate. Sendo assim, é possível que na associação entre o S-metolachlor e o glyphosate, o dessecante aumente a biomassa e/ou estimule a atividade dos microrganismos que preferem metabolizar e degradar primeiramente o S-metolachlor, o que aumentaria a sua dissipação no ambiente em relação a aplicação de S-metolachlor na presença do paraquat, que não interfere na comunidade microbiana. Porém, na associação entre o imazaquin e o glyphosate, é provável que o glyphosate seja tóxico aos microrganismos que degradam e metabolizam o imazaquin, retardando a dissipação do mesmo no ambiente em comparação à sua aplicação isolada ou em associação ao paraquat.

2.5 Conclusões

O tipo de herbicida dessecante afeta a persistência dos herbicidas residuais S-metolachlor e imazaquin quando aplicados sobre cobertura vegetal. Não há diferença entre aplicação simultânea e seqüencial dos herbicidas dessecantes e residuais. A persistência do imazaquin é maior em relação ao S-metolachlor, independente do herbicida dessecante utilizado. A persistência do S-metolachlor é

maior na presença do paraquat, do que na presença do glyphosate. A persistência do imazaquin é maior na presença do glyphosate, do que na presença do paraquat.

3. CAPÍTULO III – LIXIVIAÇÃO DOS HERBICIDAS IMAZAQUIN E S-METOLACHLOR QUANDO ASSOCIADOS A HERBICIDAS DESSECANTES

3.1 Introdução

A cobertura vegetal proveniente do sistema de semeadura direta promove aumento da palha sobre a superfície e pode benéficamente suprimir a germinação e a emergência de plantas daninhas (BURGOS & TALBERT, 1996; THEISEN et al., 2000). Mas, a sua manutenção sobre a superfície promove alterações que afetam a dinâmica dos herbicidas aplicados ao solo (LEVANON et al., 1993; WEED et al., 1995; FERRI & VIDAL, 2003). Uma das características marcantes da manutenção desta cobertura é o aumento do teor de matéria orgânica (M.O.) na camada superficial do solo com o decorrer do tempo (LOPES et al., 2004).

O aumento desta cobertura pode inibir a lixiviação dos herbicidas, devido à interceptação e a sorção dos componentes na cobertura vegetal. Os herbicidas atrazine e metolachlor tiveram menor lixiviação no sistema de semeadura direta quando comparados com o sistema de semeadura convencional (DAO, 1995; WEBER et al., 2006b), provavelmente, devido ao fato que a cobertura vegetal possui maior capacidade de sorção que o solo (REDDY et al., 1995; DOZIER et al., 2002).

O herbicida metolachlor é formado por dois isômeros R e dois S de metolachlor, que estão presentes em proporções iguais no herbicida. Os isômeros S apresentam maior atividade herbicida do que os isômeros R (MOSER et al., 1982). Com o conhecimento dessa propriedade foi desenvolvido um novo sistema catalítico que produziu uma nova substância enriquecida (>80%) com os isômeros S, a qual foi denominada S-metolachlor (BLASER & SPINDLER 1997; SPINDLER et al., 1998). Estudos demonstram similaridade, entre metolachlor e S-metolachlor, no

comportamento ambiental (O'CONNELL et al., 1998). O metolachlor é um composto não ionizável, que pertence ao grupo químico das acetamidas. É aplicado, em pré-emergência ou pré-plantio incorporado, para o controle de algumas monocotiledôneas e dicotiledôneas, atuando como inibidor da parte aérea das plantas, de forma seletiva para as culturas do milho e soja (AHRENS, 1994; VIDAL & FLECK, 2001).

Modelos matemáticos demonstram que o metolachlor tem potencial de lixiviação (GUSTAFON, 1989; INOUE et al., 2003). Entretanto, em condições de campo, tem-se encontrado diferentes níveis de lixiviação para este herbicida. Um solo com 5,7% de M.O. concentrou 90% do metolachlor aplicado inicialmente nos primeiros 10 cm. Em outro solo com 0,9% de M.O. mais de 45% do produto encontrava-se abaixo dos 30 cm no perfil do solo (WEBER et al., 2003). A lixiviação do metolachlor depende de fatores como a ocorrência e intensidade de chuvas ou irrigação, área de superfície do solo e dos teores de ácidos húmicos (A.H.), argila, e M.O. do solo (PETER & WEBER, 1985; KELLER et al., 1998; ZHU & SELIM, 2000; PROCÓPIO et al., 2001; SINGH et al., 2001; PATAKIOUTAS & ALBANIS, 2002; WEBER et al., 2006a).

O herbicida imazaquin é aplicado, em pré-emergência, pré-plantio incorporado ou pós-emergência, para o controle de algumas monocotiledôneas e um grande número de dicotiledôneas, atuando como inibidor da enzima acetolactato sintase (ALS), de forma seletiva para a cultura da soja (AHRENS, 1994; TREZZI & VIDAL, 2001). É um composto anfótero, possuindo um ácido fraco carboxílico e uma base fraca quinolina como grupos funcionais ionizáveis (STOUGAARD et al., 1990) e pertence ao grupo químico das imidazolinonas.

Assim como o metolachlor, o imazaquin também demonstra potencial de lixiviação através de modelos matemáticos (INOUE et al., 2003). Em quatro tipos de solos contrastantes, o imazaquin apresentou alto nível de lixiviação, onde que a distribuição abaixo de 30 cm do perfil do solo variou entre 60 e 95% do produto aplicado inicialmente (WEBER et al., 2003). O imazaquin apresenta maior mobilidade do que o metolachlor (WEBER et al., 2003) e os herbicidas atrazine e metribuzin (GOETZ et al., 1986). A lixiviação do imazaquin está relacionada a vários fatores, como pH, teores no solo de M.O., A.H., matéria húmica, argila, Fe disponível e ferridrita (GOETZ et al., 1986; LOUX et al., 1989; LOUX & REESE, 1992; REGITANO et al., 2000; LEONE et al., 2001a e 2001b; NEGRE et al., 2001; LEONE et al., 2002). O aumento dos colóides do solo e o pH baixo diminuem o potencial de lixiviação deste herbicida (INOUE et al., 2002; WEBER et al., 2003).

3.1.1 Hipóteses

- a) A associação que inclui o herbicida residual com maior persistência apresenta maior potencial de lixiviação no perfil do solo;
- b) Herbicidas residuais mais solúveis em água apresentam maior lixiviação no perfil do solo.

3.1.2 Objetivos

Avaliar a lixiviação dos herbicidas residuais imazaquin e S-metolachlor, quando associado com herbicidas dessecantes, aplicados sobre cobertura vegetal.

3.2 Materiais e métodos

3.2.1 Locais dos experimentos

O experimento foi instalado a campo no dia 21 de outubro de 2005, na Estação Experimental Agronômica da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (EEA/UFRGS), localizada em Eldorado do Sul, região fisiográfica da Depressão Central do RS, e em casa de vegetação da Faculdade de Agronomia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), localizada no município de Porto Alegre. O solo da EEA/UFRGS é classificado, segundo o Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (EMBRAPA, 1999), como Argissolo Vermelho Distrófico típico, contendo 28% de argila.

3.2.2 Experimento a campo

O delineamento experimental utilizado foi blocos casualizados, com quatro repetições, sendo os tratamentos distribuídos em parcelas subdivididas. Nas parcelas principais foram alocados os herbicidas dessecantes: paraquat (600 g ha^{-1}) ou glyphosate (720 g ha^{-1}), nas subparcelas os herbicidas residuais S-metolachlor (2800 g ha^{-1}) e imazaquin (300 g ha^{-1}) associados ou aplicados seqüencialmente aos herbicidas dessecantes, assim como uma testemunha contendo apenas herbicida dessecante, sem aplicação de herbicidas residuais. A aplicação seqüencial foi realizada cinco minutos após a dessecação. Cada unidade experimental mediu $2 \times 5 \text{ m}$.

Os herbicidas foram pulverizados com equipamento costal, pressurizado com CO_2 , à pressão constante de 200 kPa, bicos tipo leque 8001, distantes em 0,50 m na barra de 1,5 m de largura e volume de calda de 110 L ha^{-1} . A aplicação foi realizada das 16:00 às 16:55 horas. No momento da aplicação a temperatura média foi igual a 27°C e a umidade relativa média do ar foi igual a 71%. A pulverização foi realizada sobre cobertura vegetal viva formada por plantas de *Lolium multiflorum* Lam. que

estavam na fase de floração. A massa seca total da cobertura viva era de 2800 kg ha⁻¹. As precipitações pluviais foram medidas através de pluviômetro.

3.2.3 Coleta das amostras de solo

As amostras de solo utilizadas para a determinação da lixiviação foram coletadas vinte e cinco dias após a aplicação (DAA) dos herbicidas a campo. Inicialmente, o material vegetal foi retirado da superfície do solo, em seguida introduziu-se verticalmente, com auxílio de um martelo de borracha, um tubo de PVC de 25 mm de diâmetro e 25 cm de comprimento, até a borda do tubo alinhar-se à superfície do solo. Após, os tubos foram retirados sem desintegrar as amostras de solo e acondicionados em caixas de isopor. Posteriormente, cortou-se o terço superior do tubo no sentido horizontal para semear a planta indicadora.

3.2.4 Bioensaio

Após a coleta das colunas de solo, realizou-se um bioensaio em casa de vegetação, utilizando *Raphanus sativus* L. como espécie indicadora da lixiviação dos herbicidas residuais. Uma semente pré-germinada foi semeada a cada 2 cm na coluna de solo coletada a campo (2 a 18 cm). O desenvolvimento das plantas ocorreu em câmara de crescimento com temperatura média de $25,3 \pm 3,1^{\circ}\text{C}$ e umidade relativa do ar de $85,4 \pm 9,8\%$, fotoperíodo de 12 h, com irrigação por aspersão.

No bioensaio, avaliaram-se variáveis como fitotoxicidade, estatura e massa seca. A fitotoxicidade foi avaliada aos 7, 14 e 21 dias após a semeadura (DAS) das plantas indicadoras nas profundidades do perfil do solo, 25 dias após a aplicação dos herbicidas no campo, a estatura foi avaliada aos 11 e 21 DAS e a massa seca

aos 21 DAS. Para fitotoxicidade, atribuíram-se notas que variaram de 0%, para ausência de efeito, a 100%, para efeito letal nas plantas. A estatura foi determinada através de régua milimétrica. A massa seca foi determinada através de balança com 0,001 g de precisão, após as plantas atingirem massa constante.

A biodisponibilidade dos herbicidas residuais no solo foi determinada através de curvas de calibração. Plantas foram semeadas no solo coletado a campo aspergidos com 0, 15, 30, 50, 65, 80 e 100% das doses máximas dos rótulos dos herbicidas imazaquin (150 g ha^{-1}) e S-metolachlor (1920 g ha^{-1}). Para o herbicida S-metolachlor realizou-se uma segunda curva de calibração (0, 1, 3, 6, 9 e 20% da dose máxima de rótulo) com o objetivo de aumentar a precisão da bioestimação deste herbicida no solo. As curvas de calibração foram obtidas através do programa computacional *Origin 8.0*, após submeter os dados a análise da variância.

3.2.5 Análise estatística

Os dados obtidos no bioensaio foram convertidos para porcentagem em relação à testemunha sem herbicida. Os dados provenientes da variável estatura avaliados aos 11 dias após a semeadura (DAS) da planta indicadora foram utilizados para obter a biodisponibilidade (g ha^{-1}) dos herbicidas residuais no solo, através da curva de calibração. Os dados do bioensaio e da biodisponibilidade foram, em seguida, submetidos à análise da variância pelo teste F. As variáveis analisadas foram avaliadas através da comparação das médias de tratamentos, pelo teste DMS a 5% de probabilidade de erro experimental ($P \geq 0,05$).

3.3 Resultados

Entre a pulverização dos herbicidas na cobertura vegetal até a coleta de solo para verificação da lixiviação, realizada aos 21 dias após a aplicação (DAA), ocorreram chuvas no total de 95 mm. Destes, 21 mm ocorreram no primeiro DAA (Figura 2.1).

O teste F revelou insignificância para o efeito dessecante (paraquat e glyphosate) e aplicação (associação e seqüencial), assim como para todas as interações possíveis. Entretanto, foi significativo o efeito simples de profundidade (Apêndices 3 e 4). Nos gráficos serão apresentadas as médias dos tipos de aplicação.

3.3.1 Fitotoxicidade

As plantas de nabo forrageiro apresentaram baixos sintomas de toxicidade, aos 07 DAS, quando semeadas no solo aspergido com S-metolachlor entre 2 e 16 cm de profundidade. Entretanto, aos 18 cm, a fitotoxicidade foi diferente das demais profundidades, onde as plantas apresentaram 26% de fitotoxicidade, na média das 16 repetições, indicando haver maior concentração do S-metolachlor nessa profundidade (Figura 3.1).

As plantas indicadoras semeadas no solo aspergido com imazaquin revelaram um comportamento diferente em relação ao S-metolachlor. A fitotoxicidade causada pelo imazaquin foi maior entre 2 e 8 cm de profundidade, comparado às demais profundidades. Este resultado indica alta concentração do imazaquin na camada superficial do solo. A partir de 8 cm a fitotoxicidade foi reduzida em relação à camada superficial (Figura 3.2).

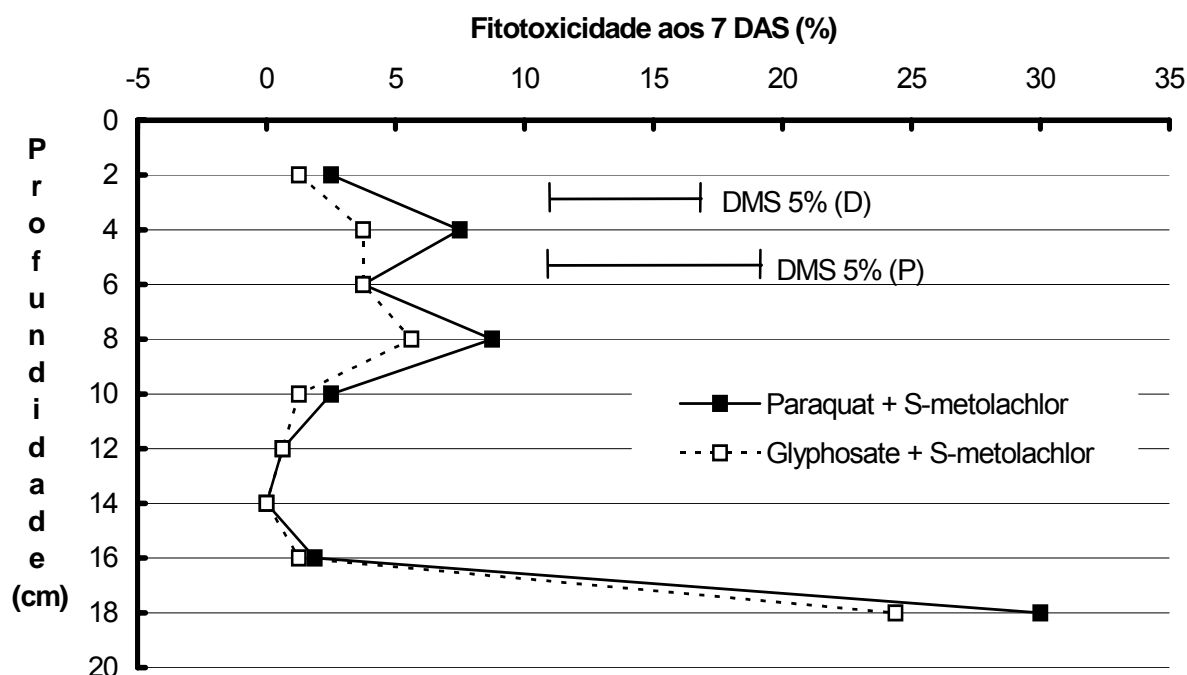


Figura 3.1 – Toxicidade de S-metolachlor associado a herbicidas dessecantes (Paraquat e Glyphosate) sobre nabo forrageiro, sete dias após a semeadura (DAS) do mesmo em diferentes profundidades. DMS (D) compara médias entre dessecantes na mesma profundidade e DMS (P) compara médias entre profundidades de uma mesma associação.

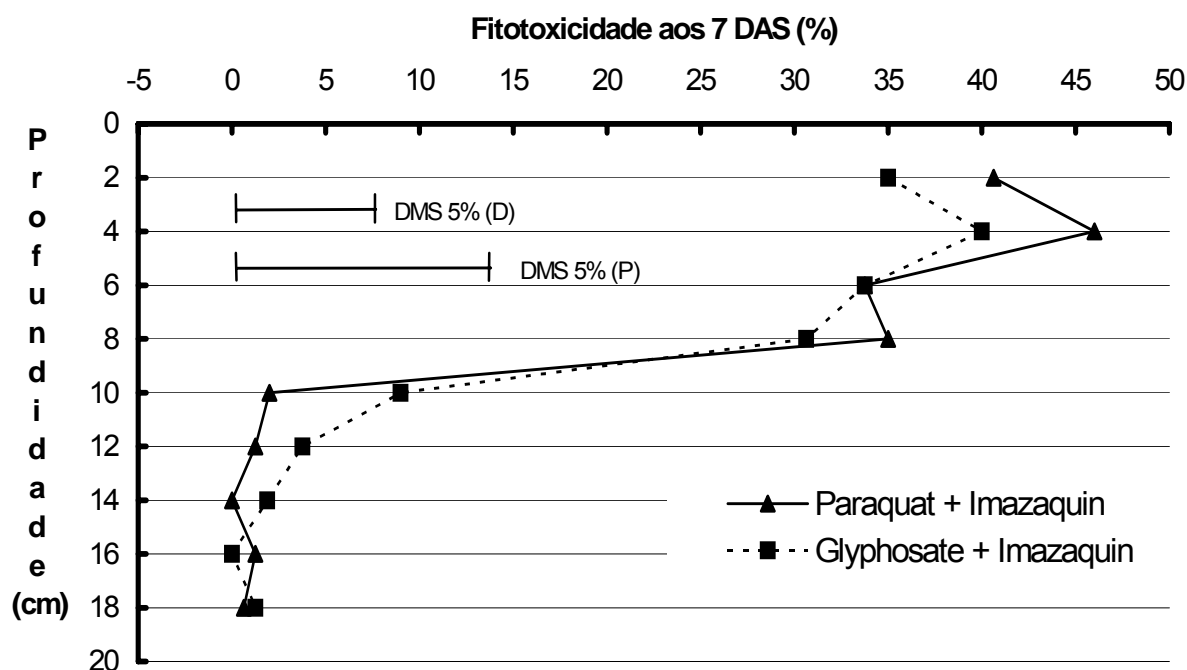


Figura 3.2 – Toxicidade de imazaquin associado a herbicidas dessecantes (Paraquat e Glyphosate) sobre nabo forrageiro, sete dias após a semeadura (DAS) do mesmo em diferentes profundidades. DMS (D) compara médias entre dessecantes na mesma profundidade e DMS (P) compara médias entre profundidades de uma mesma associação.

A toxicidade nas plantas de nabo forrageiro, aos 14 DAS, causada pelos herbicidas S-metolachlor (Figura 3.3) e imazaquin (Figura 3.4), foi semelhante à avaliação realizada aos 07 DAS. A intensidade da toxicidade desses herbicidas nas plantas indicadoras foi menor aos 14 DAS em relação aos 07 DAS. Para o S-metolachlor, a fitotoxicidade média na primeira avaliação aos 07 DAS nos 18 cm de profundidade foi de 26%, já na segunda avaliação, nesta mesma profundidade, a toxicidade média nas plantas foi 5% menor. Para o imazaquin, a toxicidade nas plantas na primeira avaliação, entre os 2 e 8 cm de profundidade, variou de 30 a 46%, porém, na segunda a fitotoxicidade variou entre 25 e 38% (Figuras 3.3 e 3.4).

O padrão de resposta das plantas de nabo forrageiro aos herbicidas residuais, aos 21 DAS, foi semelhante às avaliações anteriores de toxicidade. Assim como na avaliação realizada aos 14 DAS, aos 21 DAS a intensidade da toxicidade dos herbicidas no nabo forrageiro foi menor em relação às avaliações anteriores (Figuras 3.5 e 3.6).

Os resultados de fitotoxicidade indicam que a precipitação pluvial acumulada de 95 mm foi suficiente para lixiviar o S-metolachlor da cobertura vegetal para locais do perfil do solo onde o produto não possui atividade herbicida (Figuras 3.1, 3.3 e 3.5). Entretanto, o imazaquin permaneceu na parte superficial do perfil do solo (Figuras 3.2, 3.4 e 3.6).

De um modo geral, tanto para o S-metolachlor como para o imazaquin, observou-se nas três avaliações de fitotoxicidade que a atividade do composto nas plantas indicadoras foi decrescente com o passar do tempo. Isso indica que provavelmente, com o decorrer do tempo, ocorre degradação dos herbicidas residuais ou diluição do produto com o crescimento vegetal.

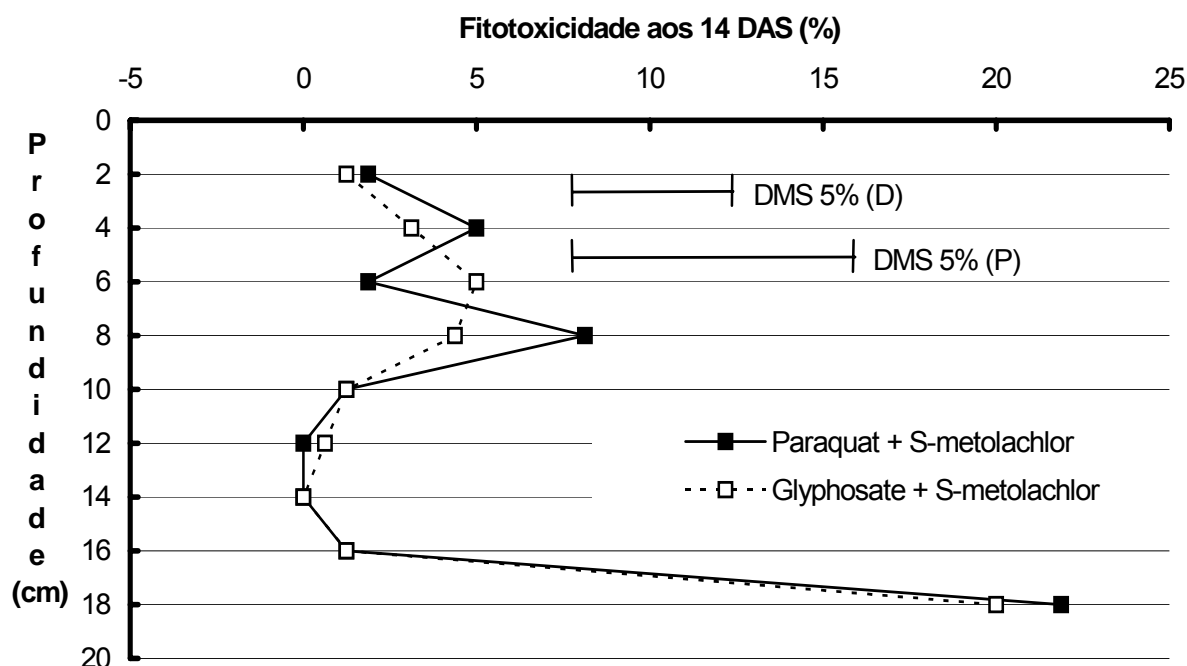


Figura 3.3 – Toxicidade de S-metolachlor associado a herbicidas dessecantes (Paraquat e Glyphosate) sobre nabo forrageiro, catorze dias após a semeadura (DAS) do mesmo em diferentes profundidades. DMS (D) compara médias entre dessecantes na mesma profundidade e DMS (P) compara médias entre profundidades de uma mesma associação.

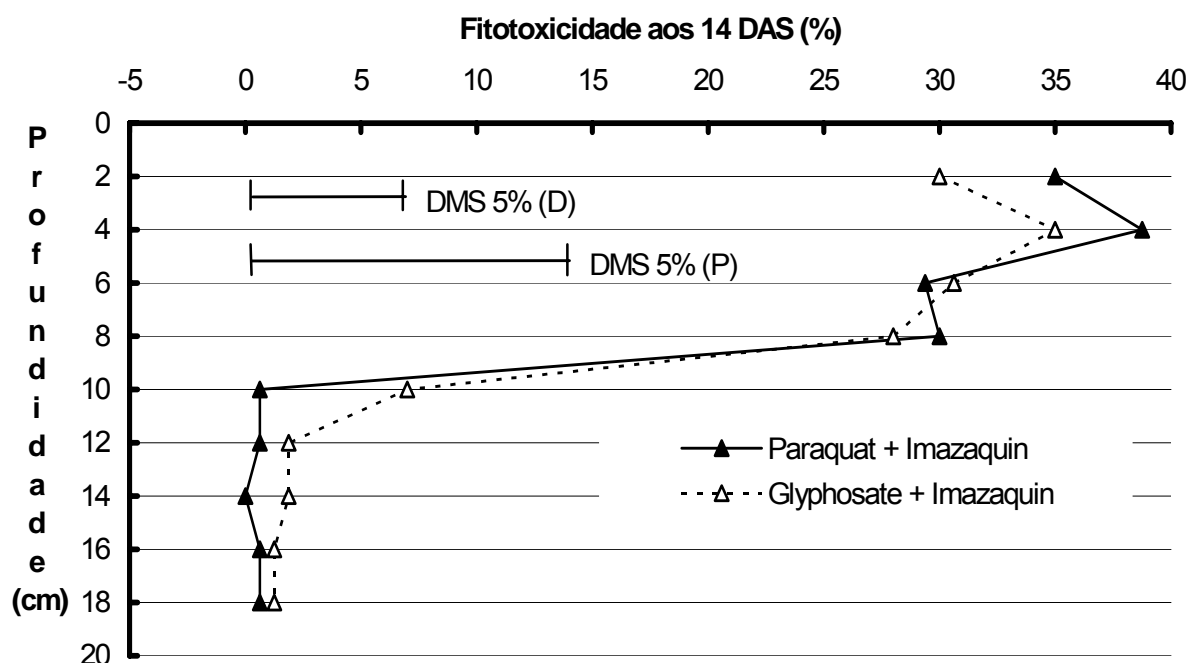


Figura 3.4 – Toxicidade de imazaquin associado a herbicidas dessecantes (Paraquat e Glyphosate) sobre nabo forrageiro, sete dias após a semeadura (DAS) do mesmo em diferentes profundidades. DMS (D) compara médias entre dessecantes na mesma profundidade e DMS (P) compara médias entre profundidades de uma mesma associação.

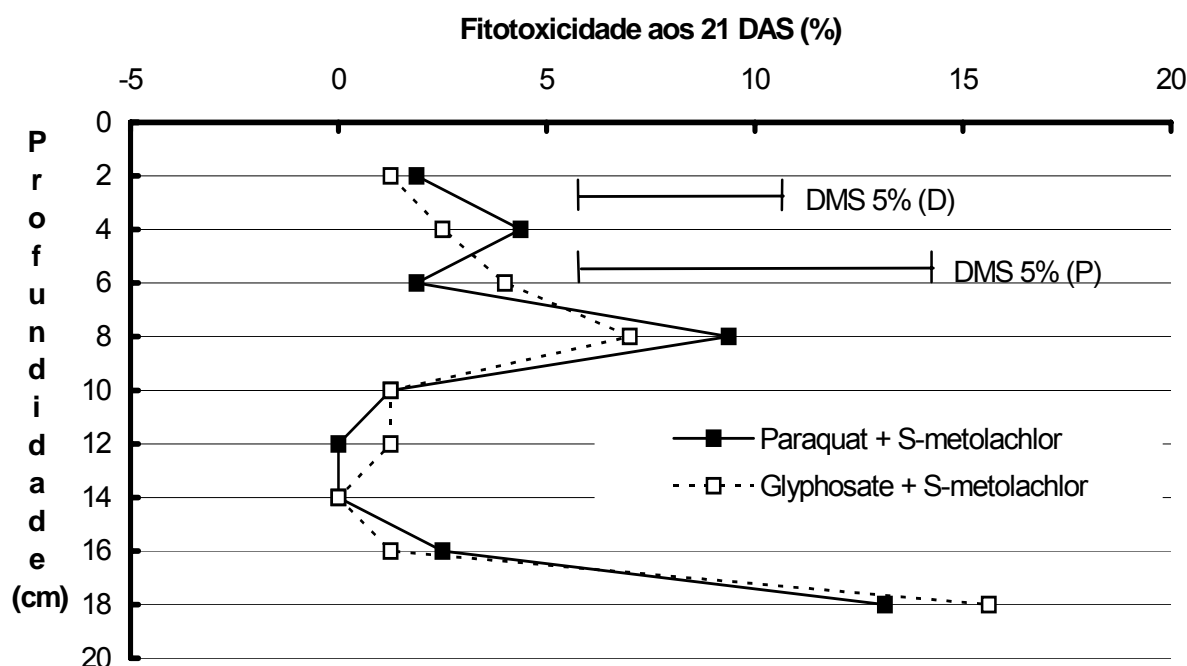


Figura 3.5 – Toxicidade de S-metolachlor associado a herbicidas dessecantes (Paraquat e Glyphosate) sobre nabo forrageiro, vinte e um dias após a semeadura (DAS) do mesmo em diferentes profundidades. DMS (D) compara médias entre dessecantes na mesma profundidade e DMS (P) compara médias entre profundidades de uma mesma associação.

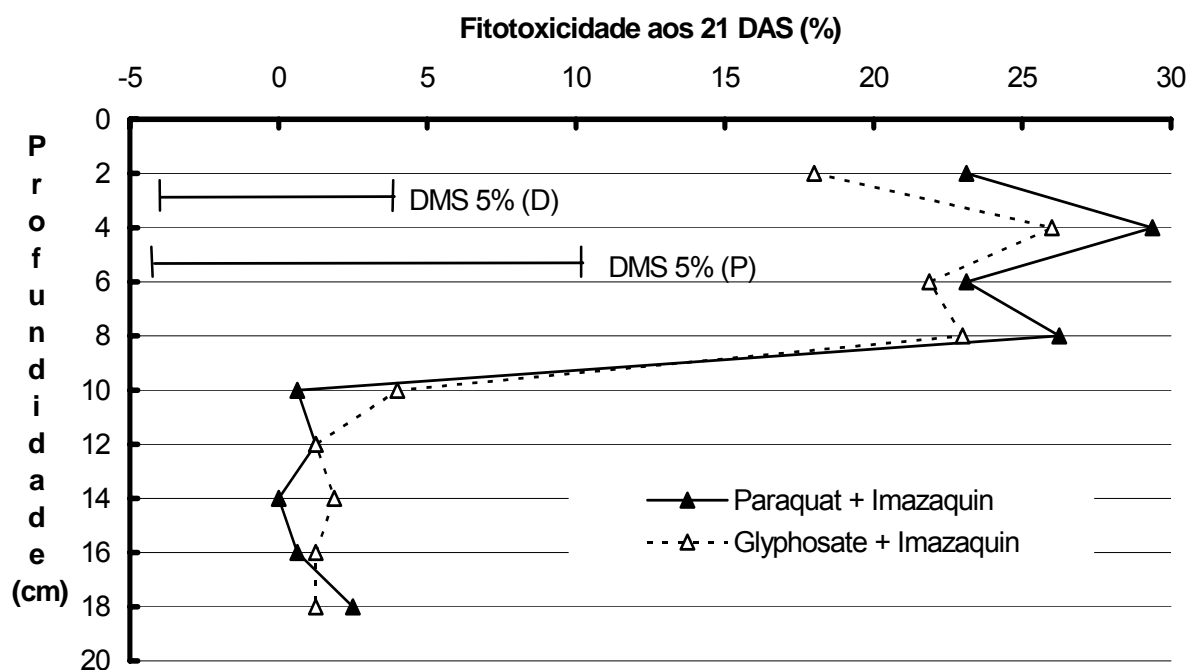


Figura 3.6 – Toxicidade de imazaquin associado a herbicidas dessecantes (Paraquat e Glyphosate) sobre nabo forrageiro, vinte e um dias após a semeadura (DAS) do mesmo em diferentes profundidades. DMS (D) compara médias entre dessecantes na mesma profundidade e DMS (P) compara médias entre profundidades de uma mesma associação.

3.3.2 Estatura

Na avaliação realizada aos 11 DAS observou-se que as plantas de nabo forrageiro apresentaram elevada estatura quando semeadas no solo aspergido com S-metolachlor entre 2 e 16 cm de profundidade, em comparação a 18 cm de profundidade. Aos 18 cm de profundidade, a estatura nas plantas foi em média 30% inferior às demais profundidades (Figura 3.7).

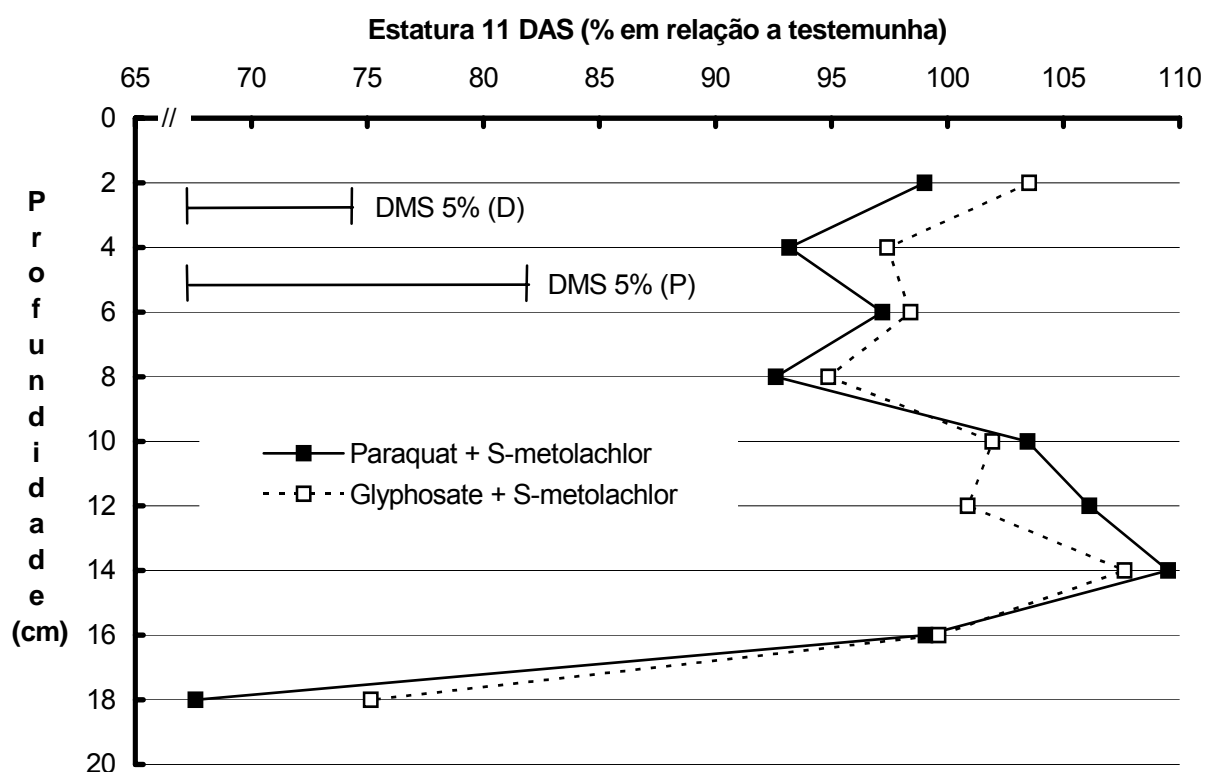


Figura 3.7 – Estatura (% em relação à testemunha) do nabo forrageiro, em função do S-metolachlor associado a herbicidas dessecantes (paraquat e glyphosate), onze dias após a semeadura (DAS) do mesmo em diferentes profundidades. DMS (D) compara médias entre dessecantes na mesma profundidade e DMS (P) compara médias entre profundidades de uma mesma associação.

Quando o nabo forrageiro foi semeado no solo aspergido com imazaquin, a avaliação da estatura indicou um comportamento diferente em relação ao S-metolachlor. A fitotoxicidade causada pelo imazaquin foi maior entre 2 e 8 cm de

profundidade, indicando maior concentração desse herbicida nessa camada do perfil do solo em comparação as profundidades de 10 a 18 cm (Figura 3.8).

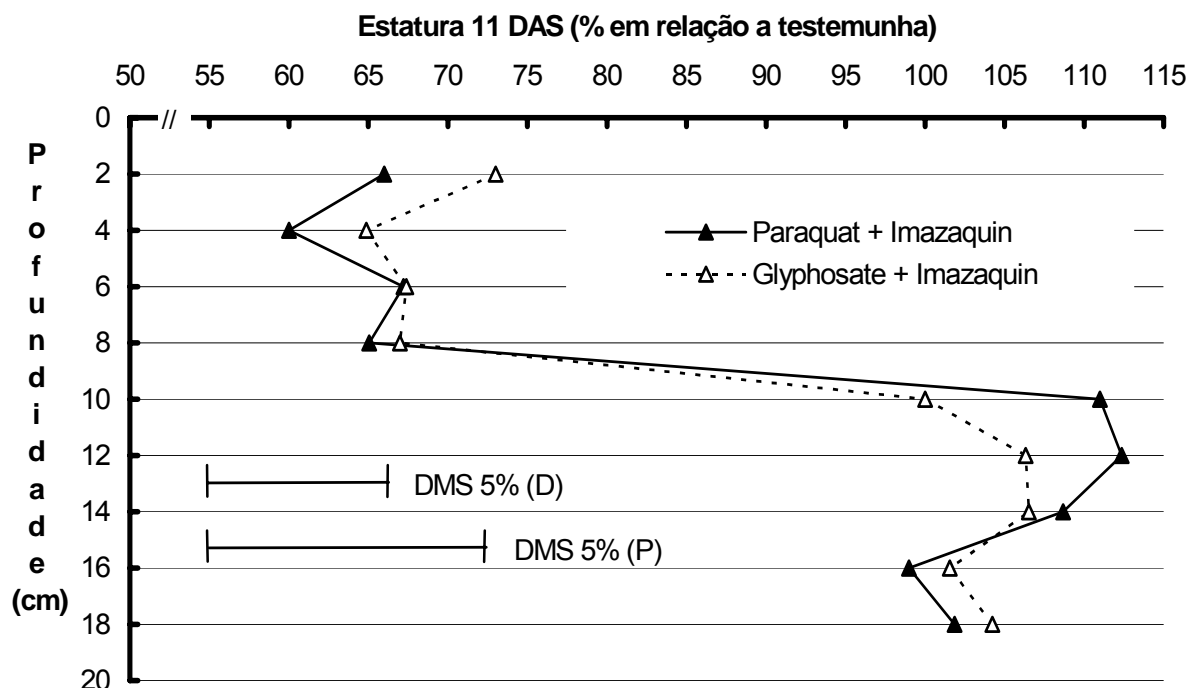


Figura 3.8 – Estatura (% em relação à testemunha) do nabo forrageiro, em função do imazaquin associado a herbicidas dessecantes (paraquat e glyphosate), onze dias após a semeadura (DAS) do mesmo em diferentes profundidades. DMS (D) compara médias entre dessecantes na mesma profundidade e DMS (P) compara médias entre profundidades de uma mesma associação.

A redução na estatura das plantas de nabo forrageiro, causada pela presença de S-metolachlor (Figura 3.9) e imazaquin (Figura 3.10) no perfil do solo, aos 21 DAS, foi semelhante à avaliação da estatura realizada aos 11 DAS. Entretanto, assim como nas avaliações de fitotoxicidade, a intensidade da redução da estatura do nabo forrageiro foi menor com o passar do tempo.

Os resultados de estatura, assim como os de fitotoxicidade, indicam que a precipitação pluvial acumulada de 95 mm foi suficiente para lixiviar o S-metolachlor da cobertura vegetal para locais do perfil do solo onde o produto não possui

atividade herbicida (Figuras 3.7 e 3.9). Entretanto, o imazaquin permaneceu na parte superficial do perfil do solo (Figuras 3.8 e 3.10).

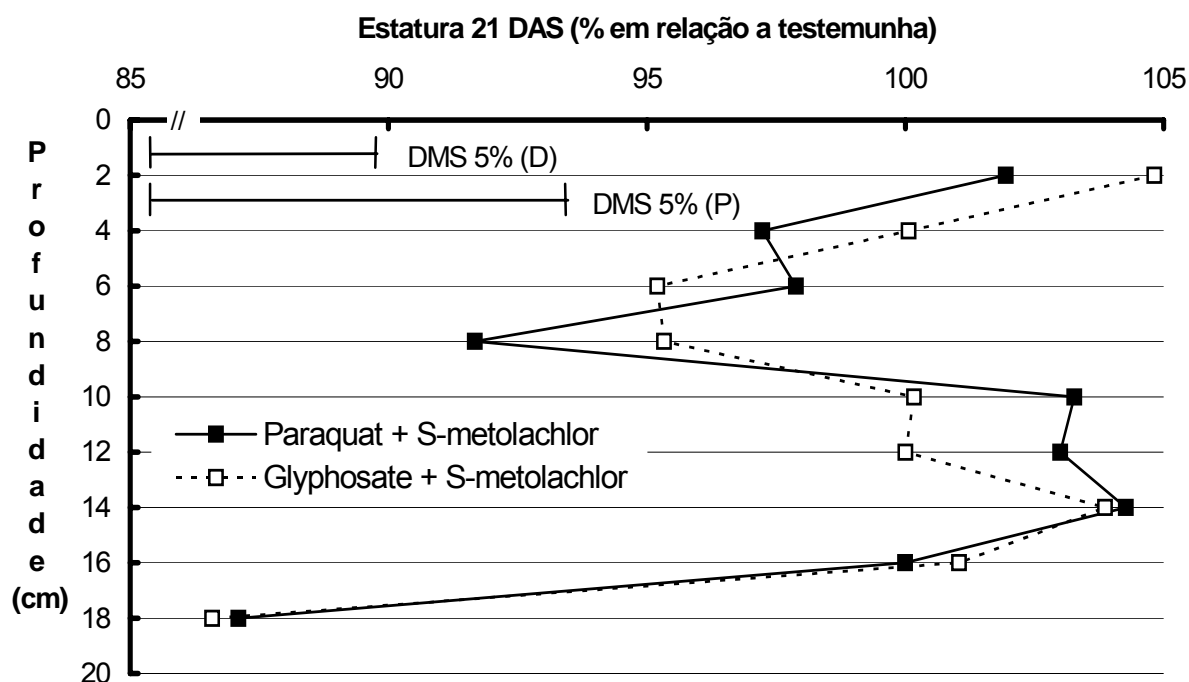


Figura 3.9 – Estatuta (% em relação à testemunha) do nabo forrageiro, em função do S-metolachlor associado a herbicidas dessecantes (paraquat e glyphosate), vinte e um dias após a semeadura (DAS) do mesmo em diferentes profundidades. DMS (D) compara médias entre dessecantes na mesma profundidade e DMS (P) compara médias entre profundidades de uma mesma associação.

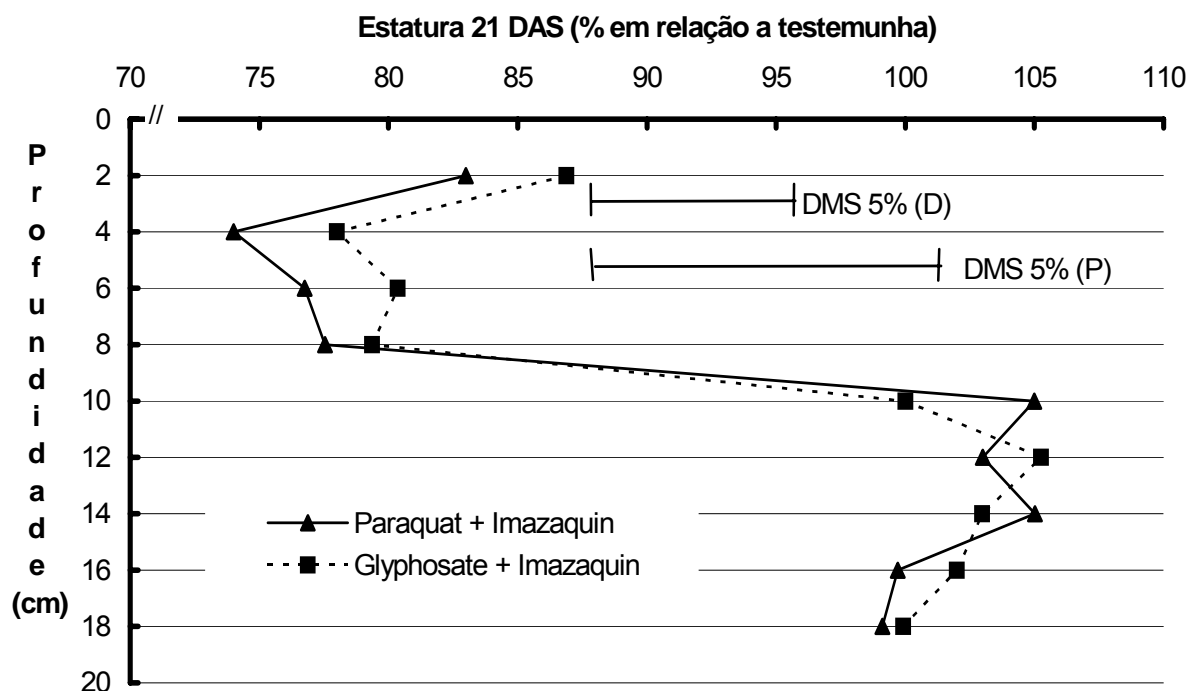


Figura 3.10 – Estatura (% em relação à testemunha) do nabo forrageiro, em função do imazaquin associado a herbicidas dessecantes (paraquat e glyphosate), vinte e um dias após a semeadura (DAS) do mesmo em diferentes profundidades. DMS (D) compara médias entre dessecantes na mesma profundidade e DMS (P) compara médias entre profundidades de uma mesma associação.

3.3.3 Massa seca

A massa seca do nabo forrageiro avaliada aos 21 DAS, além de não demonstrar diferença significativa entre os herbicidas dessecantes, como as demais variáveis, também não demonstrou diferenças significativas entre as profundidades, na lixiviação dos herbicidas S-metolachlor (Figura 3.11) e imazaquin (Figura 3.12).

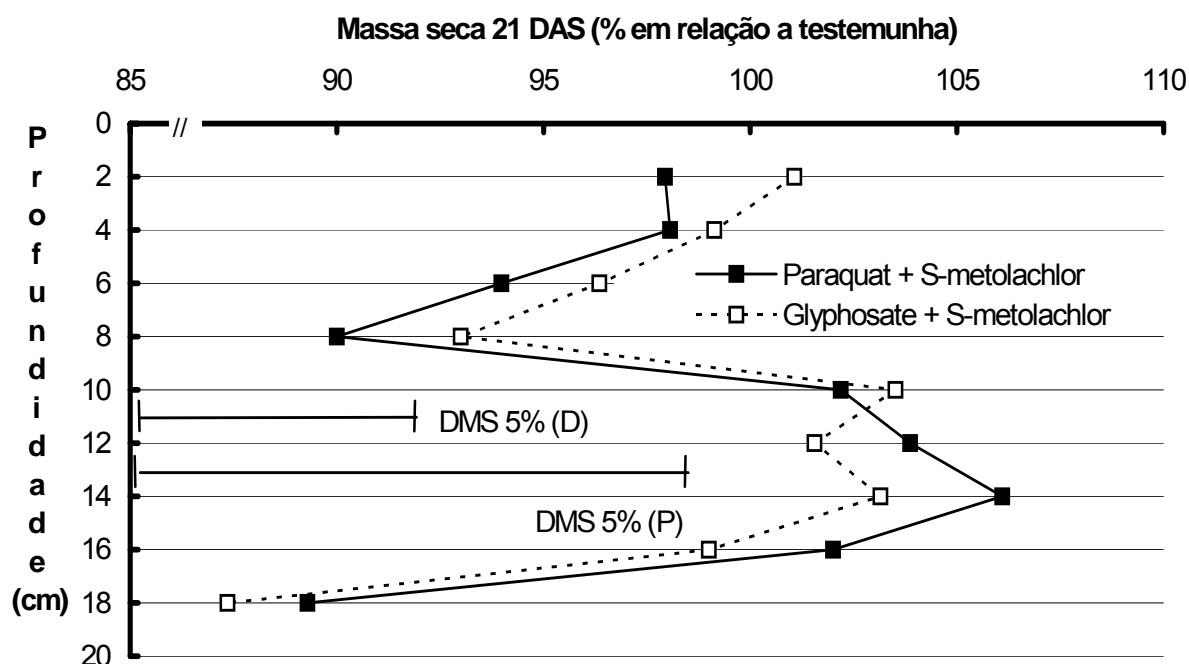


Figura 3.11 – Massa seca (% em relação à testemunha) do nabo forrageiro, em função do S-metolachlor associado a herbicidas dessecantes (paraquat e glyphosate), vinte e um dias após a semeadura (DAS) do mesmo em diferentes profundidades. DMS (D) compara médias entre dessecantes na mesma profundidade e DMS (P) compara médias entre profundidades de uma mesma associação.

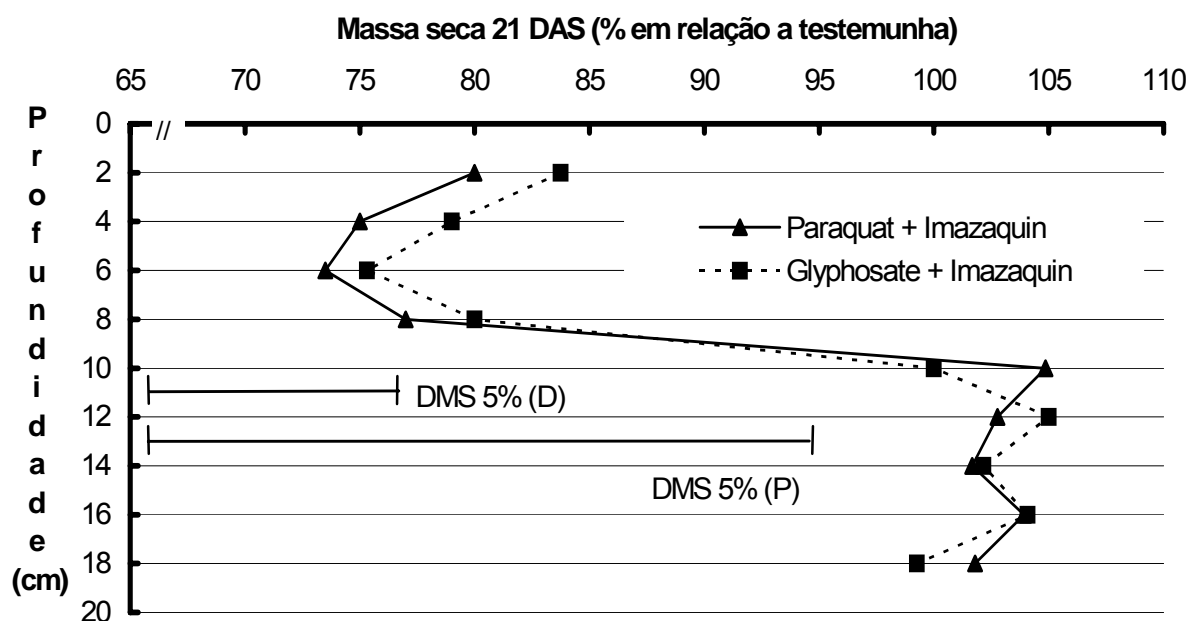


Figura 3.12 – Massa seca (% em relação à testemunha) do nabo forrageiro, em função do imazaquin associado a herbicidas dessecantes (paraquat e glyphosate), vinte e um dias após a semeadura (DAS) do mesmo em diferentes profundidades. DMS (D) compara médias entre dessecantes na mesma profundidade e DMS (P) compara médias entre profundidades de uma mesma associação.

3.3.4 Biodisponibilidade

Através das curvas de calibração do S-metolachlor e imazaquin e da variável estatura do nabo forrageiro avaliada aos 11 DAS foi estimada a biodisponibilidade dos herbicidas residuais no perfil do solo (Figuras 2.14 e 2.15).

A biodisponibilidade do herbicida S-metolachlor não diferiu dos 2 aos 16 cm de profundidade, apresentando disponibilidade média de 91 g ha^{-1} de S-metolachlor nessa camada do perfil. Entretanto, aos 18 cm, a biodisponibilidade foi diferente das demais profundidades, onde se concentrou 133 g ha^{-1} de S-metolachlor. Dos 2800 g ha^{-1} de S-metolachlor aplicados inicialmente no campo, 873 g ha^{-1} (31%) estavam biodisponíveis no perfil do solo avaliado aos 25 dias após a aplicação (Figura 3.13).

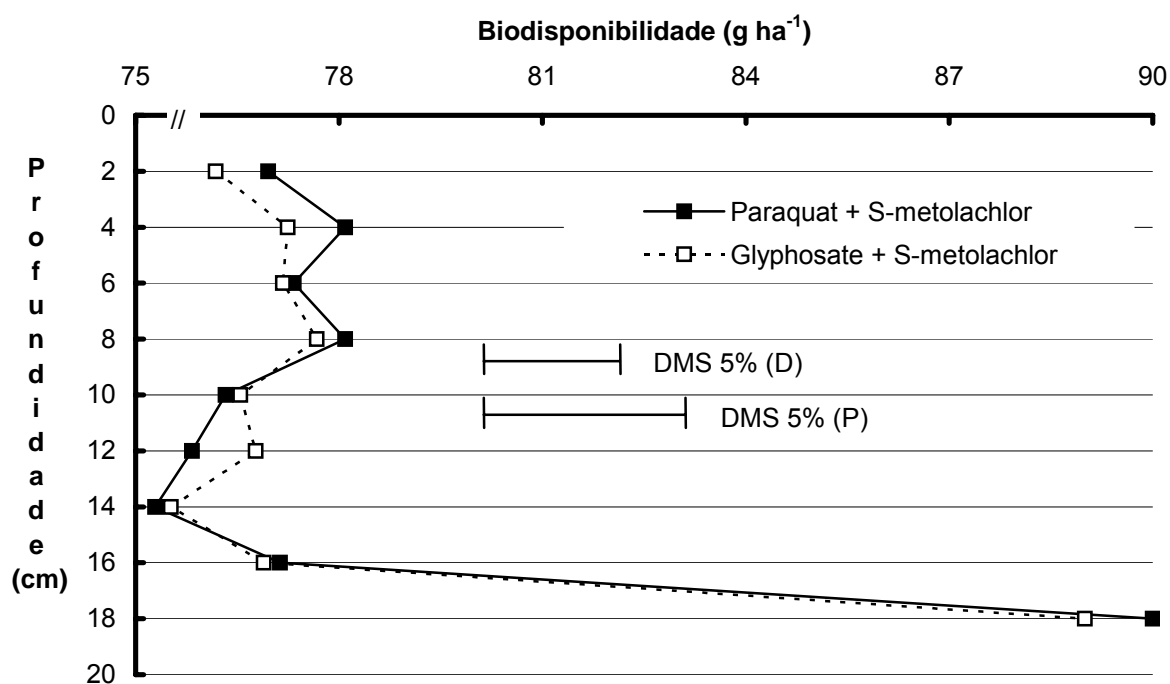


Figura 3.13 – Biodisponibilidade do S-metolachlor em função do herbicida dessecante (paraquat e glyphosate), obtido através da variável estatura avaliada aos onze dias após a semeadura (DAS) do nabo forrageiro em diferentes profundidades. DMS (D) compara médias entre dessecantes na mesma profundidade e DMS (P) compara médias entre profundidades de uma mesma associação.

Contrariamente, o imazaquin apresentou maior biodisponibilidade dos 2 aos 8 cm de profundidade, em média 41 g ha^{-1} . A partir dos 8 cm, a quantidade disponível de imazaquin na solução do solo foi significativamente menor e variou de 2 a 15 g ha^{-1} . Das 300 g ha^{-1} de imazaquin aplicados inicialmente no campo, 190 g ha^{-1} (63%) estavam biodisponíveis no perfil do solo avaliado, sendo que 86% da biodisponibilidade estava entre 2 e 8 cm de profundidade (Figura 3.7).

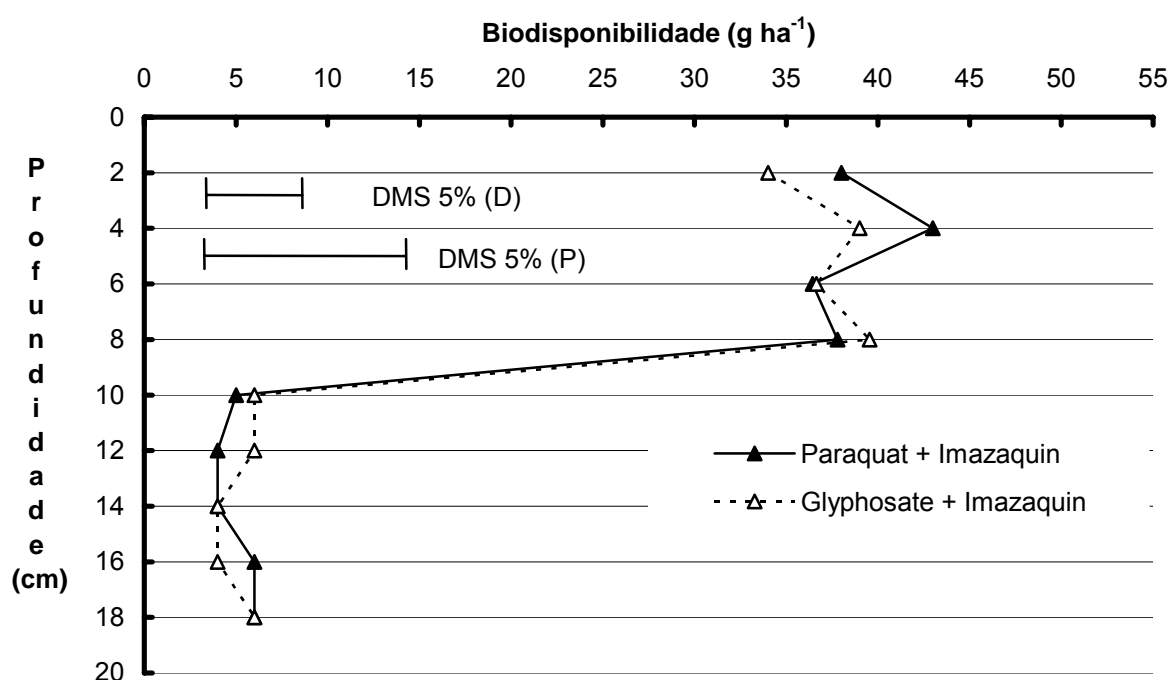


Figura 3.14 – Biodisponibilidade do imazaquin em função do herbicida dessecante (paraquat e glyphosate), obtido através da variável estatura avaliada aos onze dias após a semeadura (DAS) do nabo forrageiro em diferentes profundidades. DMS (D) compara médias entre dessecantes na mesma profundidade e DMS (P) compara médias entre profundidades de uma mesma associação.

3.4 Discussões

A lixiviação dos herbicidas S-metolachlor e imazaquin não variaram entre o tipo de aplicação (associação e seqüencial) e o herbicida dessecante (paraquat e glyphosate). Através das variáveis analisadas e da estimação da biodisponibilidade

verificou-se que o herbicida S-metolachlor apresentou maior concentração próxima dos 18 cm de profundidade, quando submetido à precipitação pluvial acumulada de 95 mm durante 21 dias.

A lixiviação do metolachlor geralmente é insignificante quando o conteúdo de M.O. do solo é maior que 2,0% (AHRENS, 1994). Entretanto, o conteúdo de M.O. no solo utilizado neste estudo continha 2,3%, além de 28% de argila (FERRI et al., 2005). Em solo com 1,5% de M.O. e 33% de argila, o metolachlor foi detectado até 10 cm de profundidade quando submetido a uma lâmina de água de 33 mm, e não passou além de 5 cm de profundidade com uma lâmina de água de 20 mm (WIESE & TURNER, 1977). Outro solo, com 0,94% de M.O. e 7,3% de argila, o metolachlor atingiu 30 cm de profundidade com uma lâmina de água de apenas 13 mm (BARNES et al., 1992). A mobilidade do metolachlor está inversamente relacionada ao conteúdo de M.O. e argila no solo (ALHAJJAR et al., 1990; WIETERSEN et al., 1993; SINGH et al., 2002).

Os principais fatores determinantes da lixiviação de pesticidas no solo são a solubilidade em água da molécula, textura e estrutura do solo e o índice pluviométrico do local (LAVORENTI et al., 2003). Assim, a elevada solubilidade em água do S-metolachlor (488 mg L^{-1}) e a precipitação pluvial acumulada de 95 mm podem explicar a maior mobilidade do S-metolachlor em relação ao imazaquin. Entretanto, num estudo que comparou a lixiviação do metolachlor e imazaquin em solos contrastantes foi evidenciado que a mobilidade do imazaquin é de 2 a 10 vezes maior em relação ao metolachlor (WEBER et al., 2003). A época de determinação da lixiviação e a variabilidade espacial inerente às condições edafo-climáticas específicas aos locais de estudo são sugeridos como responsáveis por estes resultados conflitantes (FERRI et al., 2003).

Analisando a concentração total do S-metolachlor presente na solução do solo na profundidade de 0 a 18 cm foi constatada que apenas 25,2% do produto aplicado inicialmente estava disponível na solução do solo. Essa baixa biodisponibilidade pode ser explicada por quatro motivos. Primeiro, devido à rápida degradação do herbicida no ambiente, fato esse corroborado pelos resultados apresentados no capítulo anterior, em que a meia-vida desse herbicida variou entre 11 e 15 dias em função do herbicida dessecante utilizado. Segundo, parte das moléculas podem ter sido adsorvidas aos colóides do solo ou à palha, e assim, tornarem-se indisponíveis na solução do solo para a absorção radicular da planta indicadora. O S-metolachlor possui Log K_{ow} igual 2,89 apresentando moderada sorção aos colóides do solo e à palha. A presença de palha de milho reduziu em 50% a lixiviação do herbicida methabenzthiazuron em relação à testemunha sem palha (PRINTZ et al., 1995). Terceiro, o produto pode ter sido absorvido via foliar ou radicular pelas plantas da cobertura vegetal viva. E quarto, o S-metolachlor pode ter lixiviado para profundidades superiores a 18 cm, já que a precipitação pluvial acumulada foi elevada.

Através das variáveis analisadas e da estimativa da biodisponibilidade verificou-se que o herbicida imazaquin apresentou maior concentração entre 2 e 8 cm de profundidade, quando submetido à precipitação pluvial acumulada de 95 mm durante 21 dias.

A lixiviação do imazaquin no solo é inversamente relacionada ao conteúdo de M.O. e argila no solo (LIU & WEBER, 1985; BASHAM et al., 1987) e do pH do solo (STOUGAARD et al., 1990; REGITANO et al., 2005). Avaliando o efeito da calagem na mobilidade do imazaquin em solos brasileiros foi verificado que quanto maior o pH do solo, maior a lixiviação da molécula. Isso pode ser explicado pelo fato

do imazaquin apresentar característica de ácido fraco e os solos apresentarem balanço de cargas negativas (INOUE et al., 2002). Após a aplicação do imazaquin, quanto mais cedo ocorrerem chuvas, maior será a lixiviação da molécula, principalmente em solo arenosos (REGITANO et al., 2002).

A concentração total do imazaquin presente no solo na profundidade de 0 a 18 cm foi de 60,1% do produto aplicado inicialmente. A maior biodisponibilidade do imazaquin em relação ao S-metolachlor pode ser explicada basicamente por três razões. Primeiro, devido à maior persistência do imazaquin em comparação ao S-metolachlor. A meia-vida do imazaquin variou entre 57 e 66 dias e a do S-metolachlor variou entre 11 e 15 dias, dependendo do herbicida dessecante utilizado na associação (Tabela 2.2). Segundo, o imazaquin apresenta menor Log K_{ow} em relação ao S-metolachlor, 0,30 e 2,89, respectivamente. Deste modo, a retenção do imazaquin nos colóides do solo e na palha é menor em comparação ao S-metolachlor, aumentando a biodisponibilidade do herbicida. Terceiro, a solubilidade em água do imazaquin é menor em relação ao S-metolachlor, 60 e 488 mg L⁻¹, respectivamente. Assim, a mobilidade do imazaquin é menor, fazendo que o produto fique concentrado na parte superficial da camada do solo.

3.5 Conclusões

Os tipos de herbicida dessecante utilizados não afetaram a lixiviação dos herbicidas residuais S-metolachlor e imazaquin. Assim como não há diferenças na lixiviação desses herbicidas em função da sua aplicação seqüencial ou em associação com herbicidas dessecantes. A lixiviação do herbicida S-metolachlor é maior em relação ao imazaquin. A maior concentração de S-metolachlor detectada

através do bioensaio, ocorreu a 18 cm de profundidade, enquanto que o imazaquin se concentrou entre 2 e 8 cm de profundidade.

4. CAPÍTULO IV – DISCUSSÃO GERAL

Os resultados apresentados e discutidos nos capítulos anteriores respondem as dúvidas e hipóteses relacionadas à persistência e lixiviação de herbicidas residuais quando associados a herbicidas dessecantes. Cada capítulo tratou de um objetivo específico, visando posteriormente uma análise conjunta, situada num contexto teórico que abranja as implicações metodológicas, agronômicas, econômicas e ambientais.

4.1 Implicações metodológicas

Através da análise conjunta dos resultados desta dissertação é possível averiguar dois problemas metodológicos que não estão relatados na literatura. O primeiro problema é com relação a época de avaliação das variáveis do bioensaio. A fitotoxicidade medida em três épocas (Figuras 2.2 a 2.7) nos mostra que quanto maior o tempo de avaliação, menor é o número de diferenças significativas entre os tratamentos, tanto que na variável massa seca aos 21 DAS (Figuras 3.11 e 3.12), utilizada para mensurar a lixiviação dos herbicidas residuais, não houve diferenças entre os tratamentos em todas as causas de variação. Isso ocorre, provavelmente, devido à degradação dos produtos residuais durante o período de avaliação do bioensaio. Portanto, deve-se evitar avaliações posteriores aos 14 dias da implantação do bioensaio.

O segundo problema, de maior gravidade, surge da análise conjunta dos resultados dos capítulos II e III e mostra um erro na literatura na determinação da persistência dos herbicidas no sistema de semeadura direta. A maioria dos trabalhos de persistência relatados na literatura avaliam somente os primeiros 5 cm do perfil do solo, onde a maioria das sementes das plantas daninhas se concentram. Um fato

importante, que não é levado em consideração, é que os compostos podem passar da cobertura vegetal e inclusive dos primeiros 5 cm do perfil do solo, principalmente os compostos com maior solubilidade em água. Quando não se considerada a possibilidade do herbicida ultrapassar os primeiros 5 cm de solo, pode se atribuir de forma errônea, que o herbicida ficou retido na palha. Surge assim, a conclusão equivocada que quanto maior a solubilidade em água de um herbicida, maior a possibilidade do mesmo ficar retido em grandes quantidades na palhada.

Trabalhos que avaliaram a disponibilidade dos herbicidas, além dos primeiros 5 cm do perfil do solo concluíram que a principal característica que confere ao herbicida a capacidade de atingir o solo é a solubilidade em água (TEASDALE et al., 2003; CURRIE & KLOCKE, 2005). Comparando os herbicidas metolachlor e alachlor, verificou-se que a interceptação do metolachlor pela cobertura morta de trigo foi menor, possivelmente por ser mais solúvel em água do que o alachlor (ALMEIDA, 1992).

4.2 Implicações agronômicas

As plantas daninhas contribuem negativamente com a produção agrícola. Elas reduzem a produtividade devido aos efeitos diretos e indiretos que exercem sobre o crescimento das culturas. Os efeitos diretos devem-se, especialmente, à competição que exercem por recursos limitados do meio, enquanto os efeitos indiretos incluem, principalmente, dificuldades na colheita e contaminação dos grãos por sementes e outros materiais estranhos provenientes das plantas daninhas. Os efeitos dessas plantas sobre as culturas representam a maior causa de redução de produtividade.

Na cultura da soja, com densidade de até 15 plantas m⁻², cada planta de *Bidens* spp. pode reduzir em 2% o rendimento de grãos e em 3% a matéria seca da planta no florescimento. Esta espécie daninha, na densidade de 170 plantas m⁻², reduz 48% do rendimento de grãos de soja e 52% da matéria seca da cultura no florescimento (RIZZARDI et al., 2003). Isso ocorre, provavelmente, devido à presença das plantas daninhas no período inicial de desenvolvimento da cultura (ZAGONEL et al., 2000; MESCHEDE et al., 2002; MESCHEDE et al., 2004).

A utilização de determinadas medidas de manejo de plantas daninhas envolve o conhecimento dos períodos de convivência entre as ervas e a cultura. Esses períodos são divididos em três categorias e denominados pelas siglas PAI, PTPI e PCPI. O PAI (período anterior a interferência) é aquele, após a emergência da cultura, em que a mesma pode conviver com as plantas daninhas sem que ocorra elevada redução na sua produtividade. O PTPI (período total de prevenção da interferência) é aquele, após a emergência da cultura na qual as plantas daninhas devem ser controladas para que a cultura expresse o seu máximo potencial produtivo. E o PCPI (período crítico de prevenção da interferência) compreende o intervalo de tempo entre os dois períodos anteriores em que, obrigatoriamente, é necessário evitar a interferência das plantas daninhas (NIETO et al., 1968; PITELLI & DURIGAN, 1984).

No Brasil, o PTPI das plantas daninhas na cultura da soja varia entre 20 e 50 dias após a emergência (CARVALHO & VELINI, 2001; MELO et al., 2001; MESCHEDE et al., 2002). Assim, a associação de imazaquin com qualquer um dos dessecantes utilizados, controlaria as plantas daninhas suscetíveis a esse herbicida durante todo o PTPI das plantas daninhas, pois, sua meia-vida foi de 60 e 68 dias, quando associado ao paraquat e ao glyphosate, respectivamente (Tabela 2.1),

mesmo considerando o período entre a dessecação e a emergência da cultura que varia entre 7 e 14 dias. Nesse caso, deve-se dar preferência para o dessecante que possuir menor custo por unidade de área, o glyphosate, que coincidentemente, é o dessecante que proporciona uma maior permanência do imazaquin no solo.

Entretanto, a meia-vida do S-metolachlor foi muito curta, 11 e 15 dias quando associado ao glyphosate e ao paraquat, respectivamente (Tabela 2.1), sendo necessário, nesse caso, uma aplicação em pós-emergência para complementar o controle das plantas daninhas que normalmente são controladas por esse herbicida. Dessa forma, a adição do S-metolachlor no momento da dessecação, parece ser inviável, independente do herbicida dessecante utilizado, devido que, se considerarmos o período entre a dessecação e a emergência da cultura que varia entre 7 e 14 dias, após a emergência da cultura já não haveria efeito residual por parte deste herbicida ou este efeito estaria dentro do PAI.

4.3 Implicações econômicas

O emprego do manejo químico no controle de plantas daninhas trouxe grande versatilidade, redução de custos, aumento da eficiência, que provocou grandes mudanças na forma de praticar agricultura. Entretanto, nos últimos anos ocorreram mudanças profundas na economia mundial, como o novo modelo econômico que retirou o governo de cena e deu lugar ao livre comércio e a concorrência aberta de mercado. Países em desenvolvimento, como o Brasil, que foram submetidos a esse processo, têm seu setor agropecuário afetado, devido à queda de preços, tendendo ao nivelamento com padrões internacionais (PIRES, 1997; van DIJK, 1997). Assim, nesta conjuntura econômica, há a necessidade de redução de custos de produção e do aumento da produtividade para que o setor

agropecuário se consolide no mercado internacional. Como visto na seção 4.2, essas necessidades só são obtidas quando há o controle precoce das infestantes.

No Brasil, mesmo utilizando as medidas de controle de plantas daninhas disponíveis, estima-se que estas ainda causem prejuízos de mais de 2 bilhões de dólares somente com as culturas de milho e soja (VIDAL et al., 2005). Hipotetizando que o produtor rural adicione imazaquin no momento da dessecação para evitar a interferência inicial das plantas daninhas com a cultura da soja, o aumento do custo dos herbicidas seria de 12 dólares, em relação apenas a dessecação (AENDA, 2005). Levando em consideração que o potencial produtivo de lavouras de soja tecnificadas seja em média 3000 kg ha^{-1} e que o preço histórico da saca de soja de U\$ 10,00, o prejuízo causado uma interferência de dez plantas daninhas por m^{-2} , seria de U\$ 100,00. Assim, o custo adicional dos herbicidas é menor que o prejuízo causado pela interferência inicial das plantas indesejadas, mostrando a viabilidade econômica desta técnica.

Entre os 20 milhões de ha de semeadura direta no Brasil, aproximadamente, 13 milhões de ha são cultivados com a cultura de soja (65%). Caso 20% de área utilize esta técnica, o aumento na rentabilidade, devido o controle precoce das plantas daninhas, seria próximo de 228 milhões de dólares.

4.3 Implicações ambientais

A conservação ambiental transformou-se em um dos fatores de maior influência dos últimos tempos, com grande inserção na sociedade. Assim, a pesquisa começa a apresentar soluções para alcançar o desenvolvimento sustentável e ao mesmo tempo aumentar a lucratividade dos negócios, tornando-os

mais competitivos. Os herbicidas possuem papel importante no desenvolvimento da agricultura intensiva no mundo. Entretanto, há uma crescente preocupação com seus potenciais danos no ambiente, principalmente, aqueles relativos à contaminação de águas subterrâneas e superficiais.

A contaminação das águas subterrâneas pelos compostos químicos depende de alguns fatores, como propriedades físico-químicas dos produtos, características do solo e do local, que podem aumentar ou diminuir o potencial de contaminação dos herbicidas. Com relação as propriedades físico-químicas dos produtos, a alta solubilidade, alta meia-vida e a baixa adsorção, são fatores que potencializam a lixiviação dos compostos no perfil do solo. A presença dos herbicidas dessecantes alterou a meia-vida dos herbicidas residuais (Tabela 2.1), mas não influenciou na lixiviação dos mesmos (Figuras 3.13 e 3.14). Isso ocorreu, possivelmente, devido ao fato de que a diferença entre as meias-vidas aos 21 DAA não foi suficiente para mostrar diferenças na lixiviação. Com relação as características solo, baixa porcentagem de M.O. (<1%) e solos arenosos favorecem a movimentação dos compostos no perfil. Apesar deste trabalho ser realizado em solo argiloso com 2% de M.O., o S-metolachlor se concentrou aos 18 cm de profundidade (Figura 3.13), que foi a máxima profundidade avaliada, podendo assim, esta substância ter ultrapassado a zona de avaliação, mostrando como um potencial contaminador do lençol freático. E, finalmente, com relação as características do local, o excesso de chuva ou irrigação e a baixa profundidade do lençol freático favorecem a contaminação das águas subterrâneas por produtos químicos. No Brasil, geralmente, a elevada profundidade dos lençóis subterrâneos evita os problemas decorrentes da lixiviação. Porém, a alta intensidade das chuvas no

inverno pode fazer com que essa característica não seja suficiente para impedir esse problema.

5. CAPÍTULO V – CONCLUSÕES GERAIS

O tipo de dessecante utilizado afeta a persistência dos herbicidas residuais S-metolachlor e imazaquin, quando aplicados sobre cobertura vegetal, mas não afeta a lixiviação dos mesmos. Não há diferença entre aplicação simultânea e seqüencial dos herbicidas dessecantes e residuais tanto na persistência como na mobilidade dos herbicidas residuais.

A persistência do imazaquin é maior em relação ao S-metolachlor, independente do herbicida dessecante utilizado. A persistência do S-metolachlor é maior na presença do paraquat, do que na presença de glyphosate. A persistência do imazaquin é maior na presença do glyphosate, do que na presença do paraquat.

A lixiviação do herbicida S-metolachlor é maior do que a do imazaquin. A maior concentração de S-metolachlor, detectada através do bioensaio, foi encontrada 18 cm de profundidade, enquanto que o imazaquin se concentrou entre 2 e 8 cm de profundidade.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ACCINELLI, C.; DINELLI, G.; VICARI, A.; CATIZONE, P. Atrazine and metolachlor degradation in subsoils. **Biology and Fertility of Soils**, Heidelberg, v.33, n.6, p.495-500, 2001.

ACCINELLI, C.; HASHIM, M.; EPIFANI, R.; SCHNEIDER, R.J.; VICARI, A. Effects of the antimicrobial agent sulfamethazine on metolachlor persistence and sorption in soil. **Chemosphere**, Kidlington Oxford, v.63, n.9, p.1539-1545, 2006.

ACCINELLI, C.; SCREPANTI, C.; VICARI, A. Influence of flooding on the degradation of linuron, isoproturon and metolachlor in soil. **Agronomy for Sustainable Development**, Courtaboeuf, v.25, n.3, p.401-406, 2005.

AENDA. Análise dos preços de defensivos agrícolas pagos pelos agricultores no estado do Paraná - (2001 - 2005). In: ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DOS DEFENSIVOS GENÉRICOS. Disponível em: <http://aenda.org.br/Arquivos/parana_herbicidas06.pdf>. Acesso em: 25 outubro de 2005.

AHRENS, W.H. (Ed.) **Herbicide Handbook**. 7. ed. Champaign: Weed Science Society of America, 1994. 352p.

AICHELE, T.M.; PENNER, D. Adsorption, desorption, and degradation of imidazolinones in soil. **Weed Technology**, Lawrence, v.19, n.1, p.154-159, 2005.

ALHAJJAR, B.J.; SIMSIMAN, G.V.; CHESTERS, G. Fate and transport of alachlor, metolachlor and atrazine in large columns. **Water Science and Technology**, Oxford, v.22, n.1, p.87-94, 1990.

ALMEIDA, F.S. Herbicidas residuais em diferentes sistemas de preparo de solo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.24, n.4, p.596-601, 1992.

ANHALT, J.C.; ARTHUR, E.L.; ANDERSON, T.A.; COATS, J.R. Degradation of atrazine, metolachlor, and pendimethalin in pesticide-contaminated soils: Effects of aged residues on soil respiration and plant survival. **Journal of Environmental Science and Health Part B – Pesticides Food Contaminants and Agricultural Wastes**, New York, v.35, n.4, p.417-438, 2000.

AYENI, A.O; MAJEK, B.A.; HAMMERSTEDT, J. Rainfall influence on imazethapyr bioactivity in New Jersey soils. **Weed Science**, Lawrence, v.46, n.5, p.581-586, 1998.

AZANIA, C.A.M.; AZANIA, A.A.P.M.; CENTURION, M.A.P.C.; ALVES, P.L.C.A. Seletividade de imazapic para dois cultivares de amendoim (*Arachis hypogaea*) cultivados na ausência e na presença de palha de cana-de-açúcar. **Planta Daninha**, Viçosa, v.22, n.1, p.145-150, 2004.

BANKS, P.A.; ROBINSON, E.L. Soil reception and activity of acetochlor, alachlor, and metolachlor as affected by wheat (*Triticum aestivum*) straw and irrigation. **Weed Science**, Champaign, v.34, n.4, p.607-611, 1986.

BANKS, P.A.; ROBINSON, E.L. The influence of straw mulch on the soil reception and persistence of metribuzin. **Weed Science**, Champaign, v.30, n.2, p.164-168, 1982.

- BARNES, C.J.; LAVY, T.L.; TALBERT, R.E. Leaching, dissipation, and efficacy of metolachlor applied by chemigation or conventional methods. **Journal of Environmental Quality**, Madison, v.21, n.2, p.232-236, 1992.
- BARRIUSO, E.; CALVET, R. Soil type and herbicides adsorption. **International Journal Environmental Analytical Chemistry**, Reading, v.46, n.1, p.117-128, 1992.
- BASHAM, G.T.; LAVY, T.L.; OLIVER, L.R.; SCOTT, H.D. Imazaquin persistence and mobility in three Arkansas soils. **Weed Science**, Champaign, v.35, n.2, p.576-582, 1987.
- BASHAM, G.W.; LAVY, T.L. Microbial and photolytic dissipation of imazaquin in soil. **Weed Science**, Champaign, v.35, n.6, p.865-870, 1987.
- BAUGHMAN, T.A.; SHAW, D.R. Effect of wetting/drying cycles on dissipation patterns of bioavailable imazaquin. **Weed Science**, Champaign, v.44, n.2, p.380-382, 1996.
- BAUMAN, T.T.; ROSS, M.A. Effect of three tillage systems on the persistence of atrazine. **Weed Science**, Champaign, v.31, n.3, p.423-426, 1983.
- BEYER, E.M.; DUFFY, M.J.; HAY, J.V.; SCHLUETER, D.D. Sulfonylureia. In: KEARNEY, P.C.; KAUFMAN, D.D. eds. **Herbicides: chemistry, degradation, and mode of action**. New York: M. Dekker, 1988. p.117-189.
- BLASER H.U.; SPLINDER, F. Enantioselective catalysis for agrochemicals: the case history of the DUAL MAGNUM herbicide. **Chimia**, Bern, v.51, n.6, p.297-299, 1997
- BRINTON, W.F.; EVANS, E.; BLEWETT, T.C. Herbicide residues in composts: pH and salinity affect the growth of bioassay plants. **Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology**, New York, v.75, n.5, p.929-936, 2005.
- BURGARD, D.J.; KOSKINEN, W.C.; DOWDY, R.H.; CHENG, H.H. Metolachlor distribution in a sandy soil under irrigated potato production. **Weed Science**, Champaign, v.41, n.4, p.648-655, 1993.
- BURGOS, N.R.; TALBERT, R.E.W. Weed control and sweet corn (*Zea mays* var. *rugosa*) response in a no-till system with cover crops. **Weed Science**, Champaign, v.44, n.2, p.355-361, 1996.
- CANELLAS, L.P.; SANTOS, G.A.; AMARAL SOBRINHO, N.M.B. Reações da matéria orgânica. In: SANTOS, G.A.; CAMARGO, F. de O. (eds). **Fundamentos da matéria orgânica do solo**. Porto Alegre: Gênese, 1999. p.69-90.
- CARVALHO, F.T.; VELINI, E.D. Períodos de interferência de plantas daninhas na cultura da soja. I — cultivar IAC-11. **Planta Daninha**, Viçosa, v.19, n.3, p.317-322, 2001.
- CELIS, R.; REAL, M.; HERMOSIN, M.C.; CORNEJO, J. Desorption, persistence, and leaching of dibenzofuran in European soils. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v.70, n.4, p.1310-1317, 2006.
- CHAUHAN, B.S.; GILL, G.; PRESTON, C. Tillage systems affect trifluralin bioavailability in soil. **Weed Science**, Lawrence, v.54, n.5, p.941-947, 2006.
- CRAFTS, A.S. The toxicity of sodium arsenite and sodium chlorate in four California soils. **Hilgardia**, Berkeley, v.9, n.4, p.462-498, 1935

CURRIE, R.S.; KLOCKE, N.L. Impact of a terminated wheat cover crop in irrigated corn on atrazine rates and water use efficiency. **Weed Science**, Lawrence, v.53, n.5, p.709-716, 2005.

DAO, T.H. Subsurface mobility of metribuzin as affected by crop residue placement and tillage method. **Journal of Environmental Quality**, Madison, v.24, n.6, p.1193-1198, 1995.

DINELLI, G.; ACCINELLI, C.; VICARI, A.; CATIZONE, P. Comparison of the persistence of atrazine and metolachlor under field and laboratory conditions. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, Washington, v.48, n.7, p.3037-3043, 2000.

DOZIER, M.C.; SENSEMAN, S.A.; HOFFMAN, D.W.; BAUMANN, P.A. Comparison of atrazine and metolachlor affinity for bermudagrass (*Cynodon dactylon* L.) and two soils. **Archives of Environmental Contamination and Toxicology**, New York, v.43, n.3, p.292-295, 2002.

EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solo**. Brasília: Embrapa-SPI, 1999. 412p.

FEBRAPDP. Federação Brasileira de Plantio Direto. **Área de Plantio Direto no Brasil**. Disponível em: <http://www.febrapdp.org.br>. Acessado em: 12/12/2006.

FERRI, M.V.W.; ADAMS, M.M.; PERALBA, M.D.R.; VIDAL, R.A.; PIZZOLATO, T.M. Activity, adsorption, and lixiviation of acetochlor in soil under no tillage and conventional tillage: Influence of straw coverage. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, New York, v.37, n.5-6, p.627-640, 2006.

FERRI, M.V.W.; GOMES, J.; DICK, D.P.; SOUZA, R.F.; VIDAL, R.A. Sorption of acetochlor herbicide by soil samples, humic acids and humin from an argisol under no-till and conventional tillage systems. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.29, n.5, p.705-714, 2005.

FERRI, M.V.W.; VIDAL, R.A. Persistência do herbicida acetochlor em função de sistema de preparo e cobertura com palha. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.33, n.3, p.399-404, 2003.

FERRI, M.V.W.; VIDAL, R.A.; GOMES, J.; DICK, D.P.; DE SOUZA, R.F. Activity of the herbicide acetochlor in soil under no-till and conventional tillage system. **Pesquisa Agropecuaria Brasileira**, Brasília, v.37, n.12, p.1697-1703, 2002.

FLINT, J.L.; WITT, W.W. Microbial degradation of imazaquin and imazethapyr. **Weed Science**, Lawrence, v.45, n.4, p.586-591, 1997.

GEBENDINGER, N.; RADOSEVICH, M. Inhibition of atrazine degradation by cyanazine and exogenous nitrogen in bacterial isolate M91-3. **Applied Microbiology and Biotechnology**, Heidelberg, v.51, n.3, p.375-381, 1999.

GOETZ, A.J.; WEHTJE, G.; WALKER, R.H.; HAJEK, B. Soil solution and mobility characterization of imazaquin. **Weed Science**, Champaign, v.34, n.5, p.788-793, 1986.

GREENLAND, R.G. Injury to vegetable crops from herbicides applied in previous years. **Weed Technology**, Lawrence, v.17, n.1, p.73-78, 2003.

GUSTAFSON, D. I. Groundwater ubiquity score: a simple method for assessing pesticide leachability. **Environmental Toxicology and Chemistry**, Pensacola, v.8, n.4, p.339-357, 1989.

HAGER, A.G.; RENNER, K.A.; SCHABENBERGER, O.; PENNER, D. Soil moisture, relative humidity, and bentazon affect imazethapyr absorption and translocation in common ragweed (*Ambrosia artemisiifolia*). **Weed Technology**, Lawrence, v.13, n.2, p.320-323, 1999.

HANEY, R.L.; SENSEMAN, S.A.; KRUTZ, L.J.; HONS, F.M. Soil carbon and nitrogen mineralization as affected by atrazine and glyphosate. **Biology and Fertility of Soils**, Heidelberg, v.35, n.1, p.35-40, 2002.

HOLLAWAY, K.L.; KOOKANA, R.S.; NOY, D.M.; SMITH, J.G.; WILHELM, N. Persistence and leaching of imazethapyr and flumetsulam herbicides over a 4-year period in the highly alkaline soils of south-eastern Australia. **Australian Journal of Experimental Agriculture**, Collingwood Victoria, v.46, n.5, p.669-674, 2006a.

HOLLAWAY, K.L.; KOOKANA, R.S.; NOY, D.M.; SMITH, J.G.; WILHELM, N. Persistence and leaching of sulfonyleurea herbicides over a 4-year period in the highly alkaline soils of south-eastern Australia. **Australian Journal of Experimental Agriculture**, Collingwood Victoria, v.46, n.8, p.1069-1076, 2006b.

HYDRICK, D.E.; SHAW, D.R. Effects of tank-mix combinations of nonselective foliar and selective soil-applied herbicides on three weed species. **Weed Technology**, Lawrence, v.8, n.1, p.129-133, 1994.

INOUE, M.H.; MARCHIORI JR., O.; OLIVEIRA JR.; R.S.; CONSTANTIN, J.; TORMENA, C.A.. Calagem e o potencial de lixiviação de imazaquin em colunas de solo. **Planta Daninha**, Viçosa, v.20, n.1, p.125-132, 2002.

INOUE, M.H.; OLIVEIRA JR.; R.S.; REGITANO, J.B.; TORMENA, C.A.; TORNISIELO, V.L.; CONSTANTIN, J. Critérios para avaliação do potencial de lixiviação dos herbicidas comercializados no estado do Paraná. **Planta Daninha**, Viçosa, v.21, n.2, p.313-323, 2003.

ISENSEE, A.R.; NASH, R.G.; HELLING, C.S. Effects of conventional vs. no tillage on pesticide leaching to shallow groundwater. **Journal of Environmental Quality**, Madison, v.19, n.2, p.434-440, 1990.

ISENSEE, A.R.; SADEGUI, A.M.; MYLAVARAPU, R.S. Impact of burn-down herbicides on atrazine washoff from vegetation. **Chemosphere**, Great Britain, v.36, n.1, p.13-19, 1998.

KATAGI, T. Photodegradation of pesticides on plant and soil surfaces. **Reviews of Environmental Contamination and Toxicology**, New York, v.182, n.a, p.1-189, 2004.

KELLER, K.E.; WEBER, J.B. Soybean (*Glycine max*) influences metolachlor mobility in soil. **Weed Science**, Lawrence, v.45, n.6, p.833-841, 1997.

KRUTZ, L.J.; SENSEMAN, S.A.; HANEY, R.L. Effect of Roundup Ultra on atrazine degradation in soil. **Biology and Fertility of Soils**, Heidelberg, v.38, n.2, p.115-118, 2003.

LAABS, V.; AMELUNG, W.; PINTO, A.; ZECK, W. Fate of pesticides in tropical soils of Brazil under field conditions. **Journal of Environmental Quality**, Madison, v.31, n.1, p.256-268, 2002.

LAVORENTI, A.; PRATA, F.; REGITANO, J.B. Comportamento de pesticidas em solos - Fundamentos. In: CURI, N.; MARQUES, J.J.; GUILHERME, L.R.G.; LIMA, J.M.; LOPES, A.S.; ALVAREZ V.H. (Org.). **Tópicos Especiais em Ciência do Solo**. Viçosa: SBCS, 2003. v.3, p.335-400.

LEE, S.J.; KATAYAMA, A.; KIMURA, M. Microbial-degradation of paraquat sorbed to plant residues. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, Washington, v.43, n.5, p.1343-1347, 1995.

LEONE, P.; GENNARI, M.; NEGRE, M.; BOERO, V. Role of ferrihydrite in adsorption of three imidazolinone herbicides. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, Washington, v.49, n.3, p.1315-1320, 2001b.

LEONE, P.; NEGRE, M.; GENNARI, M.; BOERO, V.; CELIS, R.; CORNEJO, J. Adsorption of imidazolinone herbicides on smectite-humic acid and smectite-ferrihydrite associations. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, Washington, v.50, n.2, p.291-298, 2002.

LEONE, P.; NEGRE, M.; GENNARI, M.; BOERO, V.; CELIS, R.; CORNEJO, J. Adsorption of imidazolinone herbicides on ferrichydrite-humic acid associations. **Journal of Environmental Science and Health - Part B - Pesticides Food Contaminants And Agricultural Wastes**, New York, v.36, n.2, p.127-142, 2001a.

LEVANON, D; CODLING, E.E.; MEISINGER, J.J.; STARR, J.L. Mobility of agrochemicals through soil from 2 tillage systems. **Journal of Environmental Quality**, Madison, v.22, n.1, p.155-161, 1993.

LICH, J.M.; RENNER, K.A.; PENNER, D. Interaction of glyphosate with postemergence soybean (*Glycine max*) herbicides. **Weed Science**, Lawrence, v.45, n.1, p.12-21, 1997.

LIU, S.L.; WEBER, J.B. Retention and mobility of AC 252,214 (imazaquin), chlorsulfuron, prometryn, and SD 95481 (cinmethylin) in soils. **Proceedings, Southern Weed Science Society**, Champaign, v.38, n.2, p.465-474, 1985.

LOPES, A.S.; WIETHÖLTER, S.; GUILHERME, L.R.G.; SILVA, C.A. **Sistema de plantio direto: bases para o manejo da fertilidade do solo**. São Paulo: ANDA, 2004. 110p.

LOUX, M.M.; LIEBEL, R.A.; SLIFE, F.W. Adsorption of imazaquin and imazethapyr on soils, sediments, and selected adsorbents. **Weed Science**, Champaign, v.37, n.5, p.712-718, 1989.

LOUX, M.M.; REESE, K.D. Effect of soil-pH on adsorption and persistence of imazaquin. **Weed Science**, Champaign, v.40, n.3, p.490-496, 1992.

LOWDER, S.W.; WEBER, J.B. Atrazine efficacy and longevity as affected by tillage, liming, and fertilizer type. **Weed Science**, Champaign, v.30, n.3, p.273-280, 1982.

MA, L.W.; SELIM, H.M. Predicting pesticide transport in mulch-amended soils: A two-compartment model. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v.69, n.2, p.318-327, 2005.

- MA, Y.; LIU, W.P.; WEN, Y.Z. Enantioselective degradation of rac-metolachlor and S-metolachlor in soil. **Pedosphere**, Beijing, v.16, n.4, p.489-494, 2006.
- MACHADO, P.L.O.A.; SILVA, C.A. Soil management under no-tillage systems in the tropics with special reference to Brazil. **Nutrient Cycling in Agroecosystems**, Dordrecht, v.61, n.1, p.119-130, 2001.
- MELO, H.B.; FERREIRA, L.R.; SILVA, A.A.; MIRANDA, G.V.; ROCHA, V.S.; SILVA, C.M.M. Interferência das plantas daninhas na cultura da soja cultivada em dois espaçamentos entre linhas. **Planta Daninha**, Viçosa, v.19, n.2, p.187-191, 2001.
- MERSIE, W.; MCNAMEE, C.; SEYBOLD, C.; WU, J.G.; TIERNEY, D. Degradation of metolachlor in bare and vegetated soils and in simulated water-sediment systems. **Environmental Toxicology and Chemistry**, Pensacola, v.23, n.11, p.2627-2632, 2004.
- MESCHEDE, D.K.; OLIVEIRA JR., R.S.; CONSTANTIN, J.; SCAPIM, C.A. Período crítico de interferência de *Euphorbia heterophylla* na cultura da soja sob baixa densidade de semeadura. **Planta Daninha**, Viçosa, v.20, n.3, p.381-387, 2002.
- MESCHEDE, D.K.; OLIVEIRA JR., R.S.; CONSTANTIN, J.; SCAPIM, C.A. Período anterior à interferência de plantas daninhas em soja: estudo de caso com baixo estande e testemunhas duplas. **Planta Daninha**, Viçosa, v.22, p.239-246, 2004.
- MONTGOMERY, J.H. **Agrochemicals desk reference**. 2. ed. Boca Raton: Lewis publishers, 1997. 656p.
- MOORMAN, T.B.; COWAN, J.K.; ARTHUR, E.L.; COATS, J.R. Organic amendments to enhance herbicide biodegradation in contaminated soils. **Biology and Fertility of Soils**, Heidelberg, v.33, n.6, p.541-545, 2001.
- MOSER, H.; RIHS, G.; SAUTER, H. The influence of atropisomerism and chiral center on the biological-activity of metolachlor. **Zeitschrift fur Naturforschung - Section B - A Journal of Chemical Sciences**, Mainz, v.37, n.4, p.451-462, 1982.
- NEGRE, M.; SCHULTEN, H.R.; GENNARI, M.; VINDROLA, D. Interaction of imidazolinone herbicides with soil humic acids. Experimental results and molecular modeling. **Journal of Environmental Science and Health -Part B – Pesticides Food Contaminants and Agricultural Wastes**, New York, v.36, n.2, p.107-125, 2001.
- NIETO, J.H.; BRONDO, M.A.; GONZALEZ, J.T. Critical periods of the growth cycle for competition from weeds. **PANS (C)**, London, n.14, p.159-166, 1968.
- O'CONNELL, P.J.; HARMS, C.T.; ALLEN, J.R.F. Metolachlor, S-metolachlor and their role within sustainable weed-management. **Crop Protection**, Oxford, v.17, n.3, p.207-212, 1998.
- PANNACCI, E.; ONOFRI, A.; COVARELLI, G. Biological activity, availability and duration of phytotoxicity for imazamox in four different soils of central Italy. **Weed Research**, Oxford, v.46, n.3, p.243-250, 2006.
- PATAKIOUTAS, G.; ALBANIS, T.A. Adsorption-desorption studies of alachlor, metolachlor, EPTC, chlorothalonil and pirimiphosmethyl in contrasting soils. **Pest Management Science**, Bognor Regis, v.58, n.4, p.352-362, 2002.
- PAUL, E.A.; CLARK, F.E. **Soil microbiology and biochemistry**. 3. ed. San Diego: Academic Press, 1996. 340p.

PETER, C. J.; WEBER, J. B. Adsorption, mobility and efficacy of alachlor and metolachlor as influenced by soil properties. **Weed Science**, Champaign, v.33, n.6, p.874-881, 1985.

PIRES, M. L. Cooperativismo: limites e perspectivas na era da globalização. Um estudo comparativo Brasil/Canadá". **Universidade e Sociedade**, Brasília, v.7, n.14, p.78- 84, 1997.

PITELLI, R.A.; DURIGAN, J.C. Terminologia para períodos de controle e convivência das plantas daninhas em culturas anuais e bianuais. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE HERBICIDAS E PLANTAS DANINHAS, 15., 1984, Belo Horizonte. **Resumos...** Belo Horizonte: SBCPD, 1984. p.37.

PRINTZ, H.; BURAUUEL, P.; FUHR, F. Effect of organic amendment on degradation and formation of bound residues of methabenzthiazuron in soil under constant climatic conditions. **Journal of Environmental Science and Health Part B- Pesticides Food Contaminants and Agricultural Wastes**, New York, v.30, n.4, p.435-456, 1995.

PROCÓPIO, S.O.; SILVA, A.A.; SANTOS, J.B.; FERREIRA, L.R.; MIRANDA, G.V.; SIQUEIRA, J.G. Efeito da irrigação inicial na profundidade de lixiviação do herbicida S-metolachlor em diferentes tipos de solos. **Planta Daninha**, Viçosa, v.19, n.3, p.409-417, 2001.

QUIVET, E.; FAURE, R.; GEORGES, J.; PAISSE, J.O. Hydrolytic and photolytic behaviour of imidazolinone pesticides. Case of imazamox and imazapyr. **Actualite Chimique**, Paris, v.31-34, Suplemento 294, 2006.

REDDY, K.N.; LOCKE, M.A.; WAGNER, S.C.; ZABLOTOWICZ, R.M.; GASTON, L.A.; SMEDA, R.J. Chlorimuron ethyl sorption and desorption kinetics in soils and herbicide-desiccated cover crop residues. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, Washington, v.43, n.10, p.2752-2757, 1995.

REGITANO, J.B.; ALLEONI, L.R.F.; VIDAL-TORRADO, P.; CASAGRANDE, J.C.; TORNISIELO, V.L. Imazaquin sorption in highly weathered tropical soils. **Journal of Environmental Quality**, Madison, v.29, n.3, p.894-900, 2000.

REGITANO, J.B.; PRATA, F.; ROCHA, W.S.D.; TORNISIELO, V.L.; LAVORENTI, A. Imazaquin mobility in tropical soils in relation to soil moisture and rainfall timing. **Weed Research**, Oxford, v.42, n.4, p.271-279, 2002.

REGITANO, J.B.; ROCHA, W.S.D.; ALLEONI, L.R.F. Soil pH on mobility of imazaquin in oxisols with positive balance of charges. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, Washington, v.53, n.10, p.4096-4102, 2005.

RIZZARDI, M.A.; FLECK, N.G.; MUNDSTOCK, C.M.; BIANCHI, M.A. Perdas de rendimento de grãos de soja causadas por interferência de picão-preto e guanxuma. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.33, n.4, p.621-627, 2003.

ROBERTS, T.R.; HUDSON, D.H. LEE, P.W.; NICHOLLS, P.H.; PLIMMER, J.R. **Metabolic pathways of agrochemicals**. Part 1: Herbicides and plant growth regulators. Cambridge: The Royal Society of Chemistry, 1998. p.386-400.

ROBERTS, T.R.; HUDSON, D.H. **Metabolic pathways of agrochemicals**. Part 2: Insecticides and fungicides. Cambridge: The Royal Society of Chemistry, 1999. p.1380-1384.

- RODRIGUES, B.N. Influência da cobertura morta no comportamento dos herbicidas imazaquin e clomazone. **Planta Daninha**, Brasília, v.11, n.1/2, p.21-28, 1993.
- RODRIGUES, B.N.; LIMA, J. de; YADA, I.F.U. Retenção pela palhada, de herbicidas aplicados em pré-emergência na cultura do milho, em plantio direto. **Revista Brasileira de Herbicidas**, Brasília, v.1, n.2, p.123-128, 2000.
- ROSS, M.A.; LEMBI, C.A. **Applied weed science**. 2.ed. New Jersey: Prentice Hall, 1999. 452p.
- SCHMITZ, G.L.; WITT, W.W.; MUELLER, T.C. The effect of wheat (*Triticum aestivum*) straw levels on chlorimuron, imazaquin, and imazethapyr dissipation and interception. **Weed Technology**, Lawrence, v.15, n.1, p.129-136, 2001.
- SEIFERT, S.; SHAW, D.R.; KINGERY, W.L.; SNIPES, C.E.; WESLEY, R.A. Imazaquin mobility and persistence in a Sharkey clay soil as influenced by tillage systems. **Weed Science**, Lawrence, v.49, n.4, p.571-577, 2001.
- SELIM, H.M.; ZHOU, L.; ZHU, H. Herbicide retention in soil as affected by sugarcane mulch residue. **Journal of Environmental Quality**, Madison, v.32, n.4, p.1445-1454, 2003.
- SENESI, N.; BRUNETTI, G.; LACAVALA, P.; MIANO, T.M. Adsorption of alachlor by humic acids from sewage sludge and amended and non-amended soils. **Soil Science**, Baltimore, v.157, n.3, p.176-184, 1994.
- SENESI, N.; CHEN, I.A. Chemical and physical characteristics of four soil types under conventional and no-tillage systems. **Journal of Environmental Quality**, Madison, v.18, n.1, p.205-213, 1989.
- SEYBOLD, C.A.; MERSIE, W.; MCNAMEE, C. Anaerobic degradation of atrazine and metolachlor and metabolite formation in wetland soil and water microcosms. **Journal of Environmental Quality**, Madison, v.30, n.4, p.1271-1277, 2001.
- SHANER, D.L.; BRUNK, G.; BELLES, D.; WESTRA, P.; NISSEN, S.; WESTRA, P.; NISSEN, S. Soil dissipation and biological activity of metolachlor and S-metolachlor in five soils. **Pest Management Science**, Bognor Regis, v.62, n.7, p.617-623, 2006.
- SINGH, N.; KLOEPPEL, H.; KLEIN, W. Movement of metolachlor and terbuthylazine in core and packed soil columns. **Chemosphere**, Oxford, v.47, n.3, p.409-415, 2002.
- SINGH, N.; KLOEPPEL, H.; KLEIN, W. Sorption behavior of metolachlor, isoproturon, and terbuthylazine in soils. **Journal of Environmental Science and Health -Part B- Pesticides Food Contaminants and Agricultural Wastes**, New York, v.36, n.4, p.397-407, 2001.
- SINGH, S.B.; KULSHRESTHA, G. Soil persistence of triasulfuron herbicide as affected by biotic and abiotic factors. **Journal of Environmental Science and Health -Part B- Pesticides Food Contaminants and Agricultural Wastes**, New York, v.41, n.5, p.635-645, 2006.
- SMITH, M.C.; SHAW, D.R.; MILLER, D.K. In-field bioassay to investigate the persistence of imazaquin and pyriithiobac. **Weed Science**, Lawrence, v.53, n.1, p.121-129, 2005.

SORENSEN, B.A.; SHEA, P.J.; ROETH, F.W. Effects of tillage, application time and rate on metribuzin dissipation. **Weed Research**, Lawrence, v.31, n.6, p.333-345, 1991.

SPINDLER, F.; PUGIN, B.; BUSER, H.; JALET, H.P.; ULRICH, P.; BLASER, H.U. Enantioselective catalysis for agrochemicals: synthetic routes to (S)-metolachlor, (R)-metalaxyl and (alpha S,3R)-clozylacon. **Pesticide Science**, Bognor Regis, v.54, n.3, p.302-304, 1998.

STADDON, W.J.; LOCKE, M.A.; ZABLOTOWICZ, R.M. Microbiological characteristics of a vegetative buffer strip soil and degradation and sorption of metolachlor. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v.65, n.4, p.1136-1142, 2001.

STOUGAARD, R.N.; SHEA, P.J.; MARTIN, A.R. Effect of soil type and pH on adsorption, mobility, and efficacy of imazaquin and imazethapyr. **Weed Science**, Champaign, v.38, n.1, p.67-73, 1990.

STREK, H.J.; WEBER, J.B. Adsorption, mobility and activity comparisons between alachlor (Lasso) and metolachlor (Dual). **Proceedings, Southern Weed Science Society**, Champaign, v.35, n. 1, p.332-338, 1982.

TEASDALE, J.R.; SHELTON, D.R.; SADEGHI, A.M.; ISENSEE, A.R. Influence of hairy vetch residue on atrazine and metolachlor soil solution concentration and weed emergence. **Weed Science**, Lawrence, v.51, n.4, p.628-634, 2003.

THEISEN, G.; VIDAL, R.A.; FLECK, N.G. Redução da infestação de *Brachiaria plantaginea* em soja pela cobertura do solo com palha de aveia-preta. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.35, n.4, p.753-756, 2000.

TREZZI, M.M.; VIDAL, R.A. Herbicidas inibidores da ALS. In: VIDAL, R.A.; MEROTO JR., A. (Org.). **Herbicidologia**. Porto Alegre: Evangraf, 2001. p.25-36.

TSAI, W.T.; LAI, C.W. Adsorption of herbicide paraquat by clay mineral regenerated from spent bleaching earth. **Journal of Hazardous Materials**, Amsterdam, v.134, n.1-3, p.144-148, 2006.

van DIJK, G. Implementing the sixth reason for co-operation-new generation cooperatives in agribusiness. In: NILSSON, J.; van DIJK, G. (Eds). **Strategies and Structures in the Agro-Food Industries**. Assen: Van Gorcum, 1997. p.94-109.

VIDAL, R.A. **Ação dos herbicidas**. Porto Alegre, 2002. 89p.

VIDAL, R.A.; FLECK, N.G.; MEROTTO JR., A. Período anterior ao dano no rendimento econômico (PADRE): nova abordagem sobre os períodos de interferência entre plantas daninhas e cultivadas. **Planta daninha**, Viçosa, v.23, n.3, p.387-396, 2005.

VIDAL, R.A.; FLECK, N.G. Inibidores do crescimento da parte aérea. In: VIDAL, R.A.; MEROTO JR., A. (Org.). **Herbicidologia**. Porto Alegre: Evangraf, 2001. p123-130.

WALKER, A.; MOON, Y.; WELCH, S.J. Influence of temperature, soil moisture, and soil characteristics on the persistence of alachlor. **Pesticide Science**, London, v.35, n.2, p.109-116, 1992.

WEBER J.B.; TAYLOR, K.A.; WILKERSON, G.G. Soil and herbicide properties influenced mobility of atrazine, metolachlor, and primisulfuron-methyl in field lysimeters. **Agronomy Journal**, Madison, v.98, n.1, p.8-18, 2006a.

WEBER J.B.; TAYLOR, K.A.; WILKERSON, G.G. Soil cover and tillage influenced metolachlor mobility and dissipation in field lysimeters. **Agronomy Journal**, Madison, v.98, n.1, p.19-25, 2006b.

WEBER, J.B.; MCKINNON, E.J.; SWAIN, L.R. Sorption and mobility of C-14-labeled imazaquin and metolachlor in four soils as influenced by soil properties. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, Washington, v.51, n.19, p.5752-5759, 2003.

WEED, D.A.J.; KANWAR, R.S.; STOLTENBERG, D.E.; PEFEIFFER, R.L. Dissipation and distribution of herbicides in the soil profile. **Journal of Environmental Quality**, Madison, v.24, n.1, p.68-79, 1995.

WIESE, A.F.; TURNER, W.E. Herbicide application with sprinkler irrigation. **Southern Weed Science Society**, Champaign, v.31, n.1, p.100, 1977.

WIETERSEN, R.C.; DANIEL, T.C.; FERMANICH, K.J.; GIRARD, B.D.; MCSWEENEY, K.; LOWERY, B. Atrazine, alachlor, and metolachlor mobility through two sandy Wisconsin soils. **Journal of Environmental Quality**, Madison, v.22, n.2, p.811-818, 1993.

ZAGONEL, J.; VENÂNCIO, W.S.; KUNZ, R.P. Efeitos de métodos e épocas de controle das plantas daninhas na cultura do milho. **Planta Daninha**, Viçosa, v.18, n.2, p.143-150, 2000.

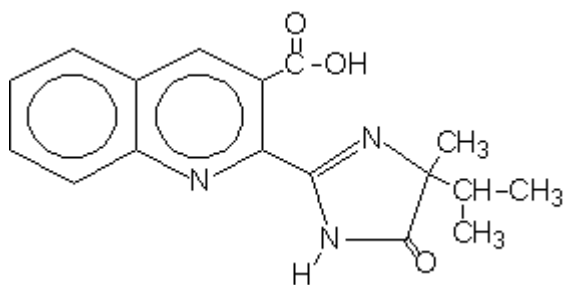
ZHOU, X.H.; WANG, C.Y. Biological and biochemical detection techniques for glufosinate. **Weed Science**, Lawrence, v.54, n.3, p.413-418, 2006.

ZHU, H.; SELIM, H. M. Hysteretic behavior of metolachlor adsorption-desorption in soils. **Soil Science**, Philadelphia, v.165, n.8, p.632-645, 2000.

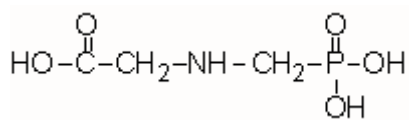
7. APÊNDICES

7.1 Glossário e estrutura molecular dos nomes químicos (IUPAC) utilizados na dissertação

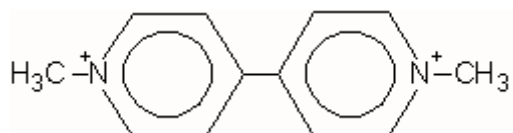
Imazaquin: 2-[(*RS*)-4-isopropyl-4-methyl-5-oxo-2-imidazolin-2-yl]quinoline-3-carboxylic acid.



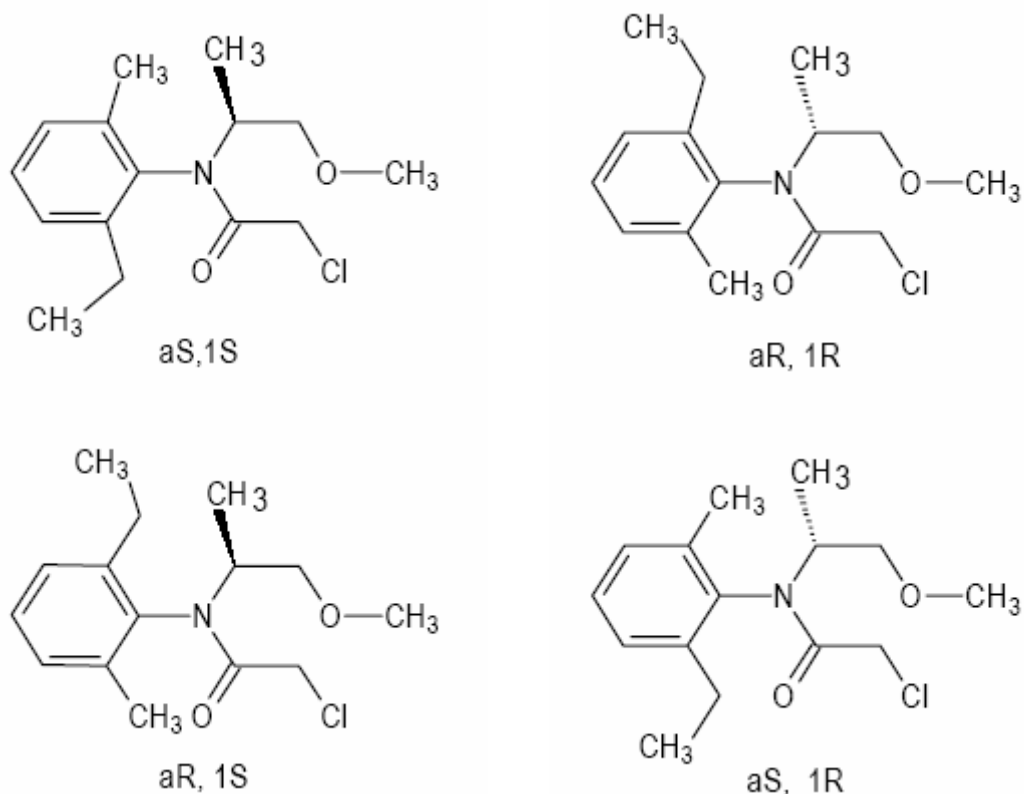
Glyphosate: *N*-(phosphonomethyl)glycine.



Paraquat: 1,1'-dimethyl-4,4'-bipyridinium.



S-metolachlor: mistura de 80 a 100% (*aRS,1S*)-2-chloro-6'-ethyl-*N*-(2-methoxy-1-methylethyl)acet-*o*-toluidide e 20 a 0% (*aRS,1R*)-2-chloro-6'-ethyl-*N*-(2-methoxy-1-methylethyl)acet-*o*-toluidide.



7.2 Glossário dos nomes químicos (IUPAC) citados na dissertação

Acetochlor: 2-chloro-*N*-ethoxymethyl-6'-ethylacet-*o*-toluidide.

Alachlor: -chloro-2',6'-diethyl-*N*-methoxymethylacetanilide.

Atrazine: 6-chloro-*N*²-ethyl-*N*⁴-isopropyl-1,3,5-triazine-2,4-diamine.

Bentazon: 3-isopropyl-1*H*-2,1,3-benzothiadiazin-4(3*H*)-one 2,2-dioxide.

Clomazone: 2-(2-chlorobenzyl)-4,4-dimethyl-1,2-oxazolidin-3-one.

Cyanazine: 2-(4-chloro-6-ethylamino-1,3,5-triazin-2-ylamino)-2-methylpropiononitrile.

Imazapic: 2-[(*RS*)-4-isopropyl-4-methyl-5-oxo-2-imidazolin-2-yl]-5-methylnicotinic acid.

Imazethapyr: 5-ethyl-2-[(*RS*)-4-isopropyl-4-methyl-5-oxo-2-imidazolin-2-yl]nicotinic acid.

Methabenzthiazuron: 1-(1,3-benzothiazol-2-yl)-1,3-dimethylurea.

Metolachlor: 2-chloro-*N*-(6-ethyl-*o*-tolyl)-*N*-[(1*RS*)-2-methoxy-1-methylethyl]acetamide.

Metribuzin: 4-amino-6-*tert*-butyl-4,5-dihydro-3-methylthio-1,2,4-triazin-5-one.

Oryzalin: 3,5-dinitro-*N*⁴,*N*⁴-dipropylsulfanilamide.

Pendimethalin: *N*-(1-ethylpropyl)-2,6-dinitro-3,4-xylidine.

Trifluralin: (2,4,5-trichlorophenoxy)acetic acid.

7.3 Abreviaturas e siglas

%: porcentagem.

A.H.: ácido húmico.

ALS: enzima acetolactato sintase, presente na rota de síntese dos aminoácidos valina, leucina e isoleucina.

C_f : Concentração no tempo final.

C_i : Concentração no tempo inicial.

cm: centímetros.

cm^3 : centímetros cúbicos.

CO_2 : gás carbônico.

CV: coeficiente de variação

DAA: dia após a aplicação.

DAS: dias após a semeadura.

DMS: diferença mínima significativa.

EAA: Estação Experimental Agrônômica da UFRGS.

EMBRAPA: Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária.

Fe: Ferro.

FEBRAPDP: Federação Brasileira de Plantio Direto na Palha.

G.L.: graus de liberdade.

g: gramas

h: horas.

ha: hectares.

IUPAC: International Union of Pure and Applied Chemistry (União Internacional de Química Pura e Aplicada).

k: constante de dissipação.

K_d : coeficiente de sorção.

kg: kilogramas.

K_{ow} : coeficiente de partição octanol-água.

kPa: kilo Pascal.

L: litros.

ln: logaritmo neperiano.

log: logaritmo.

M.O.: matéria orgânica.

m: metros.

mL: mililitros.

mm: milímetros.

n. número.

ns: não significativo.

$^{\circ}C$: graus Celsius.

$P \geq 0,05$: probabilidade do erro experimental.

p. página.

P: pressão de vapor.

Pa: Pascal.

PADRE: Período anterior ao Dano no Rendimento Econômico)

PAI: Período Anterior a Interferência.
PCPI: Período Crítico da Prevenção da Interferência.
pH: potencial hidrogênionico.
 pK_a ou pK_b : constante de ionização ácido ou básico.
PTPI: Período Total da Prevenção da Interferência.
PVC: policloreto de vinila.
Q.M.: quadrado médio.
 R^2 : coeficiente de correlação.
RS: estado do Rio Grande do Sul.
S.Q.: soma de quadrados.
S: solubilidade em água.
t: tempo.
 $t_{1/2}$: meia-vida.
UFRGS: Universidade Federal do Rio Grande do Sul.
UTFPR: Universidade Tecnológica Federal do Paraná.
v: volume.

7.4 Análise da variância das variáveis analisadas

APÊNDICE 1 – Resumo das análises de variância da persistência do S-metolachlor para as variáveis Fitotoxicidade aos 7, 14 e 21 DAS, Estatura aos 11 e 21 DAS e Massa seca aos 21 DAS.

Causas de Variação	G.L. ¹	Quadrados médios					
		FITO 07	FITO 14	FITO 21	ESTAT 11	ESTAT 21	MS 21
Dessecante	1	1,28 ^{ns}	3,57 ^{ns}	1,50 ^{ns}	3,22 ^{ns}	33,22 ^{ns}	5,58 ^{ns}
Aplicação	1	0,03 ^{ns}	0,32 ^{ns}	0,01 ^{ns}	0,08 ^{ns}	52,93 ^{ns}	0,22 ^{ns}
Dessecante x Aplicação	1	0,01 ^{ns}	0,32 ^{ns}	0,08 ^{ns}	0,01 ^{ns}	52,93 ^{ns}	0,08 ^{ns}
Resíduo (A)	1	0,60	2,50	0,08	1,08 ^{ns}	76,43	0,01 ^{ns}
Tempo (1, 5, 10, 14, 21, 28 e 35)	6	5,34 ^{**}	2,31 ^{**}	2,16 ^{**}	10,06 ^{**}	102,33 [*]	37,18 ^{**}
Dessecante x Tempo	6	1,13 ^{**}	1,35 [*]	0,63 ^{**}	6,26 [*]	99,63 [*]	13,03 [*]
Aplicação x Tempo	6	0,18 ^{ns}	0,13 ^{ns}	0,01 ^{ns}	0,08 ^{ns}	63,08 ^{ns}	0,22 ^{ns}
Dessecante x Aplicação x Tempo	6	0,10 ^{ns}	0,17 ^{ns}	0,04 ^{ns}	0,09 ^{ns}	63,00 ^{ns}	0,24 ^{ns}
Resíduo (B)	80	0,13	0,63	0,04	0,66	62,10	3,04
C.V. A (%)		4,64	8,89	2,31	2,30	2,54	1,32
C.V. B (%)		8,14	12,75	6,44	8,88	8,56	4,22

¹ – Abreviaturas: G.L. = Graus de Liberdade; FITO 07, 14 e 21 = Fitotoxicidade aos 07, 14 e 21 DAS (Dias após a sementeira); ESTAT 11 e 21 = Estatura aos 11 e 21 DAS; MS 21 = Massa seca aos 21 DAS; C.V. = Coeficiente de Variação.

* Significativo pelo teste F ($P \leq 0,05$).

** Significativo pelo teste F ($P \leq 0,01$).

^{ns} = não significativo.

APÊNDICE 2 – Resumo das análises de variância da persistência do imazaquin para as variáveis Fitotoxicidade aos 7, 14 e 21 DAS, Estatura aos 11 e 21 DAS e Massa seca aos 21 DAS.

Causas de Variação	G.L.¹	FITO 07	FITO 14	FITO 21	ESTAT 11	ESTAT 21	MS 21
Quadrados médios							
Dessecante	1	66,03 ^{ns}	18,08 ^{ns}	1125,22 ^{ns}	0,03 ^{ns}	2,28 ^{ns}	135,93 ^{ns}
Aplicação	1	12,89 ^{ns}	27,00 ^{ns}	106,08 ^{ns}	0,14 ^{ns}	2,89 ^{ns}	27,00 ^{ns}
Dessecante x Aplicação	1	60,03 ^{ns}	40,08 ^{ns}	267,22 ^{ns}	17,28 ^{ns}	17,28 ^{ns}	27,00 ^{ns}
Resíduo (A)	1	60,03	9,08	50,86	29,46	19,03	20,01
Tempo	6	275,52 ^{**}	126,60 ^{**}	343,74 ^{**}	238,38 ^{**}	123,25 ^{**}	373,18 ^{**}
Dessecante x Tempo	6	101,86 [*]	91,50 [*]	208,41 [*]	134,26 [*]	88,36 [*]	120,03 ^{**}
Aplicação x Tempo	6	8,85 ^{ns}	11,98 ^{ns}	4,22 ^{ns}	12,99 ^{ns}	7,33 ^{ns}	4,46 ^{ns}
Dessecante x Aplicação x Tempo	6	4,36 ^{ns}	4,92 ^{ns}	5,20 ^{ns}	12,18 ^{ns}	6,13 ^{ns}	17,21 ^{ns}
Resíduo (B)	80	48,64	12,75	87,15	58,35	25,12	72,10
C.V. A (%)		4,80	2,29	6,14	9,09	7,96	1,32
C.V. B (%)		12,43	10,17	15,07	17,96	13,08	4,22

¹ – Abreviaturas: G.L. = Graus de Liberdade; FITO 07, 14 e 21 = Fitotoxicidade aos 07, 14 e 21 DAS (Dias após a semeadura); ESTAT 11 e 21 = Estatura aos 11 e 21 DAS; MS 21 = Massa seca aos 21 DAS.

* Significativo pelo teste F ($P \leq 0,05$).

** Significativo pelo teste F ($P \leq 0,01$).

^{ns} = não significativo.

APÊNDICE 3 – Resumo das análises de variância da lixiviação do S-metolachlor para as variáveis Fitotoxicidade aos 7, 14 e 21 DAS, Estatura aos 11 e 21 DAS e Massa seca aos 21 DAS.

Causas de Variação	G.L. ¹	FITO 07	FITO 14	FITO 21	ESTAT 11	ESTAT 21	MS 21
Dessecante	1	711,11 ^{ns}	367,08 ^{ns}	277,77 ^{ns}	61,36 ^{ns}	0,44 ^{ns}	55,11 ^{ns}
Aplicação	1	367,36 ^{ns}	225,00 ^{ns}	100,08 ^{ns}	114,01 ^{ns}	220,02 ^{ns}	121,40 ^{ns}
Dessecante x Aplicação	1	11,11 ^{ns}	6,25 ^{ns}	25,00 ^{ns}	37,28 ^{ns}	51,36 ^{ns}	12,22 ^{ns}
Resíduo (A)	1	464,58	300,08	250,86	229,46	430,11	161,12
Profundidade	8	1230,46 ^{**}	812,41 ^{**}	478,16 ^{**}	328,80 ^{**}	487,36 ^{**}	581,18 ^{ns}
Dessecante x Profundidade	8	168,14 ^{ns}	180,50 ^{ns}	126,41 ^{ns}	61,60 ^{ns}	35,38 ^{ns}	480,03 ^{ns}
Aplicação x Profundidade	8	154,86 ^{ns}	171,98 ^{ns}	114,22 ^{ns}	212,44 ^{ns}	91,59 ^{ns}	361,56 ^{ns}
Dessecante x Aplicação x Profundidade	8	3,29 ^{ns}	5,46 ^{ns}	14,45 ^{ns}	25,18 ^{ns}	34,73 ^{ns}	416,59 ^{ns}
Resíduo (B)	104	134,01	131,43	131,15	423,75	161,94	1268,72
C.V. A (%)		3,89	9,29	8,71	5,74	4,96	12,46
C.V. B (%)		13,38	13,29	13,21	14,20	12,91	18,22

¹ – Abreviaturas: G.L. = Graus de Liberdade; FITO 07, 14 e 21 = Fitotoxicidade aos 07, 14 e 21 DAS (Dias após a semeadura); ESTAT 11 e 21 = Estatura aos 11 e 21 DAS; MS 21 = Massa seca aos 21 DAS.

* Significativo pelo teste F ($P \leq 0,05$).

** Significativo pelo teste F ($P \leq 0,01$).

^{ns} = não significativo.

APÊNDICE 4 – Resumo das análises de variância da lixiviação do imazaquin para as variáveis Fitotoxicidade aos 7, 14 e 21 DAS, Estatura aos 11 e 21 DAS e Massa seca aos 21 DAS.

Causas de Variação	G.L. ¹	Quadrados médios						
		FITO 07	FITO 14	FITO 21	ESTAT 11	ESTAT 21	MS 21	
Dessecante	1	1437,67 ^{ns}	1111,82 ^{ns}	1437,67 ^{ns}	880,41 ^{ns}	738,02 ^{ns}	242,84 ^{ns}	
Aplicação	1	383,50 ^{ns}	434,02 ^{ns}	146,08 ^{ns}	1965,10 ^{ns}	693,12 ^{ns}	364,17 ^{ns}	
Dessecante x Aplicação	1	689,06 ^{ns}	367,36 ^{ns}	126,88 ^{ns}	1418,82 ^{ns}	240,64 ^{ns}	57,50 ^{ns}	
Resíduo (A)	1	1107,81	1708,08	1250,86	1295,46	1154,74	582,51	
Profundidade	8	6798,09 ^{**}	5822,22 ^{**}	3570,60 ^{**}	6133,17 ^{**}	2789,18 ^{**}	1001,08 ^{ns}	
Dessecante x Profundidade	8	222,44 ^{ns}	322,50 ^{ns}	226,41 ^{ns}	465,02 ^{ns}	385,81 ^{ns}	191,37 ^{ns}	
Aplicação x Profundidade	8	62,89 ^{ns}	68,90 ^{ns}	22,42 ^{ns}	89,54 ^{ns}	91,90 ^{ns}	135,70 ^{ns}	
Dessecante x Aplicação x Profundidade	8	86,65 ^{ns}	65,57 ^{ns}	55,07 ^{ns}	215,80 ^{ns}	78,22 ^{ns}	56,94 ^{ns}	
Resíduo (B)	104	352,66	367,81	413,38	1248,65	1777,87	1652,52	
C.V. A (%)		4,84	7,49	5,11	7,74	8,96	8,46	
C.V. B (%)		7,74	9,18	10,15	14,20	14,91	19,28	

¹ – Abreviaturas: G.L. = Graus de Liberdade; FITO 07, 14 e 21 = Fitotoxicidade aos 07, 14 e 21 DAS (Dias após a semeadura); ESTAT 11 e 21 = Estatura aos 11 e 21 DAS; MS 21 = Massa seca aos 21 DAS.

* Significativo pelo teste F ($P \leq 0,05$).

** Significativo pelo teste F ($P \leq 0,01$).

^{ns} = não significativo.

