Universidade de São Paulo
Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz"

Resíduos de herbicidas aplicados em cana-de-açúcar afetando adubos verdes e a
cultura da soja em rotação

Luiz Henrique Franco de Campos

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

Piracicaba
2018

Luiz Henrique Franco de Campos
Bacharelado em Biologia

**Resíduos de herbicidas aplicados em cana-de-açúcar afetando adubos verdes e a cultura
da soja em rotação**

versão revisada de acordo com a resolução CoPGr 6018 de 2011

Orientador:

Prof. Dr. **PEDRO JACOB CHRISTOFFOLETI**

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

Piracicaba
2018

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
DIVISÃO DE BIBLIOTECA – DIBD/ESALQ/USP

Campos, Luiz Henrique Franco de

Resíduos de herbicidas aplicados em cana-de-açúcar afetando adubos verdes e a cultura da soja em rotação / Luiz Henrique Franco de Campos. -- versão revisada de acordo com a resolução CoPGr 6018 de 2011. -- Piracicaba, 2018.

90 p.

Tese (Doutorado) -- USP / Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz".

1. Cana-de-açúcar 2. Adubos verdes 3. Resíduos 4. Rotação 5. Soja I. Título

AGRADECIMENTOS

- À minha família (Alessandra, Luiza e Lorena), por me darem todo apoio, dedicação, companhia e paciência durante os períodos mais importantes do doutorado;
- À minha querida esposa Alessandra Zanzirolimo de Campos, por toda a dedicação, companhia e paciência durante os períodos mais importantes do doutorado;
- À Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, em especial ao Departamento de Produção Vegetal, pela oportunidade concedida para realização deste trabalho;
- Ao Professor Dr. Pedro Jacob Christoffoleti pela orientação, amizade, colaboração, oportunidade e pelas suas contribuições à minha formação profissional;
- Ao meu amigo Professor Dr. Saul Jorge Pinto de Carvalho pelo companheirismo, auxílio na escrita da dissertação e conhecimento passados sobre a área de estatística e experimentação;
- Ao meu amigo Engenheiro Agr. Dr. Marcelo Nicolai pelo auxílio e companheirismo e auxílios durante o todo o período do doutorado;
- Ao amigo, Engenheiro Agrônomo, Acácio Gonçalves Neto por todo o companheirismo e auxílio nos experimentos;
- À Usina Iracema pela oportunidade concedida em poder fazer este trabalho na Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz".
- Aos meus amigos Engenheiros Agrônomos Rafael Denardi Gonçalves e Ivan Barcellos Dalri, pelo incentivo na busca de aprendizado e direcionamento profissional.
- Ao meu amigo Engenheiro Agrônomo Ivan Soares de Araújo, pela parceria e dedicação profissional.
- À Luciane Aparecida Lopes por todo auxílio, dedicação e paciência nas questões administrativas.
- Aos meus pais Adejair e Aparecida (*in memorian*), por me darem todo apoio, estarem sempre presentes e pelas valiosas conversas e ensinamentos ao longo da minha vida;

SUMÁRIO

RESUMO.....	6
ABSTRACT.....	7
LISTA DE FIGURAS.....	8
LISTA DE TABELAS.....	10
LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS.....	11
1 INTRODUÇÃO.....	13
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	15
2.1 Cana-de-açúcar.....	15
2.2 Adubação verde no Brasil.....	16
2.3 Sistema de rotação com adubos verdes na reforma dos canaviais.....	17
2.4 Sistema de rotação com soja nas reformas dos canaviais.....	20
2.5 Características das espécies empregadas como adubos verdes.....	21
2.6 Manejo de plantas daninhas com utilização de adubos verdes.....	24
2.7 Efeitos de resíduos de herbicidas em culturas posteriores.....	27
2.8 Características dos herbicidas.....	28
3 MATERIAL E MÉTODOS.....	31
3.1 Efeito residual sobre espécies de adubos verdes.....	31
3.1.1 Aplicação e manutenção dos experimentos.....	32
3.1.2 Coleta e análise de Solo.....	34
3.1.3 Análises das amostras em HPCL.....	35
3.1.4 Plantio das espécies, condução e avaliações.....	39
3.1.5 Pesagem da biomassa fresca residual.....	40
3.2 Efeitos dos resíduos de herbicidas na cultura da soja.....	41
3.2.1 Plantio da soja e condução do experimento.....	41
3.2.2 Fitotoxicidade e pesagem da produção de grãos.....	42
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	45
4.1 Resultados das análises e efeitos dos resíduos de amicarbazone.....	45
4.1.1 Análises de resíduos de amicarbazone.....	45
4.1.2 Efeitos de resíduos de amicarbazone sobre espécies de adubos verdes.....	46
4.2 Resultados das análises e efeitos dos resíduos de hexazinona.....	50
4.2.1 Análises de resíduos de hexazinona.....	50
4.2.2 Efeitos de resíduos de hexazinona sobre espécies de adubos verdes.....	52
4.3 Resultados das análises e efeitos dos resíduos de sulfentrazone.....	55
4.3.1 Análises de resíduos de sulfentrazone.....	55
4.3.2 Efeitos dos resíduos de sulfentrazone sobre espécies de adubos verdes.....	57

4.4 Resultados das análises e efeitos dos resíduos de sulfentrazone.....	61
4.4.1 Análises de resíduos de tebuthiuron.....	61
4.4.2 Efeitos dos resíduos de tebuthiuron sobre espécies de adubos verdes.....	62
4.5 Efeitos de resíduos dos herbicidas estudados sobre cultura da soja.....	66
5 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	71
REFERENCIAS.....	73
APÊNDICES.....	85

RESUMO

Resíduos de herbicidas aplicados em cana-de-açúcar afetando adubos verdes e a cultura da soja em rotação

A adubação verde no Brasil, apesar de ser comumente conhecida pelos seus benefícios, ainda é pouco utilizada no sistema de rotação de cultura na cana-de-açúcar. Dentre os fatores que ainda implicam na decisão de utilizar a tecnologia da adubação verde, esta o desconhecimento dos efeitos dos herbicidas residuais utilizados na cultura da cana, sobre as plantas utilizadas como adubação verde e a cultura da soja. Assim, esta pesquisa foi conduzida com o objetivo de avaliar: resíduos de herbicidas em solos arenoso e argiloso; efeitos dos resíduos sobre a biomassa fresca de *Cajanus cajan*, *Canavalia ensiformis*, *Crotalaria juncea*, *C. spectabilis*, *C. ochroleuca* e *Mucuna pruriens*; efeitos dos resíduos dos herbicidas na fototoxicidade e produção de grãos da cultura de soja cv. NA 5909 RG. Os experimentos foram desenvolvidos em áreas pertencentes à Usina São Martinho S/A, nos municípios de Itacemópolis/SP e Itirapina/SP, com os herbicidas amicarbazone, hexazinona, sulfentrazone e tebuthiuron, onde foram aplicadas cinco doses de cada herbicida em pré-emergência, aos 82 dias anteriores a semeadura das espécies. As doses utilizadas foram: $\frac{1}{4}D$, $\frac{1}{2}D$, $\frac{3}{4}D$, D , $2D$ e testemunha sem aplicação; sendo D a dose recomendada de amicarbazone (1.050 g ha^{-1}), ou de hexazinona (225 g ha^{-1}), ou de tebuthiuron (1.200 g ha^{-1}), ou de sulfentrazone (750 g ha^{-1}). Todas as amostras foram enviadas e analisadas em laboratório, onde foi determinado os resíduos de cada herbicida em ($\mu\text{g Kg}^{-1}$ solo). Os resíduos do herbicida amicarbazone detectados foram inferiores proporcionalmente, aos outros herbicidas testados, principalmente em solo arenoso. A maioria das espécies de adubos verdes estudadas, não apresentaram redução de biomassa onde foram aplicadas as doses comerciais de amicarbazone, hexazinona e sulfentrazone. O resíduo do herbicida tebuthiuron detectado no solo, foi superior proporcionalmente, aos outros herbicidas testados, principalmente em solo argiloso. O herbicida tebuthiuron ocasionou a redução de biomassa para maioria das espécies à partir dos tratamento com a dose comercial. As espécies *C. cajan* e *C. ensiformis* foram as plantas mais tolerantes à maioria dos herbicidas testados. Para a maioria dos herbicidas testados, as espécies *C. spectabilis* e *C. ochroleuca* foram as espécies com maiores índices de redução, sendo a *C. ochroleuca* a espécie mais sensível. Na cultura da soja, o herbicida sulfentrazone não ocasionou redução, os herbicidas amicarbazone e hexazinona causaram redução de produtividade apenas nos tratamentos com maiores concentrações. O tebuthiuron foi o herbicida mais agressivo, causando reduções de produtividade principalmente com as maiores concentrações analisadas.

Palavras-chave: Transferência; Residual; Efeitos; Manejo; Interferência

ABSTRACT

Residues of herbicides applied in sugarcane affecting green manure and soybean in crop rotation

Green manure in Brazil, despite being commonly known for its benefits, is still little used in the crop rotation system in sugarcane. Among the factors even care in the decision to use the technology of green manure, is the lack of knowledge on the residual effects herbicides used during the crop, on the plants used as green manure and the soybean crop. Thus, this research was conducted with the propose of evaluating: herbicide residues in sandy and clayey soils; effects of residues on the fresh biomass weight of *Cajanus cajan*, *Canavalia ensiformis*, *Crotalaria juncea*, *C. spectabilis*, *C. ochroleuca* and *Mucuna pruriens*; residual effects on phototoxicity and grain yield of soybean crop cv. NA 5909 RG. The experiments were developed in areas of São Martinho S / A Plant, around Itacemópolis/SP and Itirapina/SP, using the herbicides amicarbazone, hexazinone, sulfentrazone and tebuthiuron, and applied five doses of each herbicide were applied in pre-emergence, at 82 days before planting of the species. The doses used were: $\frac{1}{4}$ D, $\frac{1}{2}$ D, $\frac{3}{4}$ D, D, 2D and a witness without application; with D being the recommended dose of amicarbazone ($1,050 \text{ g ha}^{-1}$), or hexazinone (225 g ha^{-1}), or tebuthiuron ($1,200 \text{ g ha}^{-1}$), or sulfentrazone (750 g ha^{-1}). All samples were sent and analyzed in laboratory, evaluating the residues of each herbicide were determined in ($\mu\text{g kg}^{-1}$ soil). The residues of the amicarbazone herbicide detected, were proportionally lower than the other herbicides tested, mainly in sandy soil. Most of the green manure species, did not show any biomass reduction when applied commercial doses of amicarbazone, hexazinone and sulfentrazone were applied. The residual effects of tebuthiuron detected in the soil was higher proportionally, to the other herbicides tested, mainly in clayey soil. The herbicide tebuthiuron caused the reduction of biomass for most species from the commercial dose treatment. The species *C. cajan* and *C. ensiformis* were tolerant plants for most herbicides tested. For most of the tested herbicides, *C. spectabilis* and *C. ochroleuca* were the species with the highest reduction rates, *C. ochroleuca* being the most sensitive species. In the soybean crop, the herbicide sulfentrazone did not cause reduction, the herbicides amicarbazone and hexazinone caused a reduction of productivity only in the treatments with higher concentrations. Tebuthiuron was the most aggressive herbicide, causing productivity reductions mainly with the highest concentrations analyzed.

Keywords: Carry over; Residual; Effects; Management; Interference

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Temperatura média estimada (°C) e precipitações (mm) diárias registradas para local e período de desenvolvimento dos experimentos em campo. Iracemápolis 2015/2016.....	30
Figura 2. Temperatura média estimada (°C) e precipitações (mm) diárias registradas para local e período de desenvolvimento dos experimentos em campo. Itirapina 2015/2016.....	31
Figura 3. Aplicação do ensaio de resíduo, com uso de barra e pulverizador costal. Itirapina/SP, 2015.	34
Figura 4. Manutenção das áreas durante o período entre aplicação e o plantio das espécies. Itirapina/SP, 2015..	34
Figura 5. Amostragens de solo nas áreas de aplicação. Itirapina/SP, 2015.....	35
Figura 6. Cromatógrafo Líquido (Prominence UFLC) acoplado e espectômetro de massas (3200 Q TRAP) – LC-MS/MS. Botucatu, 2016.....	36
Figura 7. Saturação de solos nos cartuchos com água destilada para extração da solução e o preparo das amostras para qualificação dos herbicidas por cromatografia. Botucatu/SP, 2016	37
Figura 8. Cromatograma do amicarbazone com os respectivos fragmentos na concentração de 25 µg mL ⁻¹ . Botucatu/Sp, 2016	38
Figura 9. Cromatograma do tebuthiuron com os respectivos fragmentos na concentração de 25 µg mL ⁻¹ . Botucatu/Sp, 2016	38
Figura 10. Cromatograma do hexazinona com os respectivos fragmentos na concentração de 25 µg mL ⁻¹ . Botucatu/Sp, 2016	39
Figura 11. Cromatograma do sulfentrazone com os respectivos fragmentos na concentração de 25 µg mL ⁻¹ . Botucatu/Sp, 2016	39
Figura 12. Manutenção dos experimentos através de capina manual. Itirapina e Iracemápolis, 2016	40
Figura 13. Pesagem da biomassa fresca das parcelas, com auxílio de balança digital. Itirapina/SP, 2016	41
Figura 14. Manutenção das linhas, por meio de capina manual. Iracemápolis/SP, 2016	42
Figura 15. Balança digital e medidor de umidade durante a pesagem dos grãos. Piracicaba/SP, 2016	43
Figura 16. Massa fresca das espécies <i>C. juncea</i> , <i>C. spectabilis</i> e <i>C. ochroleuca</i> aos 70 DAS, em função das concentrações analisadas (µg Kg solo ⁻¹) do herbicida amicarbazone, em solo argiloso. Iracemápolis/SP, 2016	45
Figura 17. Massa fresca das espécies <i>C. juncea</i> , <i>C. spectabilis</i> e <i>C. ochroleuca</i> aos 70 DAS, em função das concentrações analisadas (µg Kg solo ⁻¹) do herbicida amicarbazone, em solo arenoso. Itirapina/SP, 2016	46
Figura 18. Massa fresca das espécies <i>C. cajan</i> , <i>C. ensiformis</i> e <i>M. pruriens</i> aos 70 DAS, em função das concentrações analisadas (µg Kg solo ⁻¹) do herbicida amicarbazone, em solo argiloso. Iracemápolis/SP, 2016	49
Figura 19. Massa fresca das espécies <i>C. cajan</i> , <i>C. ensiformis</i> e <i>M. pruriens</i> aos 70 DAS, em função das concentrações analisadas (µg Kg solo ⁻¹) do herbicida amicarbazone, em solo arenoso. Itirapina/SP, 2016.	49
Figura 20. Massa fresca das espécies <i>C. juncea</i> , <i>C. spectabilis</i> e <i>C. ochroleuca</i> aos 70 DAS, em função das concentrações analisadas (µg Kg solo ⁻¹) do herbicida hexazinona, em solo argiloso. Iracemápolis/SP, 2016.	52
Figura 21. Massa fresca das espécies <i>C. juncea</i> , <i>C. spectabilis</i> e <i>C. ochroleuca</i> aos 70 DAS, em função das concentrações analisadas (µg Kg solo ⁻¹) do herbicida hexazinona, em solo arenoso. Itirapina/SP, 2016	53
Figura 22. Massa fresca das espécies <i>C. cajan</i> , <i>C. ensiformis</i> e <i>M. pruriens</i> aos 70 DAS, em função das concentrações analisadas (µg Kg solo ⁻¹) do herbicida hexazinona, em solo argiloso. Iracemápolis/SP, 2016.	54
Figura 23. Massa fresca das espécies <i>C. cajan</i> , <i>C. ensiformis</i> e <i>M. pruriens</i> aos 70 DAS, em função das concentrações analisadas (µg Kg solo ⁻¹) do herbicida hexazinona, em solo arenoso. Itirapina/SP, 2016.....	54

Figura 24. Massa fresca das espécies <i>C. juncea</i> , <i>C. spectabilis</i> e <i>C. ochroleuca</i> aos 70 DAS, em função das concentrações analisadas ($\mu\text{g Kg solo}^{-1}$) do herbicida sulfentrazone, em solo argiloso. Itapirapina/SP, 2016..	58
Figura 25. Massa fresca das espécies <i>C. juncea</i> , <i>C. spectabilis</i> e <i>C. ochroleuca</i> aos 70 DAS, em função das concentrações analisadas ($\mu\text{g Kg solo}^{-1}$) do herbicida sulfentrazone, em solo arenoso. Itapirapina/SP, 2016	58
Figura 26. Massa fresca das espécies <i>C. cajan</i> , <i>C. ensiformis</i> e <i>M. pruriens</i> aos 70 DAS, em função das concentrações analisadas ($\mu\text{g Kg solo}^{-1}$) do herbicida sulfentrazone, em solo argiloso. Itapirapina/SP, 2016..	60
Figura 27. Massa fresca das espécies <i>C. cajan</i> , <i>C. ensiformis</i> e <i>M. pruriens</i> aos 70 DAS, em função das concentrações analisadas ($\mu\text{g Kg solo}^{-1}$) do herbicida sulfentrazone, em solo arenoso. Itapirapina/SP, 2016.	60
Figura 28. Massa fresca das espécies <i>C. juncea</i> , <i>C. spectabilis</i> e <i>C. ochroleuca</i> aos 70 DAS, em função das concentrações analisadas ($\mu\text{g Kg solo}^{-1}$) do herbicida tebuthiuron, em solo argiloso. Itapirapina/SP, 2016.....	63
Figura 29. Massa fresca das espécies <i>C. juncea</i> , <i>C. spectabilis</i> e <i>C. ochroleuca</i> aos 70 DAS, em função das concentrações analisadas ($\mu\text{g Kg solo}^{-1}$) do herbicida tebuthiuron, em solo arenoso. Itapirapina/SP, 2016	64
Figura 30. Massa fresca das espécies <i>C. cajan</i> , <i>C. ensiformis</i> e <i>M. pruriens</i> aos 70 DAS, em função das concentrações analisadas ($\mu\text{g Kg solo}^{-1}$) do herbicida tebuthiuron, em solo argiloso. Itapirapina/SP, 2016.....	65
Figura 31. Massa fresca das espécies <i>C. cajan</i> , <i>C. ensiformis</i> e <i>M. pruriens</i> aos 70 DAS, em função das concentrações analisadas ($\mu\text{g Kg solo}^{-1}$) do herbicida tebuthiuron, em solo arenoso. Itapirapina/SP, 2016.	65
Figura 32. Rotação com <i>C. ochroleuca</i> em áreas de reforma 12 meses após aplicação de tebuthiuron no tratamento da última soqueira e 2 meses após aplicação de sulfentrazone. Itapirapina/SP, 2016	86
Figura 33. Rotação com <i>C. ochroleuca</i> em áreas de reforma 6 meses após aplicação de tebuthiuron no tratamento da última soqueira. Itapirapina/SP, 2016.....	86
Figura 34. Rotação com <i>C. cajan</i> em áreas de reforma 6 meses após aplicação de tebuthiuron no tratamento da última soqueira. Itapirapina/SP, 2016.....	87
Figura 35. Rotação com <i>C. juncea</i> em áreas de reforma no sistema MEIOSI após 12 meses à aplicação de tebuthiuron no tratamento da última soqueira e 3 meses após aplicação de sulfentrazone. Itapirapina/SP, 2016.....	87
Figura 36. Rotação com <i>C. juncea</i> em áreas de reforma no sistema MEIOSI após 15 meses à aplicação de tebuthiuron no tratamento da última soqueira e 2 meses após aplicação de sulfentrazone, com 90 tn de biomassa ha^{-1} . Itapirapina/SP, 2016.....	88
Figura 37. Rotação com <i>C. ensiformis</i> em áreas de reforma no sistema MEIOSI após 16 meses à aplicação de tebuthiuron no tratamento da última soqueira e 25 dias após aplicação de sulfentrazone. Itapirapina/SP, 2016.....	88
Figura 38. Rotação com <i>C. spectabilis</i> em áreas de reforma no sistema MEIOSI após 14 meses à aplicação de tebuthiuron no tratamento da última soqueira e 3 meses após aplicação de sulfentrazone. Itapirapina/SP, 2017.....	89
Figura 39. Rotação com <i>C. spectabilis</i> em áreas de reforma no sistema MEIOSI após 4 meses à aplicação de tebuthiuron no tratamento pré plantio. Itapirapina/SP, 2017.....	89
Figura 40. Rotação com <i>C. juncea</i> em áreas de reforma no sistema MEIOSI após 14 meses à aplicação de tebuthiuron no tratamento da última soqueira e 3 meses após aplicação de sulfentrazone. Itapirapina/SP, 2017.....	90

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Área com rotação de cultura com adubos verdes na cana-de-açúcar por diferentes regiões.....	18
Tabela 2. Propriedades físico-químicas do solo da área experimental (LATOSSOLO Vermelho Distrófico). Iracemápolis/SP, 2015.	32
Tabela 3. Propriedades físico-químicas do solo da área experimental (LATOSSOLO Vermelho Amarelo Distrófico). Itirapina/SP, 2015.....	33
Tabela 4. Variações das doses nos tratamentos dos herbicidas (g ha^{-1}) em relação a dose padrão, para os herbicidas. Iracemápolis/SP, 2016.....	33
Tabela 5. Curva analítica e faixas de concentração para amicarbazone, hexazinona, tebuthiuron e sulfentrazone analisados.	36
Tabela 6. Condições cromatográficas utilizadas para quantificação dos herbicidas, Botucatu/SP, 2016.	37
Tabela 7. Concentrações do herbicida amicarbazone ($\mu\text{g kg}^{-1}$ solo) encontradas nos tratamentos em função da dose aplicada aos 82 DAA em solo argiloso e solo arenoso. Iracemápolis e Itirapina/SP, 2016.....	46
Tabela 8. Concentrações do herbicida hexazinona ($\mu\text{g kg}^{-1}$ solo) encontradas nos tratamentos em função da dose aplicada aos 82 DAA em solo argiloso e solo arenoso. Iracemápolis e Itirapina/SP, 2016	50
Tabela 9. Concentrações do herbicida sulfentrazone ($\mu\text{g kg}^{-1}$ solo) encontradas nos tratamentos em função da dose aplicada aos 82 DAA em solo argiloso e solo arenoso. Iracemápolis e Itirapina/SP, 2016	56
Tabela 10. Concentrações do herbicida tebuthiuron ($\mu\text{g kg}^{-1}$ solo) encontradas nos tratamentos em função da dose aplicada aos 82 DAA em solo argiloso e solo arenoso. Iracemápolis e Itirapina/SP, 2016..	61
Tabela 11. Fitotoxicidade de soja cv. Nidera 5909, em função dos resíduos de solo dos tratamentos aplicados, para os herbicidas amicarbazone e hexazinona. Iracemápolis/SP, 2016..	67
Tabela 12. Rendimento de soja transformados (sc ha^{-1}) em função dos resíduos de solo dos tratamentos aplicados, para os herbicidas amicarbazone e hexazinona. Iracemápolis/SP, 2016	68
Tabela 13. Fitotoxicidade de soja cv. Nidera 5909, em função dos resíduos de solo dos tratamentos aplicados, para os herbicidas sulfentrazone e tebuthiuron. Iracemápolis/SP, 2016.....	69
Tabela 14. Rendimento de soja transformados (sc ha^{-1}) em função dos resíduos de solo dos tratamentos aplicados, para os herbicidas sulfentrazone e tebuthiuron. Iracemápolis/SP, 2016.....	69

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

$\mu\text{g Kg}^{-1}$	Micrograma por um quilograma de solo
mm	Unidade de medida de precipitação, equivalente à 1 litro por m^2 de solo
mmolc	milimol de carga equivalente
CTC	Capacidade de Troca Catiônica
MO	Matéria orgânica
MPB	Mudas pré brotadas
dm^{-3}	Decímetros cúbicos
V	Saturação por bases
SB	Soma de bases
m	Saturação por alumínio
MEIOSI	Método Inter-rotacional ocorrendo simultaneamente
sc ha^{-1}	Unidade de medida (sacas por um hectare)
cv.	Cultivar
var.	Variedade
Pka	Constante de dissociação eletrolítica
Kd	Coeficiente de sorção na fração mineral do solo
Koc	Coeficiente de sorção normalizado para teor de carbono orgânico
UNICA	União dos Produtores de Cana
CONAB	Companhia Nacional de Abastecimento
IEA	Instituto de Economia Avançadas

1. INTRODUÇÃO

A produção da cana-de-açúcar no Brasil alcançou incrementos significativos na produtividade até final da década de 90, principalmente devido a expansão de áreas, investimentos e esforços das áreas de pesquisa e desenvolvimento de tecnologias. No entanto, nos últimos anos houve redução da produtividade, de forma que é necessário revisões de medidas tecnológicas de manejo, para que os fatores de redução sejam devidamente controlados e a produtividade seja sustentada no campo.

Dentre os principais fatores de redução que interferem na produtividade da cultura, estão a presença das plantas daninhas, redução da fertilidade do solo e perdas de solo por erosões. Ou ainda, os problemas podem ser somados, em forma de cadeia de redução gerando efeitos exponenciais de redução.

Como medidas de controle que visam evitar a interferência negativa das plantas daninhas, destaca-se a utilização de herbicidas como principal ferramenta, principalmente em pré-emergência com utilização de herbicidas de residual de controle prolongado. Outra ferramenta utilizada, é melhoria das condições de solo com a utilização de espécies de leguminosas como meio cultural de proteção de solo, entre o período do preparo de solo e a semeadura. Além da expectativa de melhorar a fertilidade através da ciclagem de nutrientes e a decomposição da fitomassa produzida pelas espécies de rotação, quando estas plantas são incorporadas no solo.

Para a adubação verde na cana-de-açúcar, existem diversas espécies comumente empregadas como: crotalárias (*Crotalaria juncea*, *Crotalaria ochroleuca*, *Crotalaria spectabilis*, *Crotalaria beviflora*), mucuna preta (*Mucuna aterrima*), mucuna-anã (*Mucuna deeringiana*), feijão-guandu (*Cajanus cajan*), feijão-de-porco (*Canavalia ensiformis*), entre outras. As culturas da soja e do amendoim também vem crescendo como as principais leguminosas com caracter econômico, e podem também serem utilizadas como manejo de rotação durante as reformas dos canaviais.

Porém o uso exclusivo de apenas uma tecnologia pode solucionar problemas agrônômicos imediatos, pode não ter sustentabilidade à longo prazo, pois a tecnologia pode determinar o aparecimento de outros problemas inerentes ao uso repetitivo, ou ainda a possível interferência causada pela interação entre elas. Neste caso, é necessário que esta técnica de controle químico de plantas daninhas não inviabilize o uso de leguminosas para proteção de solo e/ou melhoria da fertilidade.

Desta forma, herbicidas com residual prolongado pode causar danos às culturas subsequentes, devido sua atividade ou ainda por seus metabólicos persistentes no solo, determinando assim o efeito “carryover”. Que pode ser determinado por diversos fatores como: escolha do herbicida utilizado, dose aplicada, condições ambientais ocorridas entre as duas culturas, ou ainda características do solo como matéria orgânica e teor de argila. Entretanto, poucos estudos deste aspecto foram realizados para o sistema cana-de-açúcar, ocorrendo atualmente dúvidas sobre quais herbicidas utilizados em cana-de-açúcar deixam residuais que possam afetar culturas posteriores ou culturas de rotação, ou ainda, quais os níveis de resíduos no solo podem ocasionar fitotoxicidade nas plantas subsequentes.

Tendo em vista estas observações e a escassez de informação na literatura sobre os efeitos residuais de herbicidas utilizados em cana-de-açúcar sobre a rotação de culturas. Foi desenvolvido o presente trabalho

de pesquisa com o objetivo de avaliar o efeito do residual dos herbicidas amicarbazone, hexazinona, sulfentrazone e tebuthiuron, sobre espécies utilizadas como adubos verdes e a cultura da soja em rotação.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1. Cana-de-açúcar

A cana-de-açúcar (*Saccharum spp*) teve sua origem na Nova Guiné, sendo levada para a Índia, de onde se tem o mais antigo registro de sua existência (SANTOS, 2007). Foi introduzida no Brasil em 1553, estabelecendo-se de forma definitiva nas Regiões Centro-Sul e Nordeste (PROCÓPIO et al., 2003). Os primeiros engenhos foram construídos próximos de Santos/SP e durante 150 anos, a cana-de-açúcar foi o principal produto agrícola brasileiro não extrativista. Com a expansão interrompida com a descoberta do ouro e diamantes em Minas Gerais, sua importância começou a diminuir durante o final do século XVIII, quando os holandeses passaram a cultivá-la e a construir engenhos em suas colônias no Caribe. Com o declínio da mineração do ouro no começo do século XIX, renasceu o interesse pela cana-de-açúcar no Brasil (SANTOS, 2007).

Atualmente o Brasil é o maior produtor mundial de cana-de-açúcar, cultura esta que se destaca no como uma das principais geradoras de renda e empregos diretos e indiretos, sendo considerada uma das melhores alternativas para a produção sustentável de grandes quantidades de biomassa. Capaz de ser convertida em diversos produtos, principalmente açúcar e etanol. O etanol apresenta demanda mundial crescente para substituição parcial aos combustíveis fósseis. Desta forma, é única alternativa disponível em larga escala até o momento para a substituição de combustíveis obtidos a partir do petróleo no Brasil e no mundo (CARVALHO, 2008).

Ainda, segundo Carvalho (2008), a cultura passou a ter mais importância a partir da década de 70, período em que o setor da agroindústria brasileira foi solicitado a contribuir para a solução da emergente crise energética, frente a sua potencialidade de produzir energia a partir de uma fonte renovável. Posteriormente, o programa do álcool (Proálcool), com incentivos em instalações de destilarias e crédito agrícola, impulsionou o desenvolvimento de algumas regiões no Estado de São Paulo, principalmente nas regiões de Ribeirão Preto, Araraquara, Piracicaba, Barra Bonita e Oeste Paulista (SHIKIDA; BACHA, 1999).

A safra de cana-de-açúcar no Brasil deverá chegar a 635 milhões de toneladas na safra 2017/2018, com uma redução de 3,2% em relação à safra anterior, quando foram processadas 657 milhões de toneladas. A variação se deve a redução da área colhida de 3,4%. A área colhida deverá ser de cerca de 8,7 milhões de hectares, com uma redução de 310 mil hectares em relação à última safra, quando ocupou 9,8 milhões de hectares (CONAB, 2018). Para a produção de açúcar, a estimativa é de aumento de 1,9% em relação à safra anterior, quando foram processadas 38,9 milhões de toneladas, baseado na expectativa de evolução da área colhida e no mix de produção em relação a demanda, podendo chegar a 39,5 milhões de toneladas. Por outro lado, a produção de etanol total será de 27 bilhões de litros, com uma redução de 2% ou 760 milhões de litros a menos que na safra anterior, quando foram produzidos 27,8 bilhões de litros (CONAB, 2018).

Ocupando uma área com mais de 10 milhões de hectares, entre áreas plantadas e colhidas, a cultura utiliza o equivalente a 1% do território nacional (CONAB, 2018). Participação que não é tão expressiva quando considerarmos a área ocupada por pastagens, que possui quase 200 milhões de hectares, além dos 33 milhões

de hectares de soja (SIDRA-IBGE, 2018). Entre as áreas de expansão mais recentes no Centro-Sul, mais de 60% ocorreram em áreas de pastagens degradadas (UNICA, 2018).

Segundo a Novacana (2016), o Brasil conta com 392 unidades produtoras, sendo 240 unidades mistas, 15 unidades produtoras de açúcar e 115 unidades produtores de álcool. A maioria das usinas se encontra na região Centro-Sul, com destaque para estado de São Paulo, com 172 unidades produtoras de cana-de-açúcar.

2.2. Adubação verde no Brasil

A adubação verde é uma técnica muito antiga, com relatos de sua utilização na China, Europa Medieval, na Alemanha e Américas em diferentes épocas, sendo a civilização chinesa a primeira a empregar essa técnica pensada em manutenção da fertilidade do solo (CALEGARI, 2014). A observação dos resultados benéficos da adubação verde fez com que essa prática fosse utilizada por mais de 2.000 anos, com ou sem explicações técnicas sobre o motivo ao qual seria uma prática benéfica. Posteriormente, pessoas importantes em cada época começaram a elucidar fatos que implicavam nos resultados positivos, como a existência do nitrogênio no ar e bactérias que fixaram nitrogênio da atmosfera no solo (CASTRO, 2004).

No Brasil os adubos verdes são conhecidos há pelo menos 100 anos. As primeiras informações sobre essas técnicas foram publicadas por Gustavo Rodrigues D'Utra no livro Adubos verdes: sua produção e modo de emprego em 1919. Em 1925 foi escrito pelo diretor de campo e sementes de São Simão, Henrique Löbbecke, o boletim Feijão de porco, traçando os resultados de pesquisa com adubos verdes como: feijão de porco (*Canavalia ensiformis*) e mucunas (*Mucuna atterima*) (ROSSI; CARLOS, 2014).

Na década de 50, a cana-de-açúcar já tinha representatividade na economia do país, com plantio e cultivo em solos de boa fertilidade e expansão em solos de baixa fertilidade, indicando queda de produtividade, o que levou os primeiros estudos sobre a utilização de adubos verdes em rotação nos canaviais. Diversas espécies foram estudadas visando produção de massa e entender o ciclo vegetativo das espécies para buscar a melhor fase de manejo das espécies e melhor implantação do canavial (CALEGARI, 2014).

Segundo Furtado (2002), nas décadas de 1960 e 1970 ocorreu uma explosão da cultura da soja e juntamente com a Revolução Verde e com ação governamental, ocorreu grande estímulo ao uso de fertilizantes químicos no Brasil. Assim, neste período viu-se escassez de trabalhos e principalmente o desinteresse econômico pela adubação verde. Porém, entre os anos de 1975 e 1985, um convênio entre Brasil e Alemanha, e em conjunto com o IAPAR (Instituto Agrônomo do Paraná), visando um projeto para desenvolver medidas para o controle da erosão no Estado do Paraná em um trabalho que demonstrava a necessidade de usar plantas como adubos de inverno, período em que as áreas se encontravam em pousio (DERPSCH; CALEGARI, 1985).

Costa (1993) definiu que a cobertura e proteção do solo, melhorias ou manutenção das condições físicas de solo, seriam indispensáveis para melhorias em solos cultivados. A publicação do livro Adubação verde no sul do Brasil reuniu grandes pesquisadores do estado de São Paulo, Paraná, Santa Catarina e Rio Grande do

Sul, resumindo conhecimento adquirido até o momento sobre a utilização de adubos verdes no Brasil (ROSSI; CARLOS, 2014).

Ainda, Cáceres (1994) afirma que a adubação verde teve efeito sobre a produtividade da cana-de-açúcar no primeiro corte. Mascarenhas et al. (1998) mostraram em estudos que a cana-de-açúcar produziu mais após tratamento com *C. juncea* e *M. aterrima* durante a reforma. Juntamente com outra vantagem atribuída a essa rotação, sendo a atuação de ambas as espécies no controle de nematoides (SHARMA; PEREIRA; RESCK, 1982).

Neste sentido, Tofoli (2004) demonstrou que a adoção de sistemas de produção onde as culturas são implantadas sobre algum tipo de palhada ou cobertura vegetal morta tem aumentando em diversas regiões em função de inúmeros benefícios atribuídos a este tipo de cobertura. Entre exemplos, pode-se mencionar o cultivo mínimo em áreas de reflorestamento com manutenção da serrapilheira sobre o solo, o sistema de produção de cana-crua e, com maior adoção, o plantio direto de culturas anuais (VELINE; NEGRISOLI, 2000).

Crotalaria juncea e *Mucuna cinereum* juntamente com outras espécies de leguminosas têm sido utilizadas em sucessão na reforma do canavial, devido a sua rápida decomposição favorecer a mineralização e disponibilização de nitrogênio à cana-de-açúcar (WUTKE; ARÉVALO, 2006). No estado de São Paulo, o estudo do comportamento da cana-de-açúcar em sucessão a adubos verdes foi iniciado por Cardoso (1956), que verificou maior rendimento da cultura após o cultivo de *C. juncea*, quando comparado com *M. aterrima*. Em outras regiões testadas as duas espécies tiveram rendimento semelhantes, sempre com resultados superior às espécies *Cajanus cajan* *Dolichos lablab*.

Desta maneira, algumas leguminosas que tiveram destaque e foram apontadas como promissoras para uso no cerrado, foram: mucuna-preta (*M. aterrima*), guandu (*C. cajan*), crotalárias (*Crotalaria juncea*, *C. ochroleuca*, *C. paulina* e *C. spectabilis*), feijão-bravo-do-ceará (*Canavalia brasiliensis*), feijão-de-porco (*C. ensiformis*) e estilosantes (*Stylosanthes guianensis*) (MYIAZAKA; CAMARGO, 1984).

Entretanto, uma das limitações mais importantes sobre o emprego da adubação verde ou rotação é a época em que a cobertura será plantada, isto porque o período de crescimento da espécie empregada pode causar atrasos no plantio da cultura comercial, dependendo principalmente do modelo de plantio utilizado nas empresas. Sendo que uma das formas mais rápidas na implantação, pode ser o plantio viabilizado com a semeadura direta, em sucessão à cultura (PEREIRA et al., 1992).

2.3. Sistemas de rotação com adubos verdes nas reformas dos canaviais

A rotação de culturas pode ser definida como o sistema de cultivo alternado, em um mesmo terreno, de diferentes espécies, o qual obedece a uma sequência pré-estabelecida e inclui a prática de adubação verde (MASCARENHAS; TANAKA, 1993).

A cultura da cana-de-açúcar demonstrou além do aumento da produção devido as expansões, um grande avanço na produtividade entre os anos de 1970 a 2010, com grande destaque para os canaviais paulistas, que demonstraram médias superiores a 76 tn ha⁻¹ nos últimos anos (CONAB, 2018). Dentre os estados produtores, houve redução de produtividade entre safras 16/17 e 17/18 em 1,5%. Assim, o desafio é

aumentar e manter a produtividade, juntamente com indicadores de sustentabilidade ambiental e com indicadores de redução de custo.

Na Austrália durante os anos de 1960 a 1990, verificou-se a redução da produtividade, mesmo com grandes avanços em genótipos de cultivares e insumos modernos. Esse fato demandou a instalação de uma rede de pesquisa, que posteriormente resultou em incrementos de produtividade em 26% com adoção de adubos verdes nos sistemas de rotação em cana (AMBROSANO et al., 2005).

No sistema atual de produção de cana-de-açúcar, a rotação de culturas com adubos verdes acontece parcialmente em áreas tradicional de cultivo, e suas vantagens já são conhecidas para as condições do centro sul, desde a década de 1950. Desta forma, a rotação de cultura é o conceito mais adequado para canaviais, pois o cultivo dessas espécies é realizado, em média, após cinco cortes, quando se reforma os canaviais. Sendo necessária uma cultura de ciclo rápido e grande formação de biomassa, para que possa-se implantar um novo canavial, de forma que a renovação do canavial é imprescindível para manter elevada produtividade (BOLONHEZI; TORREZAN, 2007).

Para as condições de São Paulo, maior produtor de nacional, a área destinada a renovação das áreas esta em 8,2% em média, nos últimos 10 anos. Rudolf et al. (2010) estimaram que mais de 200 mil hectares de canaviais foram reformados utilizando o cultivo de adubos verdes, como ferramenta de controle de erosão ou adição de massa verde no sistema, afim de melhorias de produtividade. Enquanto em 2017, as áreas destinadas à reforma que receberam adubos verdes permaneceram em cerca de 20% para regiões Sudeste e Centro-Oeste (Tabela 1). Onde a região Sudeste, devido sua maior ocupação em áreas com cana-de-açúcar, é a região que mais faz-se o uso da adubação, com cerca de 133.200 ha (CARLOS, 2018).

Atualmente, a região com maior consumo de sementes certificadas é a região Sudeste, com cerca de 133.200 ha plantados na safra 2017/2018, sendo as espécies *C. juncea* e *C. spectabilis* as mais vendidas para rotação. Para as usinas e fornecedores da região Centro-Oeste, são vendidas anualmente sementes para cerca de 62.500 ha, para renovação de canaviais, com maior interesse para a espécie *C. spectabilis*. Porém, a região Nordeste, planta anualmente apenas cerca de 3 a 4 mil ha. No geral, as espécies mais vendidas para os produtores de cana-de-açúcar são: *C. spectabilis* (102.000 ha); *C. juncea* (51.000 ha); *C. ochroleuca* (38.000 ha); *C. beviflora* (4.000 há) e *Mucuna* ssp (3.000 ha), respectivamente para safra 2017/2018 (CARLOS, 2018).

Tabela 1. Área de rotação de cultura com adubos verdes na cana-de-açúcar em diferentes regiões.

Região produtora	Área de cana-de-açúcar ¹		Área de rotação ²
	Colheita (mil ha)	Plantio (mil ha)	Adubos verdes (mil ha)
Região Nordeste	840,9	88,6	3,8
Região Centro-Oeste	1809,5	285,1	62,5
Região Sudeste	5700,2	669,8	133,2
Total das Regiões	8350,6	1043,5	199,5

¹ Dados referentes à estimativa de produção de cana-de-açúcar CONAB (2017). ² Dados referentes à estimativa de vendas empresas produtoras de sementes Carlos (2018).

O produtor em uma determinada região pode tomar a decisão de implantar adubos verdes, oleaginosas ou leguminosas com finalidade comercial. Isso depende de uma série de fatores como: infraestrutura regional, cultivo e comercialização, preços obtidos com os grãos, históricos fitossanitários e

principalmente o período disponível entre a destruição da soqueira mais velha e a implantação do novo canavial. Além do histórico de herbicidas aplicados no sistema de cultivo da cana, nos últimos anos nas áreas indicadas a reforma (ORTOLAN, 1980).

Os benefícios decorrentes da sucessão e ou rotação de culturas com adubos verdes em canaviais, podem ocorrer de várias formas, sendo difícil mencionar diretamente qual proporciona aumento de produtividade. Porém, alguns fatores são imprescindíveis para manutenção ou aumento da produtividade, como controle de erosão, assoreamento e compactação de solo. Desta forma, a utilização dos adubos verdes é uma ferramenta importante no controle de erosão em cana-de-açúcar, uma vez que as reformas coincidem com período de maior pluviosidade e, conseqüentemente, maiores riscos de erosões. Assim, plantas com crescimento inicial rápido e que permite a cobertura do solo, é uma condição indispensável para redução de impactos das gotas no solo e escoamento superficial das águas (BOLONHESI et al., 2014).

Para qualquer um destes sistemas, de plantio direto ou sistema de rotação, a cobertura morta reduz o volume e a velocidade da enxurrada aumentando a infiltração e diminuindo as perdas de água (MEYER et al., 1970). Assim, a persistência ou adição dos resíduos culturais sobre o solo é fundamental para reduzir a erosão hídrica (ALVES et al., 1995).

A erosão e suas preocupações são importantes de tal forma que estudos antigos, como de Marques et al. (1971), relataram perdas de 57 t ha⁻¹ e 129 t ha⁻¹ de solo por ano. Já em condições com cobertura de solo, as perdas podiam ser reduzidas de 3 à 10 vezes (BERTONI et al., 1986; PROVE et al., 1995). Todos em áreas de cana-de-açúcar, durante a reforma dos canaviais, quando o sistema se torna mais vulnerável. Assim o sistema de rotação com adubos verdes é uma importante ferramenta por apresentar rápido crescimento inicial, principalmente para as espécies do gênero *Crotalaria* (CONDE; DONZELLI, 1997).

Ainda ocorre o aumento do teor de matéria orgânica que favorece o desenvolvimento de bactérias fixadoras de nitrogênio. Onde esta fixação do nitrogênio somado ao acúmulo do fósforo são fatores extremamente importantes para as plantas sintetizarem aminoácidos, imprescindíveis para o crescimento e manutenção das plantas (OLIVEIRA et al., 1999; PERIN et al., 2004). Ainda neste sentido, Alcântara et al. (2000), demonstraram que a adição de *C. juncea* e *C. cajan* aumentou a disponibilidade de N, ocasionando melhora das condições químicas de um LATOSSOLO Vermelho Escuro Eutroférico.

Muitas das áreas em reforma permanecem em pousio durante a primavera e verão, períodos críticos nos quais os solos são mais suscetíveis a degradação. De forma que a ocupação dessas áreas para o cultivo de outras espécies representa uma oportunidade de gerar receita para as usinas sucroalcooleiras, produtores associados e agricultores familiares. Assim, sistemas que adotam a diversificação de culturas promovem vários benefícios, já que os resíduos vegetais das culturas, ao se decomporem, alteram os atributos do solo e, como consequência pode influenciar o desempenho da cultura em sucessão (MARCELO et al., 2009).

Do ponto de vista conservacionista, em condições de plantio em áreas com predominância de argissolos, com declividade acentuada e menor infiltração de água. É comum o assoreamento de sulcos de plantio que ocasionam perdas de solo e de plantas. Desta maneira, a sistemática de utilização de adubos verdes, além de manter o solo protegido durante período de pousio, na implantação do canavial, os resíduos

de adubos verdes aumentam a rugosidade na superfície do solo, reduzindo o selamento superficial, formação e estabilização de agregados, melhorando a infiltração e aeração.

A adoção de rotação de culturas, em especial nos sistemas de base conservacionista, passou a ser preconizada para o manejo físico, químico e biológico do solo. Sendo que a utilização com leguminosas é amplamente recomendada quando se reforma o canavial. Essa prática não interfere na brotação da cana-de-açúcar e seu custo é relativamente baixo, além de promover aumentos significativos nas produções por cerca de dois cortes, além de evitar multiplicação de plantas espontâneas (AMBROSANO et al., 2005).

A adubação verde pode ser realizada com espécies de várias famílias botânicas, entre as quais se destacam as da família das leguminosas (Fabaceae). Além de proporcionar benefícios similares aos obtidos com espécies de outras famílias, as leguminosas têm como particularidade o fato de formar associações simbióticas com bactérias dos gêneros *Rhizobium* e *Bradyrhizobium*, fixadoras de nitrogênio atmosférico. Como resultado da simbiose, quantidades expressivas de nitrogênio (N) tornam-se disponíveis após o corte da leguminosa, o que acarreta auto suficiência em N, se a planta for adequadamente manejada (GUERRA et al., 2004).

2.4. Sistemas de rotação com soja nas reformas dos canaviais

Na cana-de-açúcar, com o término de um ciclo de cinco anos ou mais de cortes consecutivos, o produtor pode optar por renovar imediatamente seu plantio ou proceder a rotação com outras culturas. Essa opção irá depender do seu objetivo que, resumidamente, pode ser melhoria das condições físico-químicas ou aumento de renda.

De toda forma, a decisão pela reforma do canavial e a forma como será trabalhada esse solo durante o período, depende dos interesses e aptidões dos profissionais existentes na usina, assim como dos recursos financeiros e ativos pertencentes à usina sucroalcooleira. Esta decisão pela renovação é seguida por duas opções possíveis: a primeira seria deixar a terra em descanso (pousio), apenas aplicando as correções necessárias ao solo, ou semeadura de alguma espécie de adubo verde ou oleaginosa. Desta forma, a rotação divide-se entre a terceirização e a autoprodução, que dependerá dos recursos internos e do conhecimento do produtor sobre a nova cultura (OLIVEIRA et al., 2012).

O sistema mais comum de utilização de culturas em rotação ou reforma envolve operações como: retirada da cana (entre setembro e outubro), destruição da soqueira, calagem, preparo do solo, plantio da cultura anual, colheita (entre fevereiro e março) e novo plantio de cana, nomeado assim como plantio de 18 meses. Durante a renovação do canavial, ocorre o período que pode-se fazer o uso de espécies utilizadas como adubos verdes, com objetivo de cobertura superficial para manter ou melhorar as propriedades físicas, químicas e biológicas do solo (PADOVEZI, 2018).

Ainda segundo Padovezi (2018), para o plantio da soja, normalmente escolhe-se variedades precoces à médias, utilizando-se de terrenos mecanizáveis para a colheita. As vantagens da utilização dessa leguminosa em rotação com a cana são: absorção dos custos de preparo do solo, como operações mecanizadas; absorção dos custos de correção de solo em área total; geração de benefícios diretos, com o uso de leguminosas, como: fixação biológica de nitrogênio, incorporação de matéria orgânica e conservação do solo, o que resulta na

redução do uso de nitrogênio fertilizante em cana-planta e ainda no controle de plantas de difícil controle, devido as aplicações de glifosato para os cultivares RR. Entretanto, o atraso da colheita de soja e retirada da cultura pode ser um grande problema para o produtor de cana-de-açúcar, o que ocorrerá o atraso do plantio e consequentemente possibilidade de perdas significativas na brotação do novo canavial, principalmente em períodos mais secos e em solos mais argilosos.

Porém, com os avanços no sistema de plantio de MEIOSI, principalmente para áreas com plantio de MPB, o sistema de rotação de cultura intercalar com oleaginosas ou espécies de adubos verdes volta a ganhar destaque no cenário nacional. Reduzindo os custos de implantação, melhorando as condições químicas, físicas do solo, além da proteção o solo contra erosão no período de renovação do canavial. Somente na região de Ribeirão Preto, cerca de 42.000 ha de soja foram plantados no sistema de rotação cana-soja (PADOVEZI, 2018).

Assim como a soja, o amendoim é uma cultura interessante para rotação com cana-de-açúcar por apresentar baixa exigência de fertilidade de solo. Possui sistema radicular bem desenvolvido e boa adaptação aos solos arenosos. Grande parte dos produtores da região de Ribeirão Preto também utilizam de rotação com amendoim, sendo que o Oeste do estado de São Paulo concentra-se quase 90% da produção de amendoim do estado, o que facilita a migração para a cultura da soja nos sistemas de MEIOSI (RUIZ, 2017).

2.5. Características das espécies empregadas como adubos verdes

Conhecida há muito tempo e com resultados positivos e retorno econômico, a prática da adubação verde estava sendo adotada nos mais distintos meios de produção, sendo que consiste no corte de plantas imaturas ou em plena floração, para a finalidade de aumento, preservação ou restauração da fertilidade do solo. Podendo ser incorporada ou não, com grande preferência pelas plantas da família da fabáceas, pela grande capacidade de fixação de N no solo (ALCANTARA; BUFARAH, 1992).

Neste conceito vigente até meados dos anos 80, foram incorporadas outras espécies vegetais, sendo assim os adubos verdes, também conhecidos como plantas de cobertura, com ou sem incorporação posterior ao solo (MIYASAKA, 1984). Essa prática compreendeu não apenas o uso de leguminosas, mas também de poáceas, brássicas e asteráceas, com finalidade de cobertura de solo e produção de sementes. Visando restaurar a produtividade ao mesmo tempo, com uma visão econômica de utilização de máquinas, insumos e áreas. Neste período começaram as pesquisas para implementação dessas espécies, no período de entressafra das culturas econômicas, usando assim leguminosas de inverno e leguminosas típicas de verão.

Atualmente esta prática está inserida no contexto mundial de produção de alimentos em áreas de produção de orgânicos ou em áreas com mínima utilização de insumos químicos, como fontes alternativas em diversas situações (WUTKE et al., 2014). No contexto nacional há disponibilidade de muitas espécies empregadas nesta prática, adaptadas as diversas condições agroclimáticas do Brasil. Hoje é possível o cultivo tanto no período de outono/inverno, quanto no período de primavera/verão, sendo as leguminosas as mais divulgadas e utilizadas como plantas de cobertura (WUTKE et al., 2007).

As leguminosas são plantas com baixa relação C/N, ficando em média ao redor de 20 na sua biomassa, quando estão em pleno florescimento e no início da formação de vagens. Nesta fase a decomposição

dessa massa é rápida, sendo favorecida a mineralização e a liberação dos nutrientes reciclados pré-existentes no solo (WUTKE et al., 2014).

Segundo esses autores, as espécies empregadas na estação de verão são indicadas para as regiões com semeadura prevista para início do período chuvoso, que ocorre a partir de outubro nas regiões Sudeste e Centro-oeste, podendo estender-se até março em áreas sem risco de geadas. Entre as leguminosas, está em destaque as plantas da Família Fabaceae, Subfamília Papilionoidae, na Tribo Crotalariaeae. Com destaque para a espécie *Crotalaria juncea* L. Ainda são muito cultivadas as espécies *C. beviflora*, *C. spectabilis* e *C. ochroleuca*. Além das crotalárias, seguem em destaque outras espécies como *C. ensiformis*, *C. brasiliensis*, *C. cajan*, *D. lablab*, *M. deengiriana*, *M. aterima* e *Neonotonia wightii* (soja perene). Além, é claro da cultura da soja comercial (*Glycine max*) (WUTKE et al., 2014).

Em geral as espécies de crotalárias, são plantas anuais, eretas, arbustivas, de crescimento determinado e com sementes de tamanho reduzindo. São bem adaptadas aos solos de textura arenosa e de baixa fertilidade. Dentre essas espécies esta a *C. juncea* L, originária da Índia e Ásia Tropical, com plantas de crescimento rápido e ótima cobertura de solo. Possui sistema radicular pivotante e profundo, o que pode contribuir para infiltração de água no solo (WUTKE et al., 2014).

De acordo com Bulisani et al. (1980), o ciclo da *C. juncea* L. é dependente das variações de fotoperíodo, assim com redução de h/luz/dia, também ocorre redução do número de dias até o florescimento. Desse modo obtém maior produção de biomassa em semeaduras de outubro (LOVADINI et al., 1970), novembro e dezembro (AMABILE et al., 2000).

A espécie *C. spectabilis* Roth é originária da América do Sul e do Norte, é uma planta de crescimento inicial lento, possui raiz pivotante profunda, podendo romper camadas compactadas. É de clima tropical e subtropical, apresentando bom comportamento nos diferentes tipos de textura de solo, inclusive nos solos relativamente pobres em fósforo. Destaca-se também pela capacidade de fixação biológica de nitrogênio atmosférico e produção de biomassa. Apresenta um baixo fator de reprodução aos nematóides, em especial para os formadores de galhas, cisto e das lesões radiculares, devido à presença da monocrotalina, um composto secundário metabolizado pela planta. Devido ao seu porte médio, quando comparada a *C. juncea* L. pode ser utilizada nas entrelinhas de culturas perenes, sem prejudicar o trânsito de máquinas ou pessoas (DORNELLES et al., 2016).

Ainda segundo Dornelles et al. (2016), a espécie *C. ochroleuca* é originária da África Tropical, comumente cultivada como adubo verde e foi introduzida no Cerrado Brasileiro na década de 1990. É uma fabacea anual de verão, que pode ser plantada entre outubro a março em regiões do Sudeste e Centro-Sul. É uma planta considerada rústica e com raízes capazes de romper as camadas adensadas do solo, o que faz dela uma planta resistente à seca, ao frio, à baixa umidade no solo e ao sombreamento. Se adapta bem à solos com baixa fertilidade. Possui porte arbustivo ereto, que varia de 0,5 a 2,7 m, com crescimento determinado.

É considerada uma planta com que não hospeda nematóides, o que contribui para a diminuição da população destes, sendo muito utilizada na sucessão da soja em áreas com infestação mista dos nematóides das galhas e das lesões radiculares, com destaque para o *Pratylenchus brachyurus*. Apresenta boa produção de

biomassa e fixação de nitrogênio, sendo também recomendada para recuperação da capacidade produtiva do solo. Ainda possui efeito supressor de plantas espontâneas, em especial, no controle de *Digitaria* spp.

Canavalia ensiformis (L.) DC, conhecida como feijão-de-porco, é uma planta arbustiva, que pertence à família Fabaceae. O gênero *Canavalia*, por sua vez, compreende cerca de 70 a 75 espécies nativas no mundo. *C. ensiformis* é de origem centro-americana e é atualmente muito cultivada nas regiões tropicais e subtropicais de todo o mundo. É encontrada em estado silvestre nas Antilhas e em algumas regiões africanas e asiáticas. É uma leguminosa anual ou bianual, herbácea, muito rústica, rasteira, apresentando um crescimento ereto e determinado de início lento podendo atingir 1,2 m de altura e é amplamente cultivada nos países tropicais como cobertura verde (RODRIGUES, 2004).

Foi introduzido no Brasil pelo Instituto Agrônomo de Campinas (IAC), em Campinas, SP, nos anos de 1900. Suas plantas têm hastes grosseiras e lenhosas na base, com crescimento até 1,2 m em até 90 dias após a semeadura até a florescimento (WUTKE et al., 2014). Suas folhas são alternadas, trifolioladas com folíolos grandes elíptico-ovais, de cor verde-escura brilhante, com nervuras salientes, além de serem grandes e formarem uma boa cobertura de solo (DORNELLES et al., 2016). Suas inflorescências são axilares em racemos grandes e suas flores são grandes, com corola de cor violácea ou roxa. Suas vagens são achatadas, largas e compridas, coriácea, bivalvas com estrias longitudinais e possui de 4 a 18 sementes. Estas sementes são grandes, de forma arredondada-ovalada, de cor branca ou rosada com hilo oblongo de cor parda, com coloração castanha ao redor das sementes (RODRIGUES, 2004).

Esta é uma planta resistente às altas temperaturas e à seca, pois possui sistema radicular profundo. Entretanto não suporta geada e é tolerante ao sombreamento parcial. Desenvolve-se bem em solos ácidos e adapta-se praticamente a todos os tipos de solos, inclusive aqueles pobres em fósforo. A planta é excepcionalmente resistente ao ataque de insetos, esta resistência é atribuída à presença de metabólitos secundários, como a canavanina (ROSENTHAL; DAHLMAN, 1986).

Por ser uma leguminosa de crescimento inicial e fechamento rápido, *C. ensiformis* é também utilizada como adubação verde e no controle à erosão. O seu plantio pode ser solteiro ou consorciado com milho, café, citrus e outras culturas. É uma planta que cobre bem o solo e apresenta importante efeito alelopático às invasoras, atuando eficientemente no controle de plantas daninhas como a tiririca (*Cyperus rotundus*). Tem convivido, sem maiores problemas, com a presença de viroses. É hospedeira da mosca-branca (*Bemisia tabaci*), transmissora do vírus do mosaico dourado do feijoeiro e de outras viroses do feijão comum (WUTCK et al., 2007).

Já a espécie *C. cajan* é originário da Índia e África ocidental e seus nomes comuns no Brasil são: guandu, feijão-guandú, feijão-guandu-anão. É uma planta anual ou semi-perene, de crescimento determinado. Sendo considerada uma das mais rústicas das espécies empregadas como adubos verdes. Seu crescimento inicial é lento, desenvolvendo-se mais adequadamente entre a faixa de temperatura de 18°C a 30°C, podendo ser usada de diversas formas e modalidades que vão desde plantas de coberturas até alimento humano e animal (WUTKE et al., 2014).

Ainda segundo Wutke et al. (2014), são plantas que se desenvolvem bem em solos com baixa fertilidade, textura argilosa e arenosa. Possui sistema radicular vigoroso e de profundidade, o que lhe confere

capacidade de resistência a seca por longos períodos. Possui flor amarela ou amarela avermelhada e folhas trifoliadas. Possui ampla adaptação, preferindo os climas quentes e úmidos. Vegeta e produz bem em vários tipos de solo, não sendo exigente em fertilidade. São plantas de verão, de porte baixo, entre um e 1,5 metros de altura e ciclo anual (cv IAPAR-43 - anão), são rústicas e têm boa exploração radicular, descompactando os solos adensados e reciclando nutrientes (DORNELLES et al., 2016).

Outras leguminosas muito usadas são as plantas do gênero *Mucuna* ssp., cuja qual a principal espécie é *M. aterrima* (mucuna-preta). Ainda são muito utilizadas as espécies *M. deenginriana* (mucuna-anã), *M. deenginriana* var. rajada (mucuna-rajada), *M. nívea* (mucuna-cinza), além da mucuna-verde (*M. pruriens* (L) DC). Suas flores e vagens são de coloração violácea e preta, com folhas trifoliadas (WUTKE et al., 2014)

São plantas originárias da África, com hábito trepador, tolerantes a seca, altas temperaturas e ligeiramente tolerantes ao encharcamento (DORNELLES et al., 2016). São plantas consideradas rústicas, efetivas controladoras de populações de nematóides formadores de galhas, com elevada taxa de fixação de nitrogênio e ciclagem de outros nutrientes. São muito tolerantes ao alumínio (Al) e possui grande capacidade de competição com plantas daninhas, que são suprimidas pelo sombreamento ou efeito alelopático (WUTKE et al., 2014).

M. pruriens (L) DC var. utilis, passou a ser utilizada no sistema de adubação verde pela sua alta capacidade de produção de biomassa e pelo baixo risco de tornar-se invasora nas culturas sequenciais, já que não apresenta dormência. Diferente da espécie *M. aterrima* (mucuna-preta), que é muito agressiva quando manejada de forma inadequada se tornando planta daninhas, principalmente na cultura da cana-de-açúcar (SILVA et al., 2011; KUVA et al., 2007).

2.6. Manejo de plantas daninhas com adubos verdes

A rotação de culturas também pode ser uma prática agrícola eficiente no controle de plantas daninhas, podendo reduzir o banco de sementes no solo, por propiciar competição, alelopatia e distúrbios do solo, ocasionando alteração na pressão de seleção, redução da pressão de infestação para plantas daninhas específicas (BUHLER et al., 1997).

As plantas utilizadas como adubos verdes são culturas geralmente competitivas com diversas plantas daninhas, pois próprio efeito físico da cobertura é importante na regulação e da taxa de sobrevivência de plântulas de algumas espécies. Tem-se como exemplo a redução da germinação de sementes fotoblásticas positivas, que requerem um determinado comprimento de onda para germinar. A cobertura morta ou massa vegetal depositada sobre o solo pode também interferir em sementes que necessitam de grande amplitude térmica para iniciar o processo germinativo. Além do efeito da cobertura que pode reduzir as chances de sobrevivência de plântulas oriundas de espécies com pequenas quantidades de reservas nos diásporos, que não são suficientes para garantir a sobrevivência durante o período necessário para transpor a cobertura morta para ter acesso a luz (MONQUEIRO; HIRATA, 2014).

Esta cobertura comporta-se como uma camada isolante que se interpõe entre a atmosfera e o solo, interceptando os raios solares e promovendo uma menor variação da temperatura, ou seja, reduzindo a

amplitude térmica do solo. Segundo Egley e Duke (1985), a amplitude térmica é um dos componentes do regime térmico que interfere de maneira decisiva na germinação de várias espécies de plantas daninhas. Além de liberar substâncias alelopáticas capazes de inibir a germinação das sementes de algumas espécies presentes no solo (RODRIGUES; ALMEIDA, 2005). Propiciando, ainda um ambiente favorável ao desenvolvimento de populações de invertebrados que podem interferir no banco de sementes de plantas daninhas do solo (VIDAL; THEISEN, 1999).

Como o resíduo vegetal que permanece na superfície, por ser uma barreira física, reduz a incidência de luz, o banco de semente é alterado e a dinâmica das plantas invasoras pode ser completamente diferente quando comparado ao sistema convencional (GAZZIERO, 2001). Assim como foi a adoção do sistema de colheita na cultura da cana-de-açúcar, que resultou na deposição de palhada sobre o solo, influenciando diretamente na ocorrência e manejo de plantas daninhas. Esta cobertura morta pode atuar como um valioso instrumento no controle de plantas daninhas, uma vez que o terreno coberto por resíduos vegetais apresenta infestação bastante inferior àquela que se desenvolveria com o solo descoberto (ALMEIDA, 1991).

O período de condução da cultura ou a deposição dos resíduos vegetais sobre o solo interfere diretamente sobre a comunidade infestante e esta interferência é atribuída fundamentalmente aos efeitos físicos. Esses efeitos referem-se às alterações nas amplitudes térmicas e hídricas do solo (EGLEY; DUKE, 1985) e à filtragem da luz que atinge o solo (CHRISTOFFOLEI et al., 2007), afetando a dormência e, conseqüentemente a germinação das plantas daninhas que estão no solo.

Neste sentido, a competição, efeito físico e biológico dos adubos verdes podem interferir na supressão de plantas daninhas, uma vez que as plantas crescem de acordo com os recursos disponíveis no meio em que se encontra a competição (PITELLI, 1987). Assim as plantas cultivadas com esta finalidade têm a vantagem de germinação e crescimento rápido em detrimento às plantas daninhas, que neste caso sofrerão grande competição com as espécies plantadas.

Akobundu e Polku (1984, citados por REIJNTES et al., 1994) observaram que em 19 semanas, *Mucuna pruriens*, conseguiu cobrir completamente uma área infestada com *Impereata brasiliensis* (capim-sapé). Modificações na população de plantas daninhas em áreas cultivadas pelas leguminosas *C. ensiformis*, *Canavalia brasiliensis*, *M. aterrima*, *Dolichos lablab* e *Cajanus cajan*, foram avaliadas por Ferreira et al. (2001), onde plantas de cravo de defunto (*Melanpodium perfoliatum*) e picão preto (*Bidens pilosa*) demonstraram redução de 57% da massa seca, no tratamento com *C. brasiliensis*. Para o tratamento com *C. cajan*, as espécies de plantas daninhas capim carrapicho (*Cenchrus echinatus*), capim colônia (*Panicum maximum*), picão preto (*B. pilosa*) e grama seda (*Cynodon dactylon*), representaram 71% de redução de massa seca.

Canavalia ensiformes, destacou-se pelo controle nas espécies *P. maximum* e *C. dactylon*, enquanto que a espécie *M. aterrima* foi a mais eficiente em reduzir ou eliminar a concorrência com as plantas daninhas, o que pode ser atribuído ao efeito alelopático e a pressão de competição. Lorenzi (1991) atribuiu esse papel da *M. aterrima* ao forte e persistente efeito inibitório, em especial sobre plantas de *B. pilosa* e *Cyperus rotundus*. Neste mesmo sentido Monqueiro et al (2009), estudaram a cobertura vegetal de *Canavalia ensiformis*, com produções entre 60 e 80 t ha⁻¹, observaram grande deposição superficial de resíduos vegetais, que

apresentaram maior inibição da emergência da espécie *P. maximum* ocasionado pelo efeito físico da palha, uma vez que as sementes desta espécie possuem tamanho muito reduzido.

Em experimento realizado e casa de vegetação em Piracicaba, Severino e Christoffoleti (2001) observaram que fitomassa fresca das espécies *C. cajan* (17,64 t ha⁻¹) e *C. juncea* (14,32 t ha⁻¹), tanto incorporada, quanto e superfície, reduziu de forma significativa as populações de plantas daninhas *Brachiaria decumbens*, *P. maximum* e *B. pilosa*. Susuki e Alves (2006) observaram o rápido crescimento de *C. juncea* e a redução de plantas daninhas nas parcelas.

Especificamente para plantas do gênero *Mucuna* ssp., as informações disponíveis mostram que essa leguminosa possui potencialidades alelopáticas, constituída principalmente pela parte aérea. Consegue grande volume de fitomassa produzida em curto espaço de tempo, e assim por ocupar rapidamente áreas, provoca competição por água e luz, tornando-se uma planta que pode provocar interferências na população de plantas que estejam no mesmo ambiente (CALEGARI et al., 1995).

Souza e Yamashita (2006), observaram que *Bidens pilosa* foi sensível aos compostos aleloquímicos presentes na *M. aterrima*, com redução na germinação, à medida que a concentração do extrato era aumentada, quando a germinação teve uma redução de 12,9% quando se comparou a maior dose com a testemunha.

Entretanto, algumas espécies de plantas daninhas têm capacidade de germinar e crescer mesmo e condições desfavoráveis a outras plantas, como camadas de palha e cobertura vegetal. Campos et al. (2009), observaram a grande capacidade de *Merremia cissoides* e *Neonotonia wightii* em transpor a palha de cana-de-açúcar. Neste mesmo sentido, Salvador (2007) observou que sementes de *Ipomoea nil* e *B. plantaginea* foram indiferentes para tratamentos com luz ou escuro, o que demonstrou que são espécies com maior facilidade de germinação e desenvolvimento, mesmo em áreas com cobertura vegetal.

Esses fatores podem estar associados aos efeitos alelopáticos de cada espécie e ao tamanho do limbo foliar, o que lhe confere maior capacidade de sombreamento nas áreas (FERNANDES et al., 1999). Diferenças na intensidade do efeito alelopático de diversas plantas utilizadas para adubação verde já foram descritas por Almeida e Rodrigues (1985) e Almeida (1988). Ainda, segundo Fernandes et al. (1999), a velocidade de crescimento inicial da planta de cobertura esta diretamente ligada a biomassa de plantas daninhas, sendo fator importante a época de semeadura de cada espécie, para que obtenha a máxima capacidade crescimento e cobertura do solo e consequentemente redução da biomassa de plantas daninhas.

Mesmo depois de ter a cobertura manejada, fazendo uma camada de cobertura morta, algumas espécies que já são consideradas problemas em cana-de-açúcar, podem ter germinação e crescimento através dessa camada vegetal. Biomassa de 40 t ha⁻¹ e 50 t ha⁻¹ se mostraram ineficazes no controle de *I. grandifolia*, o que pode se tornar um problema ao modelo de implantação do canavial (MONQUEIRO et al., 2009).

Velini e Negrosoli (2000) observaram que plantas daninhas consideradas importantes, como *Braquiaria decumbens*, *Bidens pilosa*, *Panicum maximum* e *Digitaria horizontalis*, podem ser eficientemente controladas pela presença de uma camada de palha acima de 15 t ha⁻¹, concordando com os resultados de Arévalo (1979). Entretanto, Martins et al. (1999) demonstraram que para outras espécies, como *Ipomoea grandifolia* e *Euphorbia heterophylla*, o controle promovido por camadas vegetais é considerado deficiente.

2.7. Efeitos de resíduos de herbicidas em culturas posteriores

A preocupação quanto à contaminação do ambiente e a utilização racional dos recursos hídricos e do solo está cada vez mais evidente, principalmente com a elevada utilização de defensivos na agricultura para a produção em larga escala nos manejos atuais. Entre os efeitos diretos percebidos pelos produtores estão os sintomas de intoxicação e a redução de produtividade das culturas subsequentes, ocasionados por herbicidas de ação residual provenientes de culturas ou aplicações anteriores.

A permanência e a degradação dos herbicidas no solo são processos chave na determinação do seu efeito residual, sendo fundamentais para avaliar a eficiência de controle das plantas daninhas (HINZ, 2001). Herbicidas com efeito residual mais longo que o período entre duas culturas pode causar injúrias nas culturas subsequentes, devido a atividade biológica da molécula ou de um dos seus metabólicos no solo, quando em quantidade suficiente, determinando o fenômeno denominado “carryover” (ALONSO et al., 2013).

Fatores como herbicida utilizado, dose aplicada anteriormente, cultura e condições ambientais após a aplicação do herbicida, pode influenciar substancialmente o potencial do efeito residual. Assim o planejamento da rotação de cultura deve ser criterioso para prevenir tais problemas (OLIVEIRA JUNIOR, 2002).

Diversos trabalhos foram publicados, demonstrando os efeitos destes resíduos no solo sobre outras culturas. Johnson e Talbert (1996), ao avaliarem o efeito residual do herbicida imazaquin, demonstraram que resíduos no solo causaram toxicidade às culturas de melão, pepino, girassol e mostarda, até quando semeadas aos 112 dias após aplicação.

Em trabalhos realizados durante três anos consecutivos, Walsh et al. (1993) também avaliaram os efeitos residuais no solo de imazaquin, utilizado na cultura da soja, sobre as culturas sucessivas de trigo, milho, sorgo e algodão, constatando que nas maiores doses, podem causar efeitos e injúrias no algodão.

Blanco e Veline (2005) observaram efeitos de resíduos de sulfentrazone em culturas posteriores, como aveia e trigo, em áreas com aplicação de sulfentrazone, mesmo sendo 305 dias antes do plantio da cultura teste. Entretanto, neste mesmo ensaio o sulfentrazone não demonstrou efeitos negativos sobre a cultura de girassol e feijão para este mesmo período.

Renner et al. (1988) também detectaram prejuízos para o crescimento e produtividade da cultura do milho plantada após a aplicação de imazaquin em soja. Neste mesmo sentido Dan et al. (2011), avaliando os efeitos da atividade residual dos herbicidas imazethapyr ($0,100 \text{ kg ha}^{-1}$) e diclosulan ($0,035 \text{ kg ha}^{-1}$), constataram efeitos negativos sobre o rendimento da cultura do milheto cultivado em sucessão. Porém, tais resultados discordam dos apresentados por Artuzi e Contiero (2006) que não observaram efeitos negativos do milho cultivado em sucessão à soja após a utilização de imazethapyr ($0,100 \text{ kg ha}^{-1}$) em solo com maiores proporções de argila.

Algumas moléculas de herbicidas utilizadas em cana-de-açúcar, também podem ocasionar o controle de espécies empregadas como adubos verdes. Segundo Campos et al. (2016), os herbicidas amicarbazone e sulfentrazone, utilizados com frequência em cana-de-açúcar, ocasionaram redução de massa seca de *Neonotonia wightii* (soja perene) e *M. aterrima* (mucuna preta), que também são utilizadas como rotação de cultura em áreas de renovação.

Malardo et al. (2014) também observaram baixa tolerância das espécies *C. breviflora* e *C. juncea* aos herbicidas utilizados na cultura do milho e na cana-de-açúcar, como o herbicida mesotriona, amicarbazone e ametrina, aplicados em pós emergência das espécies.

Herbicidas como diuron, hexazinona e metribuzin, podem ser remobilizados no solo com adição de vinhaça, podendo ser lixiviado ou até reincorporado na solução de solo, o que pode trazer como consequência a fitotoxicidade sobre as culturas posteriores (VITI, 2014).

Assim como em outros sistemas de rotação, as culturas subsequentes utilizadas na cana-de-açúcar, como adubos verdes de maneira geral, soja, amendoim entre outras, podem ser utilizadas durante a reforma tradicional e normalmente durante estação de verão. Ou ainda no sistema de MEIOSI, sistema denominado quando o plantio ocorre de forma intercalar dessas culturas em conjunto com as linhas de cana, que serão posteriormente distribuídas e plantadas após a colheita das culturas intercalares, ou ainda após a incorporação dos adubos verdes.

Desta forma, pode haver necessidade controle de plantas daninhas durante o plantio das culturas comerciais de soja e amendoim, ou ainda a necessidade de aplicação de herbicidas anteriormente ao plantio dos adubos verdes, de forma que é necessário conhecer a relação resíduo no solo dos herbicidas aplicados anteriormente, com as plantas escolhidas para rotação.

Trabalhando com soja, cultivar Nidera 5909, Carrati et al. (2014) observaram que mesmo após 54 dias da aplicação de atrazina, na dose de 3.250 g ha^{-1} , houve redução de produtividade da soja, assim como redução de massa seca de plântulas aos 15 dias após emergência. Entretanto, Novaes et al. (2018), avaliando os sintomas de fitotoxicidade de soja em áreas com aplicação anterior à semeadura com herbicida atrazina, observaram os maiores sintomas somente quando aplicado 2.500 g ha^{-1} nas avaliações de 0 e 15 DAP, e concluíram que a semeadura de soja acima de 15 DAA não causou sintomas na soja.

2.8. Características dos herbicidas

O amicarbazone é um herbicida sistêmico pertencente ao grupo químico das triazolinonas, com solubilidade alta, da ordem de 4600 ppm e considerado não volátil, com pressão de vapor de $0,975 \times 10^{-8} \text{ mmHg}$ a 20°C . Como uma de suas características, sua capacidade de adsorção (32,4 a $42,6 \text{ mg/g}$ de solo) é também é um dos fatores que imprimem ao produto uma baixa necessidade de umidade no solo para sua ação herbicida e assim maior disponibilidade do herbicida na solução do solo, quando as plantas daninhas encontram condições para germinar. Assim o herbicida amicarbazone tem a capacidade de atravessar grandes períodos de déficit hídrico (GIMENES, 2004). Também é considerado um herbicida não iônico, com Kow 17 (PPDB, 2018), e classificado, segundo Gelber e Spadotto (2004) como um herbicida com força de adsorção fraca e consequentemente com alta mobilidade no solo.

Segundo Toledo et al. (2009), o herbicida amicarbazone é recomendado nas aplicações em pré e pós-emergência inicial para controle de amplo espectro de plantas daninhas que competem com as plantas de cana-de-açúcar. O seu mecanismo de ação principal é a inibição da fotossíntese, atuando na reação de Hill (fotossistema II), inibindo o transporte de elétrons e paralisando a fixação de CO_2 e a produção de ATP e

NADPH2, os quais são elementos essenciais ao crescimento das plantas. No entanto, a morte das plantas podem ocorrer devido a outros processos, como a peroxidação de lipídeos e proteínas, promovendo a destruição das membranas e perda de clorofila.

Pertencente ao grupo das triazinonas, o herbicida hexazinona tem ação no fotossistema II, paralisando a fotossíntese a partir da inibição do processo de transporte de elétrons (OLIVEIRA JUNIOR, 2011). Este herbicida apresenta alta solubilidade e degradação principalmente por microrganismos (KIDD; JAMES, 1991). De acordo com Queiroz et al. (2009), o tempo de meia-vida do hexazinona no LATOSSOLO Vermelho Distrófico pode variar 125-145 dias.

É recomendado para o controle em pré-emergência de plantas daninhas na cultura de cana-de-açúcar. Pertencente ao grupo da triazinonas, é altamente solúvel em água (33.000 mg L^{-1} a 25°C) e móvel no solo (CELIS et al., 2002). Essas características levam-no a um grande potencial de lixiviação (WILKINS et al., 1993), sendo considerado entre os herbicidas recomendados para cana-de-açúcar, o mais susceptível à lixiviação e contaminação de águas. Também é considerado como um herbicida fracamente básico com pKa de 2,2 (CHRISTOFFOLETI et al., 2008).

O herbicida sulfentrazone apresenta solubilidade em água (25°C) de 490 ppm e pressão de vapor de $1 \times 10^{-9} \text{ mm Hg}$ a 25°C (RODRIGUES; ALMEIDA, 1998). No solo, a mobilidade é moderada com baixa adsorção aos colóides do solo, sendo a decomposição microbiana a principal via de degradação e meia-vida de 180 dias (FMC, 1997). Pertencente ao grupo químico aril triazolinonas, é um herbicida recomendado para aplicação preferencialmente em pré-emergência, controlando várias espécies de plantas daninhas infestantes, das culturas da cana-de-açúcar e soja, além do seu uso em pátios industriais (RODRIGUES; ALMEIDA, 1998).

Possui meia-vida no solo estimada entre 110 e 280 dias, variando de acordo com as condições edafoclimáticas locais e seu mecanismo inicial de degradação está relacionado principalmente com a atividade microbiológica (GREY et al., 2000; POLUBESOVA et al., 2003; VIVIAN et al., 2006). Possui Kow de 63 e Koc médio de 43 mg g^{-1} de solo (PPDB, 2018). O que determina sua mobilidade no solo como moderada em razão de apresentar baixa sorção (RODRIGUES; ALMEIDA, 2005).

O tebuthiuron é um herbicida seletivo, com ação sistêmica e pertencente ao grupo químico das ureias substituídas, sendo classificado de medianamente a altamente tóxico (RODRIGUES; ALMEIDA, 2011). É recomendado para aplicação em pré-emergência visando controlar diversas plantas daninhas nas culturas da cana-de-açúcar e pastagens, sendo que sua absorção preferencial é via radicular e possui tempo de meia vida elevado no solo, além de elevada solubilidade (TOMLIN, 1994). Possui solubilidade em água de $2,5 \text{ g L}^{-1}$ (2500 ppm); Kow de 63 e Koc médio de 80 mg g^{-1} de solo. É adsorvido pelos colóides orgânicos e minerais, resultando em média lixiviação no perfil do solo. Se aplicado em doses mais elevadas em cana-de-açúcar, recomenda-se intervalo de segurança entre a aplicação e a semeadura de feijão, soja e amendoim de dois anos, e de três, se utilizado em pastagens (RODRIGUES; ALMEIDA, 2011).

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1. Efeitos de resíduos de herbicidas sobre espécies de adubos verdes

Foram desenvolvidos oito experimentos, quatro no município de Itacemópolis e quatro no município de Itirapina, no estado de São Paulo, entre setembro de 2015 e março de 2016. Os solos foram previamente preparados com gradagem intermediária até 0,10 m de profundidade, sendo a área mantida sem cultura durante todo o período de intervalo entre a aplicação do herbicida, que ocorreu em setembro de 2015, e a semeadura das espécies leguminosas ocorreu em dezembro de 2015. Foram aplicados quatro herbicidas comumente utilizados na cana-de-açúcar e foi analisado os resíduos após 82 dias, sendo as amostras enviadas para análise de cromatografia para o laboratório do Núcleo de Pesquisas Avançadas em Matologia da UNESP (NUPAM) em Botucatu. As espécies de adubos verdes foram semeadas em dezembro de 2015 e avaliadas até março de 2016, com pesagem final da biomassa fresca das espécies. Os dados meteorológicos referentes aos locais e períodos em que os experimentos estiveram em campo estão apresentados nas Figuras 1 e 2.

Figura 1. Temperaturas médias (°C) e precipitações (mm) descendias registradas para local e período de desenvolvimento dos experimentos em campo. Itacemópolis/SP, 2015/2016.

Figura 2. Temperaturas médias (°C) e precipitações (mm) descendias registradas para local e período de desenvolvimento dos experimentos em campo. Itirapina/SP, 2015/2016.

3.1.1. Aplicação e manutenção dos experimentos

Os herbicidas aplicados neste trabalho foram amicarbazone, hexazinona, sulfentrazone e tebuthiuron. As áreas escolhidas de cada fazenda foram áreas sob as limitações de linhas de alta tensão, que não receberam herbicidas nos últimos cinco anos. O solo da área no município de Iracemápolis foi classificado como LATOSSOLO Vermelho Distrófico, de textura argilosa (51% de argila, 34% de areia e 15% de silte), cuja análise física e química está apresentada na Tabela 2. O solo da área no município de Itirapina foi classificado como LATOSSOLO Vermelho Amarelo Distrófico, de textura arenosa (14% de argila, 85% de areia e 1% de silte), cuja análise física e química está apresentada na Tabela 3.

Tabela 2. Propriedades físico-químicas do solo da área experimental (LATOSSOLO Vermelho Eutrófico). Iracemápolis/SP, 2015.

Camada (cm)	Composição Granulométrica ⁽¹⁾ (%)					M.O. (g/kg)	pH		
	Areia			Silte	Argila		CaCl2		
	Fina	Grossa	Total						
0 – 20	21	13	34	15	51	22,1	5,4		
20 – 40	22	8	30	15	55	20,0	5,0		
Análise Química(2)									
Camada (cm)	Cátions Trocáveis (mmolc dm ⁻³)						P resina (mg dm ⁻³)	Saturação (%)	
	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	SB	H+Al	CTC		V	m
0 – 20	0,47	3,94	1,30	5,71	32,70	8,49	92	67,30	0,02
20 – 50	0,32	2,88	1,02	4,22	42,21	7,31	54	57,79	0,02

⁽¹⁾Textura argilosa; ⁽²⁾SB – soma de bases; CTC – capacidade de troca catiônica; V – saturação por bases; m – saturação por alumínio.

Tabela 3. Propriedades físico-químicas do solo da área experimental (LATOSSOLO Vermelho-Amarelo Eutrófico). Itirapina/SP, 2015.

Camada (cm)	Composição Granulométrica ⁽¹⁾ (%)					M.O. (g/kg)	pH		
	Areia			Silte	Argila		CaCl2		
	Fina	Grossa	Total						
0 – 20	38	48	86	1	13	19,1	5,5		
20 – 40	44	40	84	2	14	17,2	5,5		
Análise Química(2)									
Camada (cm)	Cátions Trocáveis (mmolc dm ⁻³)						P resina (mg dm ⁻³)	Saturação (%)	
	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	SB	H+Al	CTC		V	m
0 – 20	0,17	2,08	0,72	2,97	40,51	5,00	21	59,49	0,03
20 – 50	0,16	1,62	0,56	2,34	41,23	3,98	14	58,77	0,04

⁽¹⁾Textura argilosa; ⁽²⁾SB – soma de bases; CTC – capacidade de troca catiônica; V – saturação por bases; m – saturação por alumínio.

Em cada experimento, o delineamento experimental adotado foi o de blocos ao acaso, com quatro repetições. Foram aplicadas cinco doses de cada herbicidas, proporcionais a ¼ D (25%), ½ D (50%), ¾ D (75%), D (100%) e 2D (200%) da dose comercial, além da testemunha sem aplicação (Tabela 4). Cada parcela contou com uma área de 24 m², sendo quatro metros de largura, por seis metros de comprimento.

Foram aplicados diferentes doses, inclusive inferiores à recomendação, para garantir a detecção de diferentes níveis de resíduos no solo simulando diferentes quantidades de resíduos em função do tempo e dosagem de aplicação anteriores.

Tabela 4. Variações das doses nos tratamentos dos herbicidas (g ha⁻¹) em relação a dose padrão, para os herbicidas. Itirapina/SP, 2016.

Tratamento (%) dose padrão	Dosagem aplicada (g ha ⁻¹)			
	Amicarbazone	Hexazinona	Sulfentrazone	Tebuthiuron
T1 - Testemunha	Testemunha sem aplicação de herbicidas			
T2 - 25%	262	56	187	300
T3 - 50%	525	112	375	600
T4 - 75%	787	168	562	900
T5 - 100%	1050	225	750	1200
T6 - 200%	2100	450	1500	2400

As aplicações foram realizadas em 21 e 22/09/2015, com auxílio de pulverizador costal pressurizado por CO₂, acoplado a barra com seis pontas de pulverização do tipo leque, modelo TTI 110.02, espaçadas em 0,5 m, com jato plano e indução a ar, calibrado para volume de calda correspondente a 200 L ha⁻¹ (Figura 3). Nos dias das aplicações, registraram-se temperaturas do ar de 24,1 °C e umidade relativa do ar de 54% para ensaio em solo arenoso e 29,5 °C e umidade relativa de 40% para ensaio em solo argiloso.

Intervalo que compreendeu entre a aplicação e coleta de solo e a semeadura das espécies, os experimentos foram mantidos sem infestação natural através de aplicações de glifosato na dose de 2.400 g ha⁻¹, através de pulverizadores modelo ULTRA 300 da marca ALMA® acoplados à tratores agrícolas modelo PUMA 140 da marca CASEIH®. Foram necessárias três aplicações para que solo permanecesse sem desenvolvimento de plantas infestantes presentes comuns aos locais destinados (Figura 4).

Figura 3. Aplicação do ensaio de resíduo, com uso de barra e pulverizador costal. Itirapina/SP, 2015.

Figura 4. Manutenção das áreas durante o período entre aplicação e a semeadura das espécies. Itirapina/SP, 2015.

3.1.2. Coleta e análise de solo

Nas áreas dos oito experimentos (quatro para cada solo), procederam-se amostragens de solo na camada de 0 a 25 cm de profundidade nas diferentes concentrações de herbicida aplicado, realizadas no dia 11 e 12 de Dezembro de 2015, após 82 dias da aplicação. Com auxílio de trados tipo sonda, com 3 cm de diâmetro, foram realizadas amostragens de solo, em um total de 5 amostras de solo (para uma amostra composta) em cada uma das parcelas dos experimentos (repetições), nos diferentes tratamentos testados (Figura 5).

Figura 5. Amostragem de solo, nas áreas de aplicação. Itirapina/SP, 2015.

Todas as amostras foram acondicionadas em caixas e congeladas. Posteriormente, foram encaminhadas ao laboratório na Universidade Estadual de São Paulo (UNESP), Campus de Botucatu, no Núcleo de Pesquisas Avançadas em Matologia (NUPAM), onde permaneceram congeladas até serem processadas.

3.1.3. Análises das amostras em HPCL

Inicialmente, foram determinados os teores de umidade do solo, por meio da pesagem de uma alíquota de solo antes e posteriormente à secagem em estufa de circulação forçada de ar por 48 horas a 60°C. Após o descongelamento das amostras de solo, foram retiradas quatro amostras compostas de 7 g de cada amostra de solo, que posteriormente passou por processo de secagem.

Para a extração dos herbicidas, cada alíquota de 7 g de cada amostra de solo foi acondicionada em cartuchos plásticos com volume total de 10 mL, contendo uma pastilha porosa para retenção de partículas de solo, acoplados a um compartimento para a coleta da solução. Cada amostra foi saturada com 2,5 mL de água deionizada. Após saturados, os solos permaneceram em repouso durante 24 horas, sobre frigeração (8 ± 3 °C). Posteriormente, as amostras foram centrifugadas em centrífuga Hettich Zentrifugen a 3270 G, a 25°C por 5 minutos. Em seguida, coletando-se toda a solução presente no coletor. Esta solução foi filtrada em seringas plásticas de 3,0 mL equipadas com filtro Millipore (com membrana de PVDF 0,45 µm e 13,0 mm diâmetro) e, posteriormente transferidas para frascos do tipo “vials”, de 2,0 mL, os quais foram lacrados e armazenados em freezer a (-20 °C) até o momento da quantificação dos herbicidas por cromatografia e espectrometria de massas (CARBONARI, 2009).

Para a quantificação dos herbicidas foi utilizado um sistema LC-MS/MS descrito por Gomes (2011), composto por um Cromatógrafo Líquido de Alta Eficiência (HPLC), Shimadzu, modelo Prominence UFLC. Equipado com duas bombas LC-20AD, injetor automático SIL-20AC, degazeificador DGU-20A5, com sistema

controlador CBM-20A e forno CTO-20AC. O HPLC foi acoplado ao espectrômetro de massas 3200 Q TRAP (Applied Biosystems), híbrido triplo quadruplo, que apresenta alta sensibilidade e reprodutibilidade, com baixo ruído e medição simultânea de vários compostos, bem como, mantém uma relação constante entre a intensidade do sinal (área do pico cromatográfico) e a concentração dos diferentes compostos expressa em unidades molares. Constituído por coluna de C18, marca Kinetex 2,6 μ 100Å, dimensões 50 x 2,1 mm e o volume de injeção foi de 20 μ L (Figura 7). As condições cromatográficas utilizadas para a quantificação dos herbicidas no modo de ionização positivo estão apresentadas na Tabela 4.

Tabela 5. Curva analítica e faixas de concentração para amicarbazone, hexazinona, sulfentrazone e tebuthiuron analisados.

Analitos	Dados de calibração		Intervalo linear ($\mu\text{g L}^{-1}$)
	Equação da reta	r^2	
Amicarbazone	$y = 6,31^{+004}x + 6,03^{+004}$	0,9964	0,78125 à 200
Hexazinona	$y = 2,98^{+004}x + 2,72^{+003}$	0,9982	0,78125 à 400
Sulfentrazone	$y = 2,2^{+003}x + 470$	0,9954	0,78125 à 200
Tebuthiuron	$y = 2,41^{+004}x + 9,88^{+003}$	0,9978	0,78125 à 400

Figura 6. Cromatógrafo Líquido (Prominence UFLC) acoplado ao espectrômetro de massas (3200 Q TRAP) – LC-MS/MS. Botucatu/SP, 2016.

Figura 7. Saturação dos solos nos cartuchos com água destilada para a extração da solução e o preparo das amostras para quantificação dos herbicidas por cromatografia. Botucatu/SP, 2016.

O modelo linear utilizado nas equações das curvas analíticas obtidas para os herbicidas ajustou-se perfeitamente para descrever o relacionamento entre a resposta do detector (y) e a concentração (x) do herbicida, com um alto coeficiente de correlação ($r^2 > 0,9954$). Desta forma, pode ser representada pela equação da regressão linear: $y = ax + b$, onde, b é a intersecção da curva analítica e a é a inclinação da reta. As curvas analíticas e as faixas de concentração para cada herbicida analisado estão representadas na Tabela 6.

Tabela 6. Condições cromatográficas utilizadas para quantificação dos herbicidas. Botucatu/SP, 2016.

Coluna Analítica	Kinetex 2,6 μ 100Å (50 x 2,1 mm)
Fase	Fase A água 0,5% ácido acético Fase B metanol 0,5% ácido acético
Gradiente	0 a 1 minutos: 70% Fase A e 30% Fase B 1 a 3 minutos: 5% Fase A e 95% Fase B 3 a 6 minutos: 5% Fase A e 95% Fase B 6 a 8 minutos: 70% Fase A e 30% Fase B 8 a 10 minutos: 70% Fase A e 30% Fase B
Fluxo	0,3 mL min ⁻¹

A detecção dos herbicidas pode ser observada pelas áreas de picos representadas nos cromatogramas, onde verificou-se uma boa resposta do detector. O tempo de retenção na coluna cromatográfica variou entre os diferentes herbicidas, sendo eles: amicarbazone (3,62 minutos); tebuthiuron (3,87 minutos); hexazinona (3,78 minutos); e sulfentrazone (3,90 minutos). As Figuras de 8 a 11 apresentam exemplos de cromatogramas dos herbicidas testados.

Figura 8. Cromatograma do amicarbazone com os respectivos fragmentos na concentração de $25 \mu\text{g mL}^{-1}$. Botucatu/SP, 2016.

Figura 9. Cromatograma do tebuthiuron com os respectivos fragmentos na concentração de $25 \mu\text{g mL}^{-1}$. Botucatu/SP, 2016.

Figura 10. Cromatograma do hexazinona com os respectivos fragmentos na concentração de $25 \mu\text{g mL}^{-1}$. Botucatu/SP, 2016.

Figura 11. Cromatograma do sulfentrazone com os respectivos fragmentos na concentração de $25 \mu\text{g mL}^{-1}$. Botucatu/SP, 2016.

Para entender a capacidade de dissipação do amicarbazone nos experimentos, foi calculado o K_d e K_{oc} para os dois solos testados, através da fórmula ($K_d = 0,411 \cdot K_{ow} \cdot \%MO$) e ($K_{oc} = 0,411 \cdot K_{ow}$) (KAROCKHOFF, 1981). Onde K_d (Coeficiente de sorção), K_{oc} (Coeficiente de sorção padronizado para carbono orgânico), K_{ow} (Coeficiente de partição octanol-água) e $\%MO$ (Porcentagem de matéria orgânica no solo).

3.1.4. Semeadura das espécies, condução e avaliações de biomassa

A semeadura dos experimentos foi realizada nos dias 14 e 15/12/2015 nas áreas onde foram aplicados os herbicidas e retiradas as amostras de solo, sendo novamente preparada com gradagem

intermediária até 10 cm de profundidade. As espécies estudadas neste trabalho foram: *Cajanus cajan*, *Canavalia ensiformis*, *Crotalaria juncea*, *Crotalaria ocrholeuca*, *Crotalaria spectabilis* e *Mucuna pruriens*.

Em cada experimento, o delineamento experimental adotado foi o de blocos ao acaso, com quatro repetições, sendo que os tratamentos foram alocados em campo. No âmbito das parcelas, foram considerados os herbicidas aplicados previamente, enquanto nas sub-parcelas foram consideradas as seis espécies de adubos verdes.

Cada parcela contou com área de 24 m², onde foram distribuídas seis linhas de semeadura de 6 m de comprimento (sub-parcelas), com 0,5 m de espaçamento entre linhas, respeitando o número de sementes por metro linear recomendada para cada espécie. As linhas de plantio foram marcadas com auxílio de plantadora modelo EXATA 3090 da marca JUMIL®.

Todos os experimentos foram conduzidos e capinados a cada 20 dias com auxílio de uma equipe de 10 pessoas, durante todo o período de condução (Figura 12).

Figura 12. Manutenção dos experimentos através de capina manual. Itirapina e Itacemópolis, 2016.

Foram realizadas avaliações visuais de controle percentual aos 15, 30, 45 e 60 dias após a semeadura (DAS) (não apresentadas neste trabalho) e massa fresca total das plantas aos 80 DAP. As avaliações de porcentagem de controle das espécies foram feitas por meio de escala variando de 0 a 100%, em que zero significa ausência de fitointoxicação e 100 % o controle total das espécies. A massa fresca das espécies foi obtida por meio da pesagem de todo o material colhido nos 3 m centrais da linha.

3.1.5. Pesagem da massa fresca total

As avaliações foram realizadas 80 dias após a semeadura, para avaliação de biomassa fresca, as plantas foram retiradas do centro da parcela, descartando as bordaduras, sendo avaliadas apenas as plantas dos três metros centrais. Foram arrancadas manualmente com raiz, com posteriormente retirada os resíduos de solo das raízes e imediatamente pesadas. Foram necessárias duas equipes de seis pessoas para fazer a biometria das parcelas nas duas fazendas onde os experimentos estavam instalados.

Figura 13. Pesagem da biomassa fresca das parcelas, com auxílio de balança digital. Itirapina/SP, 2015.

Os dados de massa fresca de cada espécie foram transformados para Kg ha^{-1} de massa fresca, para cada um dos níveis de herbicidas detectados no solo por meio das análises cromatográficas. A análise estatística dos dados foi realizada com a aplicação do teste F na análise da variância. As biomassas encontradas para cada nível de resíduos de cada herbicida, foram comparadas pelo teste de Tukey com 5% de significância. Desta maneira foram correlacionados com os dados de resíduos de herbicidas encontrados nas análises de solo para cada um dos herbicidas em cada solo testado.

3.2. Efeitos dos residuais de herbicidas na cultura da soja

Os experimentos foram desenvolvidos em área pertencente à Usina São Martinho S/A, sendo os quatro experimentos no município de Itacemópolis – SP, entre dezembro de 2015 e março de 2016. O solo utilizado foi classificado de LATOSSOLO Vermelho Distrófico (SANTOS et al., 2013), sendo instalados paralelamente aos experimentos anteriores, conforme citado anteriormente. De forma que as análises físicas e químicas estão apresentadas nas Tabelas 2 e 3. Os dados meteorológicos referentes ao local e período em que os experimentos estiveram em campo também estão apresentados nas Figura 1 e 2.

3.2.1. Semeadura da soja e condução do experimento

A semeadura dos experimentos foi realizada nos dias 08/12/2015 nas áreas onde foram aplicados os herbicidas e retiradas as amostras de solo, sendo previamente preparada com gradagem intermediária até 10 cm de profundidade. O cultivar estudada neste trabalho foi NA 5909 RG da empresa Nidera Sementes®, considerada como superprecoce, arquitetura alta, crescimento indeterminado e grupo de maturação 6:9.

Para os quatro experimentos (quatro herbicidas aplicados anteriormente), o delineamento experimental adotado foi o de blocos ao acaso, com quatro repetições, sendo que os tratamentos foram alocados em campo, sendo que no âmbito das parcelas, foram considerados os herbicidas aplicados previamente. Cada parcela contou com área de 24 m² (área aplicada anteriormente), onde foram distribuídas as duas linhas de semeadura de 6 m de comprimento, com 0,5 m de espaçamento entre linhas, respeitando o número de sementes por metro linear recomendada para o cultivar, de forma a estabelecer uma população equivalente à 400.000 plantas ha⁻¹.

A semeadura foi realizada com plantadora à vácuo, modelo EXATA 3090 da marca JUMIL®, com sementes e adubo apenas nas duas linhas determinadas, de forma que as outras linhas ficaram apenas como marcadores para direcionar a semeadura das espécies de adubos verdes. O adubo utilizado foi 07-34-12 na dose recomendada de 250 kg ha⁻¹ posicionados à 5 cm abaixo da linha de soja. As sementes foram tratadas com fipronil, tiametoxan e inoculante MASTERFIX® turfoso, como prevenção de pragas de início do estabelecimento.

O posicionamento das linhas de soja foram os mesmos para todas as parcelas, de forma que foram mantidas as mesmas espécies de adubos verdes nas linhas laterais, pois os experimentos foram conduzidos juntamente com os experimentos citados anteriormente. Todas as linhas foram mantidas limpas por meio de capina manual durante todo período de avaliação (Figura 14).

Figura 14. Manutenção das linhas, por meio de capina manual. Iracemápolis/SP, 2015.

3.2.2. Fitotoxicidade e pesagem da produção de grãos

Foram realizadas avaliações visuais de controle percentual aos 15, 30, 60 dias após a semeadura (DAS) e biomassa de grãos aos 98 DAP. As avaliações de porcentagem de controle das espécies foram feitas por meio de escala variando de 0 a 100%, em que zero significa ausência de fitointoxicação e 100 % o controle total

das espécies. Sendo demonstrado neste trabalho apenas os resultados de 30 DAP, que melhor representou os efeitos de fitotoxicidade na cultura.

Para avaliação de rendimentos de grãos, as avaliações foram realizadas 95 dias após a semeadura, de forma em que as plantas foram retiradas do centro das parcelas, descartando as bordaduras, sendo avaliado apenas as plantas dos 3 m centrais. Foram coletadas manualmente todas as vagens provenientes das plantas, com posteriormente retirada das grãos, sendo necessárias seis pessoas para fazer a coleta das parcelas onde os experimentos estavam instalados. Posteriormente as amostras foram pesadas com auxílio de balança digital modelo BK5002 da marca GEHAKA® e com medidor de umidade G800 da marca GEHAKA Agro® (Figura 15), pertencentes a Coopertiva dos Plantadores de Cana do Estado de São Paulo (COPLACANA).

Figura 15. Balança digital e medidor de umidade durante a pesagem dos grãos. Piracicaba/SP, 2016.

Os dados coletados dos grãos foram com 16% de umidade, que posteriormente foram transformados para 8% de umidade (valores mínimos para comercialização). Ainda, os dados de biomassa de grãos foram transformados para sc ha^{-1} (60 Kg sc^{-1}), como forma de comparação equivalente aos níveis conhecidos de produtividade.

A análise estatística dos dados foi realizada com a aplicação do teste F na análise da variância e comparadas pelo teste de Tukey com 5% de significância, para as notas de fitotoxicidade encontradas, bem como, para os dados de biomassa de grãos.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os efeitos dos resíduos analisados sobre as espécies de adubos verdes, estão apresentados no formato de histograma para melhor entendimento dos resultados. Para maior objetividade, foram demonstrados apenas os resultados de biomassa das seis espécies estudadas.

Por similaridade e especificidade de uso, as três espécies do gênero *Crotalaria* L. foram agrupadas nos mesmos gráficos, sendo atualmente as três espécies mais plantadas no sistema de rotação em cana-de-açúcar. As outras espécies (*C. cajan*, *C. ensiformis* e *M. pruriens*) agrupadas nos mesmos gráficos.

Os efeitos de fitotoxicidade e biomassa de grãos de soja estão apresentadas juntos para maior objetividade e melhor entendimento dos dados.

4.1. Resultados das análises e efeitos dos resíduos de amicarbazone

4.1.1. Análises de resíduos de amicarbazone

De forma geral, para os resultados com herbicida amicarbazone, as quantidades detectadas (μg i a Kg^{-1} solo) foram na ordem de 0,02% a 0,19% sobre o herbicida aplicado anteriormente. Para o experimento em solo arenoso, não houve diferenças para as quantidades detectadas, permanecendo cerca de 0,02% ($142,2 \mu\text{g}$ i a Kg^{-1} solo) a 0,04% ($40,9 \mu\text{g}$ i a Kg^{-1} solo) sobre o que foi aplicado anteriormente (Tabela 7). Já para solo argiloso, houve diferença entre os dados detectados de acordo com as quantidades aplicadas anteriormente, variando entre 0,14% ($559,4 \mu\text{g}$ i a Kg^{-1} solo) à 0,19% ($1.510,7 \mu\text{g}$ i a Kg^{-1} solo), respectivamente.

A natureza orgânica dos herbicidas e sua alta afinidade pela matéria orgânica, tornam o teor de carbono orgânico do solo o melhor parâmetro isolado para predizer o coeficiente de sorção padronizado para o carbono orgânico (Koc) (OLIVEIRA, 2001; CHRISTOFOLETTI; OJEVERO, 2005).

A sua adsorção ocorre por forças de Van der Waals e pontes de hidrogênio e como possui uma estrutura molecular com muitos átomos polares, possui baixa adsorção aos colóides dos solos, se tornando altamente móvel no solo, assim como outros herbicidas hidrofílicos. Já em solos que apresentam altos teores de argila e matéria orgânica, verifica-se maior adsorção e persistência de herbicidas, seguido por baixos índices de dessorção, lixiviação e degradação (LI et al., 2003; HAGER; NORDBY, 2004; SI et al., 2006).

Fato que pode ser explicado pelas condições onde os experimentos foram desenvolvidos, com argila, CTC e principalmente de MO do solo, além do período de precipitação registrado (Figuras 1 e 2). Desta maneira, utilizando a equação de Karickhoff (1981), para os solos estudados, com 2,21% de MO e 1,91% de MO, respectivamente (Tabelas 2 e 3), foi possível calcular K_d de 15,4, considerados muito baixo, proporcionando alta mobilidade no solo, além do Koc calculado de 7, para ambos os solos, considerado como muito baixo (SPADOTTO, 2002), o que determina potencial de lixiviação.

Tabela 7. Concentrações do herbicida amicarbazone ($\mu\text{g kg}^{-1}$ solo) encontradas nos tratamentos em função da dose aplicada aos 82 DAA em solo argiloso e solo arenoso na profundidade de 0 a 20 cm. Itirapina/SP, 2016.

Dosagem (g ha^{-1})	$\mu\text{g i a Kg}^{-1}$ solo			
	Solo argiloso		Solo arenoso	
	Analísado	% recuperado do total aplicado	Analísado	% recuperado do total aplicado
262	171,8 a	0,18%	40,9	0,04%
525	378,1 a	0,19%	80,7	0,04%
787	463,9 ab	0,16%	40,2	0,01%
1050	559,4 ab	0,14%	69,1	0,02%
2100	1510,7 b	0,19%	142,2	0,02%
F_{trat}	5,92*		0,65 ^{NS}	
CV%	34,68		114,46	

**Significativo à 1% de probabilidade; *Significativo à 5% de probabilidade; ^{NS} - Não significativo; Dados originais apresentados, porém previamente transformados por $\sqrt{x+1}$.

Nas análises de solo realizadas em solo argiloso, foram observadas quantidades de resíduo entre 8,7 vezes maior (dose de 25%) até 10,6 vezes maior (dose de 200%), quando comparado como solo arenoso. A lixiviação, neste caso, pode ser atenuada, quando relacionada com as precipitações observadas para estes dois experimentos, com dados de 450 mm de chuva para solo argiloso e 720 mm para solo arenoso, no período que compreendeu entre setembro à dezembro de 2015, o pode determinar uma menor lixiviação no experimento de solo argiloso.

Trabalhando com potencial de lixiviação do amicarbazone, Possamai et al. (2013), observaram que em solo arenoso com 90% de areia (NEOSSOLO quartzareno), com apenas 60 mm de chuva houve lixiviação e controle da planta teste (*Cucumis sativa*) até 30 cm de profundidade. No entanto, para solo argiloso com 43% de argila (LATOSSOLO vermelho), com 100 mm de chuva, houve lixiviação e controle da planta teste em no máximo 5 cm de solo.

Diversos autores citam que micro-organismos do solo podem utilizar os herbicidas como fonte de nutrientes e energia, ou mesmo, modificar a estrutura química do composto, sem obtenção de energia para o seu crescimento, num processo de co-metabolismo (MONTEIRO, 1996). Desta maneira, nas condições em que os experimentos foram conduzidos, com pH próximo da neutralidade, grandes volumes de precipitação e temperatura superior à 24°C na média, podem ter facilitado o desenvolvimento destes microrganismos capazes de degradação do herbicida estudado. Ainda, solos arenosos possuem maior porosidade, drenagem e aeração, que proporciona maior capacidade de degradação microbiana, pela aumento da atividade biológica em períodos de maior precipitação (REICHERT et al., 2009).

4.1.2. Efeitos dos resíduos de amicarbazone sobre espécies de adubos verdes

Na avaliação de biomassa, foi possível observar que, para todas as espécies, o herbicida amicarbazone reduziu a biomassa das espécies quando em maiores concentrações, principalmente quando os níveis no solo se encontravam com $1.500 \mu\text{g Kg solo}^{-1}$, detectado nas amostras do solo argiloso (Figura 16).

Para o ensaio em solo argiloso, a *C. juncea* foi a mais tolerante, enquanto que *C. spectabilis* e *C. ochroleuca* observaram-se reduções de 60% e 70% (respectivamente) aos níveis de resíduo mais altos

detectados neste experimento. Neste mesmo sentido, Braz et al. (2015) demonstraram em um estudo de seleção de herbicida para utilização em plantio de Crotalárias, sendo que *C. spectabilis* teve reduções em torno de 50%, quando aplicados 70 g ha⁻¹ após semeadura.

Entretanto, Malardo et al. (2014), trabalhando em casa de vegetação, observaram reduções de 97% de massa seca para *C. juncea*, quando aplicados 500 g ha⁻¹ de amicarbazone após semeadura. O que demonstra que o intervalo de tempo, pluviosidade, entre outros processos de dissipação, influenciam e auxiliam na prospecção da semeadura dessas espécies em áreas com histórico de aplicação de amicarbazone.

Para solo arenoso, as quantidades detectadas em análise não foram superiores à 142 µg Kg solo⁻¹ de amicarbazone no solo, o que explica a manutenção da biomassa das três espécies em todos os níveis de tratamento, não havendo reduções de biomassa para *C. juncea* e *C. spectabilis* (Figura 17). Já para *C. ochroleuca* a redução observada foi evidenciada apenas na maior concentração, em pequena proporção quando comparada com a área testemunha.

Figura 16. Massa fresca das espécies *C. juncea*, *C. spectabilis* e *C. ochroleuca* aos 80 DAP, em função das concentrações analisadas (µg Kg solo⁻¹) do herbicida amicarbazone, em solo argiloso. Iracemápolis/SP, 2016.

Já para o solo arenoso, não observou-se efeito de redução para todas as espécies, possivelmente em função do baixo nível de resíduo detectado no solo. Com redução de biomassa apenas para espécie *C. ochroleuca*, que teve sua biomassa reduzida a partir de 142 µg Kg solo⁻¹ (Figura 17).

Figura 17. Massa fresca das espécies *C. juncea*, *C. spectabilis* e *C. ochroleuca* aos 80 DAP, em função das concentrações analisadas ($\mu\text{g Kg solo}^{-1}$) do herbicida amicarbazone, em solo arenoso. Itirapina/SP, 2016.

Já para as espécies *C. cajan* e *C. ensiformis*, o herbicida amicarbazone não ocasionou efeitos de redução de massa fresca para os tratamentos com maiores níveis de concentração analisado, para os dois solos estudados, observando-se assim tolerância destas espécies à níveis próximos de $1.500 \mu\text{g Kg solo}^{-1}$ de amicarbazone no solo (Figura 18; Figura 19).

Diferentemente, a espécie *M. pruriens* foi altamente afetada pelos níveis de resíduo detectados no solo. O que indica susceptibilidade da espécie avaliada nas Figuras 18 e Figura 19, que teve redução de biomassa fresca, quando cultivada sobre as maiores concentrações do herbicida no solo. Sendo redução de 75% em solo argiloso, com níveis acima de $1.500 \mu\text{g Kg solo}^{-1}$ e redução de até 40%, quando níveis acima de $140 \mu\text{g Kg solo}^{-1}$. O que demonstra a sua similaridade com outras espécies do gênero *Mucuna*, que apresentaram susceptibilidade ao herbicida amicarbazone, com fitotoxicidades acima de 90% quando utilizado 1.360 g ha^{-1} (SILVA et al., 2012) e controles acima de 90% à partir de doses de 1.000 g ha^{-1} para espécie *M. aterrima* (CAMPOS et al., 2016).

Figura 18. Massa fresca das espécies *C. cajan*, *C. ensiformis* e *M. pruriens* aos 80 DAP, em função das concentrações analisadas ($\mu\text{g Kg solo}^{-1}$) do herbicida amicarbazone, em solo argiloso. Itacemópolis/SP, 2016.

Figura 19. Massa fresca das espécies *C. cajan*, *C. ensiformis* e *M. pruriens* aos 80 DAP, em função das concentrações analisadas ($\mu\text{g Kg solo}^{-1}$) do herbicida amicarbazone, em solo arenoso. Itirapina/SP, 2016.

Desta maneira, entende-se que, mesmo com as maiores doses utilizadas na cultura anterior da cana-de-açúcar, o período entre a última aplicação e a semeadura das espécies é determinante para o sucesso da adubação verde, uma vez que nas condições testadas, o amicarbazone não causou danos nas doses intermediárias. Seja pela quantidade encontrada na solução do solo no momento da semeadura ou pela tolerância natural das plantas em relação à este herbicida. Assim, aplicações realizadas na última soqueira (12

meses antes da semeadura) sendo utilizado não mais que 1.400 g ha⁻¹ para cultura da cana-de-açúcar, pode não afetar a produção e crescimento de biomassa das plantas testadas.

4.2. Resultados das análises e efeitos dos resíduos de hexazinona

4.2.1. Análises de resíduos de hexazinona

Para os dois locais estudados, o pH dos solos estão acima do pKa da molécula nas duas camadas analisadas, com pH variando de 5,4 a 5,0 no solo argiloso e pH de 5,5 nas duas camadas do solo arenoso (Tabela 2 e 3). Desta maneira, praticamente toda a hexazinona encontra-se na forma molecular, estando mais disponível na solução do solo, passível de lixiviação. Queiroz et al. (2009) estudando o potencial de lixiviação da hexazinona em área de recarga do aquífero Guarani em um LATOSSOLO Vermelho distrófico (LVd), que é representativo da área da Região de Ribeirão Preto/SP. Demonstram que a hexazinona possui potencial para contaminação de águas subterrâneas, recomendando que a mesma seja priorizada em programas de monitoramento ambiental a fim de garantir a qualidade e segurança das águas consumidas pela população desta região.

Para os resultados das análises, de forma geral, as quantidades detectadas (µg i a Kg⁻¹ solo) foram na ordem de 0,55% a 2,58% sobre o herbicida aplicado anteriormente. Não havendo diferenças significativas para as quantidades detectadas nos dois solos testados. As quantidades detectadas foram 535,9 µg i a Kg⁻¹ solo (2,58%) quando aplicados 56 g ha⁻¹ (25% da dose) até 1.308,2 µg i a Kg⁻¹ solo (0,78%) quando aplicados 450 g ha⁻¹ (200% da dose) no solo argiloso.

Já para o experimento em solo arenoso, as quantidades detectadas foram 273,8 µg i a Kg⁻¹ solo (1,31%) quando aplicados 56 g ha⁻¹ (25% da dose) até 930,2 µg i a Kg⁻¹ solo (0,55%) quando aplicados 450 g ha⁻¹ (200% da dose). Resultando em ambos os solos testados, uma relação inversa entre percentagem detectada, com relação à dosagem aplicada. O sugere um limite de capacidade de sorção do herbicida no solo após período de alta precipitação observado (Tabela 8).

Tabela 8. Concentrações do herbicida hexazinona (µg kg⁻¹ solo) encontradas nos tratamentos em função da dose aplicada aos 82 DAA em solo argiloso e solo arenoso na profundidade de 0 a 20 cm. Itacemópolis e Itirapina/SP, 2016.

Dosagem (g ha ⁻¹)	µg i a Kg ⁻¹ solo			
	Solo argiloso		Solo arenoso	
	Analisado	% recuperado do total aplicado	Analisado	% recuperado do total aplicado
56	535,9	2,58%	273,8	1,31%
112	990,0	2,38%	823,1	1,98%
168	1097,1	1,76%	870,7	1,39%
225	1091,8	1,31%	977,6	1,17%
450	1308,2	0,78%	930,2	0,55%
Ftrat	1,77 ^{NS}		0,72 ^{NS}	
CV%	23,38		71,69	

**Significativo à 1% de probabilidade; *Significativo à 5% de probabilidade; ^{NS} - Não significativo, Dados originais apresentados, porém previamente transformados por $\sqrt{x+1}$.

De acordo com as condições onde os experimentos foram desenvolvidos, com argila, CTC e MO do solo (Tabelas 2 e 3), além do período de precipitação registrado (Figuras 1 e 2). O potencial de lixiviação é considerado alto, devido a sua característica de solubilidade em água, o que pode favorecer sua lixiviação quando em períodos de altas precipitações (Campo JUNIOR; BRIGHENTI, 2011). Desta maneira, para ambos os solos, com 2,21% de MO e 1,91% de MO, respectivamente, foi possível calcular Kd de 10,2, considerado como muito baixo, proporcionando alta mobilidade no solo, além do Koc calculado de 4,6, considerados como muito fraco (SPADOTTO, 2002), o que pode explicar seu maior potencial de lixiviação.

Neste mesmo sentido, Dousset et al. (2004) observaram em casa de vegetação, que entre 2 e 11% do hexazinona aplicado foi lixiviado após 160 mm de chuva simulada aplicadas ao longo de 12 dias em colunas de solos (0-20 cm), com teores de argila variando entre 86 a 156 g kg⁻¹ e carbono orgânico de 0,98% a 3,4%. Também trabalhando com NEOSSOLO quartzareno (0,5% MO e 13,8% argila) e LATOSSOLO vermelho (1,8% MO e 55,4% argila), Mendes et al. (2013) observaram intensa lixiviação em solos arenosos onde o teor de MO é baixa.

No solo argiloso, a quantidade detectada foi superior ao solo arenoso, em menor proporção quando comparado com outros herbicidas. Neste mesmo sentido, Dias (2012), estudando a mobilidade da hexazinona em diferentes solos, observou que a variação da mobilidade se associa ao teor de argila mostrando que quanto maior o teor de argila dos solos, menor a mobilidade do herbicida. Quando a mobilidade da hexazinona foi associada a CTC e ao teor de argila, a mobilidade apresentou uma associação inversa com a CTC e com o teor de argila. Ou seja, quanto maior a CTC e maior o teor de argila de um solo, menor será a mobilidade da hexazinona, onde 86% da variação da mobilidade se associou ao teor de argila e CTC dos solos.

Outro fator importante para a dinâmica da hexazinona no solo, é a degradação do herbicida no ambiente, principalmente com os grandes volumes de precipitação registrados no período em que o experimento esteve em campo (Figura 1 e 2). Pois em outro trabalho, Rhodes (1980) determinando a degradação do hexazinona, onde os menores valores de meia-vida ocorreram nos solos com maiores teores de argila. Ainda neste sentido, Wauchope et al. (1992), observaram que a meia-vida do hexazinona variou de acordo com as condições ambientais de 1 a 6 meses, sendo a umidade do solo um importante fator para sua degradação.

Embora a meia vida dos herbicidas seja definida como tempo necessário para que ocorra dissipação de 50% da quantidade aplicada inicialmente, por outro lado serve de parâmetro para avaliar a permanência do herbicida no ambiente. A persistência de um herbicida no solo depende de diversos fatores como: teor de matéria orgânica, textura e pH do solo, atividade microbiana, radiação, temperatura e pluviosidade nos locais analisados (GUSTAFSON, 1989; SILVA et al., 2012).

Segundo os mesmos autores, essa característica de persistência depende da molécula do herbicida, da atividade dos processos químicos e biológicos responsáveis pela sua degradação, que influenciam diretamente o período de controle das plantas daninhas e a possibilidade de intoxicação de culturas em sucessão. Por isso, a meia-vida de um herbicida no solo precisa ser determinada para as diferentes condições de cultivo, ou seja, não se pode considerar uma meia-vida média para fazer simulações e previsões do comportamento do herbicida no solo.

4.2.2. Efeitos dos resíduos de hexazinona sobre espécies de adubos verdes

Mendes et al. (2013), utilizando o bioindicador pepino (*Cucumis sativus*) em estudo de movimentação da hexazinona, em NEOSSOLO Quartzarênico com 13,8 % de argila e 5 % de MO. Verificaram que o hexazinona, na dose de 0,37 kg ha⁻¹, apresentou movimentação vertical em todas as extensões das colunas de 30 cm, com simulações de 60 a 100 mm de precipitação. Ainda, os mesmos autores verificaram que mesmo na ausência de precipitação (0 mm), o hexazinona alcançou a profundidade de 15 cm.

A lixiviação do hexazinona pode estar relacionada à sua fraca sorção no solo, portanto com tem uma tendência de permanecer na solução disponível do solo (MENDES et al., 2013). Neste mesmo sentido, Garcia et al. (2012) observaram que o hexazinona, também em solo de textura arenosa, chegou a 17 cm de profundidade, com simulação de 40 mm de precipitação, causando 80% de controle em plântulas de corda-de-viola (*Ipomoea triloba*).

Nos resultados de campo, em solo argiloso, pode observar-se que para todas as espécies do gênero *Crotalaria* L. não houve redução da biomassa mesmo com as maiores concentrações (1.308 µg Kg solo⁻¹) detectadas nas amostras do solo argiloso (Figura 20). Essa constatação, possivelmente, pode ser consequência da lixiviação em ambientes com elevada precipitação, conforme os dados registrados no ensaio (Figura 1), uma vez que é um herbicida altamente solúvel em água (33.000 ppm) em 25°C (CELIS et al., 2002), característica que leva-o um grande potencial de lixiviação (WILKINS et al., 1993).

Figura 20. Massa fresca das espécies *C. juncea*, *C. spectabilis* e *C. ochroleuca* aos 80 DAP, em função das concentrações analisadas (µg Kg solo⁻¹) do herbicida hexazinona, em solo argiloso. Iracemápolis/SP, 2016.

Porém, para os resultados em solo arenoso, observou-se efeito de redução para as espécies *C. spectabilis* e *C. ochroleuca*, em função dos níveis de resíduos detectados no solo (Figura 21), que estavam próximos aos detectados em solo argiloso, com redução a partir de 930 µg Kg solo⁻¹. Como citado

anteriormente, as características do solo e registro de precipitação (Figura 2), possivelmente deixaram por mais tempo o herbicida disponível em solução de solo e consequentemente para absorção das plantas, causando fitointoxicação nas plantas, que resultou em redução de biomassa para estas duas espécies. Já para *C. juncea* não observou-se efeito de redução de biomassa, possivelmente pela sua tolerância natural ao herbicida testado, nas concentrações analisadas.

Segundo Carvalho et al. (2012), após precipitação acumulada superior a 80 mm, entre a aplicação dos herbicidas e a semeadura dos bioindicadores, constataram que a lixiviação pode ter contribuído para o arraste de moléculas de hexazinona para fora da zona de germinação e, portanto, para menor eficácia do produto, principalmente quando aplicação ocorreu meses antes das avaliações de germinação.

Figura 21. Massa fresca das espécies *C. juncea*, *C. spectabilis* e *C. ochroleuca* aos 80 DAP, em função das concentrações analisadas ($\mu\text{g Kg solo}^{-1}$) do herbicida hexazinona, em solo arenoso. Itirapina/SP, 2016.

Conforme observado nas Figuras 22 e 23, tanto para solo argiloso, com concentrações de no máximo $1.308 \mu\text{g Kg solo}^{-1}$, quanto para solo arenoso, com concentrações de até $930 \mu\text{g Kg solo}^{-1}$, o herbicida hexazinona também não ocasionou efeitos de redução de massa fresca em nenhum dos níveis de concentrações analisados.

Esses resultados podem ser explicados pela tolerância que algumas espécies podem ter sobre alguns herbicidas, sendo que enzimas que metabolizam herbicidas, pode garantir a tolerância de uma única planta à diversos herbicidas (OLIVEIRA JUNIOR; INOUE, 2016). Uma vez que as espécies *C. cajan* e *C. ensiformis*, podem ser utilizadas como plantas biorremediadoras de solos contaminados com herbicidas (PIRES et al., 2006; 2008). E ainda, conforme citado anteriormente, pela lixiviação das moléculas de hexazinona para fora da zona de germinação, principalmente com a precipitação registrada no local do ensaio (Figura 1 e 2).

Entretanto, para as avaliações com espécie *M. puriens*, os resultados observados em solo argiloso, o herbicida hexazinona ocasionou redução quando a concentração foi de $1.308 \mu\text{g Kg solo}^{-1}$ (Figura 22). Já para

solo arenoso, não observou-se efeito de redução para *M. pruriens*, o que deve ser explicado pelo nível concentração analisado, cerca de 30% menor (Figura 23), quando comparado com solo argiloso.

Figura 22. Massa fresca das espécies *C. cajan*, *C. ensiformis* e *M. pruriens* aos 80 DAP, em função das concentrações analisadas ($\mu\text{g Kg solo}^{-1}$) do herbicida haxazinona, em solo argiloso. Itacemápolis/SP, 2016.

Figura 23. Massa fresca das espécies *C. cajan*, *C. ensiformis* e *M. pruriens* aos 80 DAP, em função das concentrações analisadas ($\mu\text{g Kg solo}^{-1}$) do herbicida hexazinona, em solo arenoso. Itirapina/SP, 2016.

Assim pode-se atribuir que nas doses recomendadas para cultura da cana-de-açúcar e nas condições testadas sob alta precipitação e teores acima de 2,5% MO, o herbicida hexazinona não causou danos à

produção de biomassa para todas as espécies. Pelas características, possibilidade de lixiviação para fora da camada de solo onde ocorre germinação das plantas ou pela tolerância natural das plantas em relação à este herbicida. Desta forma, os efeitos de fitotoxicidade ou redução de biomassa, podem não ser observados para locais com aplicação em doses não superiores à 225 g ha^{-1} para cultura da cana-de-açúcar no ano antecedente à renovação.

4.3. Resultados das análises e efeitos dos resíduos de sulfentrazone

4.3.1. Análises de resíduos de sulfentrazone

Considerado um ácido fraco com valor de pKa de 6,56, o sulfentrazone, tem sorção baixa a intermediária no solo (NCBI, 2018). Assim, quando os valores de pH do solo são maiores do que os valores de pKa do herbicida ácido, os herbicidas permanecem predominantemente na forma aniônica, sendo repelidos por colóides de solo carregados negativamente. À medida que o pH do solo aumenta, concentrações crescentes de herbicidas ácidos fracos permanecem na solução do solo se tornando cada vez mais disponíveis para absorção pelas plantas e lixiviação no solo (CHRISTOFFOLETI; OJEVERO, 2005).

De forma geral, em ambos os solos, as quantidades detectadas ($\mu\text{g i a Kg}^{-1}$ solo) foram na ordem de 0,3% a 4,46% sobre o herbicida aplicado anteriormente. No caso do experimento em solo arenoso, não houve diferenças para as quantidades detectadas, permanecendo entre 0,13 a 0,73% sobre o que foi aplicado (Tabela 9). Já para solo argiloso, houve diferença significativa entre os dados detectados de acordo com as quantidades aplicadas anteriormente, variando entre 1,33 à 4,46%, respectivamente.

As quantidades detectadas foram $3.094,3 \mu\text{g i a Kg}^{-1}$ solo (4,46%) quando aplicados 187 g ha^{-1} (25% da dose) até $7.392,9 \mu\text{g i a Kg}^{-1}$ solo (1,33%) quando aplicados 1.500 g ha^{-1} (200% da dose) no solo argiloso, o que determina que quanto maior a dose, menor é a fração do herbicida retido no solo. Da mesma forma, para o experimento em solo arenoso, as quantidades detectadas foram inferiores, na ordem de $509,8 \mu\text{g i a Kg}^{-1}$ solo (0,73%) quando aplicado 187 g ha^{-1} (25% da dose) até $757,5 \mu\text{g i a Kg}^{-1}$ solo (0,13%) quando aplicados 1.500 g ha^{-1} (200% da dose). Assim como nos outros herbicidas, os limites detectados nas maiores doses foram menores na relação com dose aplicada, demonstrando que quanto maior a dose aplicada, maior será a fração do herbicida lixiviada para fora da camada principal de utilização do solo pelas plantas em crescimento (20 cm).

O sulfentrazone possui Kow de 63 e Koc médio de 43 mg g^{-1} de solo (PPDB, 2018), desta maneira, pode-se sugerir que a maior fração detectada no ambiente arenoso, pode estar associada a fração carbônica do solo (Tabela 3), além da maior aeração comum em solos arenoso, o que facilita o desenvolvimento de microrganismos capazes de degradar as moléculas de herbicida.

Tabela 9. Concentrações do herbicida sulfentrazone ($\mu\text{g kg}^{-1}$ solo) encontradas nos tratamentos em função da dose aplicada aos 82 DAA em solo argiloso e solo arenoso na profundidade de 0 a 20 cm. Itirapina/SP, 2016.

Dosagem (g ha ⁻¹)	µg i a Kg ⁻¹ solo				
	Solo argiloso		Solo arenoso		
	Analísado	% recuperado do total aplicado	Analísado	% recuperado do total aplicado	
187	3.094,3	a	4,46%	509,8	0,73%
375	3.098,6	a	2,23%	727,7	0,52%
562	4.995,0	a	2,39%	643,8	0,30%
750	5.029,3	a	1,81%	686,3	0,24%
1500	7.392,9	b	1,33%	757,5	0,13%
Ftrat	8,59**			0,23 ^{NS}	
CV%	13,48			28,24	

**Significativo à 1% de probabilidade; *Significativo à 5% de probabilidade; ^{NS} - Não significativo, Dados originais apresentados, porém previamente transformados por $\sqrt{x+1}$.

Ainda, o pH de ambos os solos estavam próximos da neutralidade, com 5,5 e 5,4 respectivamente, o que auxilia na manutenção do herbicida na solução do solo, o que facilita a lixiviação. Por exemplo, Gray et al. (1997, 2000) descobriram que a adsorção de sulfentrazone ao solo diminuiu quando o pH do solo aumentou, com as maiores reduções ocorrendo acima do pKa de sulfentrazone. Resultando em maiores concentrações de sulfentrazone que permanecem em solução e disponível para absorção. Os mesmos autores, concluíram que o comportamento de sulfentrazone no solo pode ser afetado pelo tipo de solo e pH, de forma que o pH seja, provavelmente é o mais importante dos dois fatores.

Aliado as estes fatores, o experimento foi conduzido com grandes volumes de precipitação entre o momento da aplicação e a data de coleta, com cerca da 450 mm para solo argiloso e 720 mm para solo arenoso, o que justifica a menor concentração analisada para solo de Itirapina. Segundo Ohmes et al. (2000), a dissipação do sulfentrazone está diretamente relacionada com a disponibilidade de água no solo, a qual pode favorecer a degradação da molécula ou mesmo lixiviá-la.

O conteúdo da matéria orgânica é geralmente o fator mais importante para os herbicidas com elevada capacidade adsorptiva, pois quanto maior, menor a lixiviação (SPRANKLE et al., 1975; MANDHUN et al., 1986; SENESI et al., 1994). A lixiviação pode ser ainda maior em solos de textura arenosa, quando comparados com solos siltosos ou argilosos (NICHOLLS, 1988). O mesmo, pode ter ocorrido com relação aos dois solos onde os experimentos foram conduzidos, com teores de argila de 51% e 14% (Tabelas 2 e 3), para argiloso e arenoso, respectivamente, na camada até 20 cm.

O que corrobora os resultados de Faustino et al. (2015) que estudando a mobilidade do sulfentrazone no solo em diferentes solos, observaram que para solo arenoso, que apresentava 5,1% de MO, a mobilidade o herbicida na coluna de solo foi inferior ao solo argiloso que continha apenas 2,4% de MO em sua constituição. Onde foi aplicado 1.000 g ha^{-1} , com simulação de chuva de 60 mm após 12 horas de aplicação, demonstrando assim que o herbicida sulfentrazone possui maior adsorção na porção orgânica do solo.

Ainda, alguns trabalhos demostraram que as argilas não contribuem significativamente no processo de adsorção de herbicidas ácidos pelos solos. Pois, os matérias de origem dos solos brasileiros, como a caulinita e os óxidos e hidróxidos de ferro e alumínio contribuem para a adsorção, uma vez que a carga superficial

destes minerais de argila é dependente do pH, e a adsorção é resultado da ligação iônica entre minerais e o ânion de herbicida (GREEN, 1974; LOUX et al., 1989).

4.3.2. Efeitos dos resíduos de sulfentrazone sobre espécies de adubos verdes

Registrado para as culturas de eucalipto, cana-de-açúcar e soja, possui elevada atividade no solo, podendo também exercer ação residual em sistemas rotacionais como algodão (OHMES et al., 2000). Em áreas tratadas com sulfentrazone, ocorrências de lesão no girassol tem sido mais frequentes e graves em solos com alto pH (acima de 7), baixo teor de matéria orgânica (menor que 1,5%), ou textura arenosa.

Devido ao sulfentrazone ser considerado um ácido fraco com valor de pKa de 6,56, assim, quando os valores de pH do solo são maiores do que os valores de pKa do herbicida ácido, os herbicidas existem predominantemente na forma aniônica, sendo repelidos por colóides de solo carregados negativamente. Portanto, à medida que o pH do solo aumenta, concentrações crescentes de herbicidas ácidos fracos permanecem na solução do solo se tornando cada vez mais disponíveis para absorção pelas plantas (THOMPSON et al., 1998).

No entanto, para os resultados obtidos neste experimento, não foram observados grandes reduções de biomassa das espécies estudadas. Para a avaliação de biomassa das espécies do gênero *Crotalaria* L. em solo argiloso, foi possível observar que o herbicida sulfentrazone reduziu a biomassa apenas da *C. spectabilis* à partir de 4.995 $\mu\text{g Kg solo}^{-1}$, enquanto que para *C. juncea* e *C. ochroleuca* não foram observadas reduções de biomassa, para todos os níveis de concentração (Figura 24).

Porém, comportamento diferente foi observado no solo arenoso (Figura 25), enquanto a maior concentração analisada ficou em torno de 757 $\mu\text{g Kg solo}^{-1}$, ocorrendo assim uma redução na massa fresca de *C. ochroleuca* nesta faixa de concentração. No entanto, não foram observadas reduções para *C. juncea* e *C. spectabilis* para todos os níveis de concentração detectados. Assim, também trabalhando com herbicidas na cultura do feijão (*Phaseolus vulgaris*), Cabuci et al. (2004) observaram seletividade de sulfentrazone para a cultura em solos arenosos, em doses de até 300 g ha^{-1} .

Figura 24. Massa fresca das espécies *C. juncea*, *C. spectabilis* e *C. ochroleuca* aos 80 DAP, em função das concentrações analisadas (µg Kg solo⁻¹) do herbicida sulfentrazone, em solo argiloso. Itacemópolis/SP, 2016.

Figura 25. Massa fresca das espécies *C. juncea*, *C. spectabilis* e *C. ochroleuca* aos 80 DAP, em função das concentrações analisadas (µg Kg solo⁻¹) do herbicida sulfentrazone, em solo arenoso. Itirapina/SP, 2016.

Nos ensaios com *C. cajan* e *C. ensiformis*, o herbicida sulfentrazone, assim como todos os outros herbicidas, não ocasionou efeitos de redução de massa fresca em nenhum dos níveis de concentrações analisados (Figura 26). Tanto para solo argiloso, com concentrações de no máximo 7.392 µg Kg solo⁻¹, quanto para solo arenoso, com concentrações de até 757 µg Kg solo⁻¹. Neste sentido, Maladão et al. (2016)

observaram características de tolerância da espécie *C. ensiformis*, quando obteve ótimos resultados na fitorremediação de solos contaminados com sulfentrazone.

Velini et al. (2005) verificaram que configurações da enzima PROTOX ou promotores que permitiriam diferentes níveis de expressão, podem permitir genótipos que sejam mais tolerantes aos herbicidas que atuam para a inibição dessa enzima. Desta forma, possivelmente, pode haver um mecanismo de tolerância da *C. ensiformis* ao sulfentrazone, podendo ocorrer degradação do herbicida em processos como compartimentalização ou metabolismo diferencial.

Algumas plantas que possuem tolerância a herbicidas móveis pelo floema como forma de não transportá-los, também possuem a capacidade de metabolizar o herbicida para uma forma inativa, evitando a fitotoxicidade. Outras plantas possuem a habilidade de destoxificar de um determinado herbicida, sendo que a maior parte das enzimas de plantas que metabolizam herbicidas, possuem uma faixa ampla de especificidade, que pode permitir uma única espécie metabolizar e destoxificar um grande número de diferentes herbicidas (OLIVEIRA JUNIOR; INOUE, 2011).

Para as avaliações com espécie *M. pruriens*, os resultados observados em solo argiloso, o sulfentrazone ocasionou redução quando as concentrações foram superiores a $5.000 \mu\text{g Kg solo}^{-1}$ (Figura 26). O que corrobora Bressanin et al. (2015) que observaram controles de até 69% do sulfentrazone aos 120 DAA, para *M. aterrima*, na dose de 1.200 g ha^{-1} . Da mesma forma que Campos et al. (2016), que obtiveram resultados próximos à 60% de controle, quando relacionados com a dose de 1.200 g ha^{-1} , através de curvas dose-respostas aplicados imediatamente após semeadura.

Já para solo arenoso, não se observou efeito de redução para *M. pruriens*, o que deve ser explicado pelo baixo nível concentração analisado, cerca de 10 vezes inferior, quando comparado com solo argiloso. Uma vez que em solos arenoso a dissipação do sulfentrazone é pronunciada, principalmente quando registrados elevados níveis de precipitação, que chegaram à 650 mm (Figura 2).

Neste mesmo sentido, trabalhando com sorgo (*Sorghum bicolor*) como planta-teste para avaliar a lixiviação do sulfentrazone em dois tipos de solo, submetidos a diferentes regimes pluviométricos, determinaram que sob precipitação de 90 mm o herbicida foi detectado até 12,5 cm de profundidade na coluna com solo NITOSSOLO Vermelho (ROSSI et al., 2003). O que remete à possibilidade de lixiviação do sulfentrazone no solo arenoso, determinando assim a redução nos efeitos supressivos do herbicida sobre as espécies testadas.

Figura 26. Massa fresca das espécies *C. cajan*, *C. ensiformis* e *M. pruriens* aos 80 DAP, em função das concentrações analisadas ($\mu\text{g Kg solo}^{-1}$) do herbicida sulfentrazone, em solo argiloso. Itacemópolis/SP, 2016.

Figura 27. Massa fresca das espécies *C. cajan*, *C. ensiformis* e *M. pruriens* aos 80 DAP, em função das concentrações analisadas ($\mu\text{g Kg solo}^{-1}$) do herbicida sulfentrazone, em solo arenoso. Itirapina/SP, 2016.

Entretanto, em resultados em pesquisa da persistência do sulfentrazone, Blanco (2002) observou que mesmo após 550 DAT, ocorreram redução das epígeas para planta teste beterraba (*Beta vulgaris*), com doses de $1,2 \text{ kg ha}^{-1}$. Diferentemente do que foi observado nestes ensaios, o que pode elucidar que as plantas testadas neste presente estudo carrega uma tolerância natural, quando submetida as doses normais de sulfentrazone.

Desta maneira, entende-se que, mesmo com as maiores doses utilizadas na cultura anterior da cana-de-açúcar, o período entre a última aplicação e a semeadura das espécies é determinante para o sucesso da adubação verde. Uma vez que nas condições testadas, o sulfentrazone não causou danos para a maioria das plantas, mesmo em condições de super-dosagens.

Seja pela quantidade encontrada na solução do solo no momento da semeadura ou pela tolerância natural das plantas em relação à este herbicida. Assim, aplicações realizadas na última soqueira (12 meses antes da semeadura), não deva afetar a produção e crescimento de biomassa para as plantas testadas.

4.4. Resultados das análises e efeitos dos resíduos de tebuthiuron

4.4.1. Análises de resíduos de tebuthiuron

De forma geral, em ambos os solos, as quantidades detectadas ($\mu\text{g i a Kg}^{-1}$ solo) foram na ordem de 0,23% a 5,58% sobre o herbicida aplicado anteriormente. No caso do experimento em solo arenoso, não houve diferenças para as quantidades detectadas, permanecendo cerca de 0,23 a 1,69% sobre o que foi aplicado (Tabela 10). Já para solo argiloso, houve diferença significativa entre os dados detectados de acordo com as quantidades aplicadas anteriormente, variando entre 1,69 à 5,58%, respectivamente.

As quantidades detectadas foram 6.196,1 $\mu\text{g i a Kg}^{-1}$ solo (5,58%) quando aplicados 300 g ha^{-1} (25% da dose) até 14.989,3 $\mu\text{g i a Kg}^{-1}$ solo (1,69%) quando aplicados 2.400 g ha^{-1} (200% da dose) no solo argiloso. Já para o experimento em solo arenoso, as quantidades detectadas foram 1.308 $\mu\text{g i a Kg}^{-1}$ solo (1,18%) quando aplicados 300 g ha^{-1} (25% da dose) até 2.060,7 $\mu\text{g i a Kg}^{-1}$ solo (0,23%) quando aplicados 2.400 g ha^{-1} (200% da dose). Resultando também em uma relação inversa entre percentagem detectada, com relação à dosagem aplicada. O que sugere um limite de capacidade de sorção do herbicida no solo após período de alta precipitação, onde o excedente pode sofrer maior potencial de lixiviação no solo.

Tabela 10. Concentrações do herbicida tebuthiuron ($\mu\text{g kg}^{-1}$ solo) encontradas nos tratamentos em função da dose aplicada aos 82 DAA em solo argiloso e solo arenoso na profundidade de 0 a 20 cm. Itacemópolis e Itirapina/SP, 2016.

Dosagem (g ha^{-1})	$\mu\text{g i a Kg}^{-1}$ solo			
	Solo argiloso		Solo arenoso	
	Analizado	% recuperado do total aplicado	Analizado	% recuperado do total aplicado
300	6.196,1 a	5,58%	1308	1,18%
600	5.734,3 a	2,58%	1.968,8	0,89%
900	9.010,7 ab	2,70%	1.926,2	0,58%
1200	10.403,6 ab	2,34%	2.170,5	0,49%
2400	14.989,3 b	1,69%	2.060,7	0,23%
Ftrat	6,78**		1,71 ^{NS}	
CV%	15,69		15,57	

**Significativo à 1% de probabilidade; *Significativo à 5% de probabilidade; ^{NS} - Não significativo, Dados originais apresentados, porém previamente transformados por $\sqrt{x+1}$.

Fato que pode ser explicado pelas condições onde os experimentos foram desenvolvidos, com argila, CTC e principalmente de MO do solo, além do período de precipitação registrado (Figuras 1 e 2). Apesar do

tebuthiuron possuir residual longo, permanecendo no solo por todo período chuvoso, devido a sua alta solubilidade em água, pode favorecer sua lixiviação quando em períodos de altas precipitações (OLIVEIRA JUNIOR; BRIGHENTI, 2011). Desta maneira, para os dois solos, com 2,21% de MO e 1,91% de MO, respectivamente argiloso e arenoso (Tabelas 2 e 3), foi possível calcular Kd de 614,1, considerados muito baixo, proporcionando alta mobilidade no solo, além do Koc calculado de 277,9, considerados como moderado (SPADOTTO, 2002), o que determina seu potencial de lixiviação.

Os coeficientes de dessorção (Kd) e coeficientes octanol/água (Koc) calculados, ajudam a explicar a maior percentagem do herbicida detectada nas análises, quando comparado com as quantidade aplicada inicialmente. O que demonstra que entre os herbicidas testados, o tebuthiuron foi o ativo com menor potencial de lixiviação, consequentemente, maior resíduo encontrado no solo.

Nas análises de solo realizadas em solo argiloso, foram observadas quantidades de resíduo entre 2,91 vezes maior (dose de 25%) até 7,22 vezes maior (dose de 200%), quando comparado como solo arenoso. O que corrobora com Gomes et al. (2006), que observaram o tebuthiuron no perfil do solo e compararam a lixiviação desse herbicida em um NEOSSOLO Quartzarênico, com um LATOSSOLO Vermelho, sendo detectado que a lixiviação no primeiro solo foi em média 6,7 vezes maior que no segundo.

A lixiviação, neste caso, pode ser ainda mais pronunciada, quando relacionada com as precipitações observadas para estes dois experimentos, com dados de 450 mm de chuva para solo argiloso e 720 mm para solo arenoso, no período que compreendeu entre setembro à dezembro de 2015.

Além do teor de matéria de orgânica, Oliveira Júnior et al. (2001) relatam que a CTC e argila também estão relacionadas à sorção de herbicidas não-iônicos e básicos nos solos brasileiros. Característica do solo que também influencia a constante de sorção de herbicidas é a qualidade de argila dos solos. Isto ocorre porque a superfície específica de ligação de um solo argiloso é maior que em solos mais arenosos por possuírem maiores quantidades de carga. O que, neste caso, pode explicar a diferença de quantidade detectada entre os dois solos, já que as constantes de Kd e Koc calculadas em função da M.O. do solo foram semelhantes. Deste modo, apesar do tebuthiuron ser um herbicida não-iônico ele pode possuir polaridade que vai interagir com os colóides do solo e com a matéria orgânica por interações de Van der Waals e pontes de hidrogênio (SILVA et al., 2007).

Desta maneira, nas condições em que os experimentos foram conduzidos, com pH próximo da neutralidade, grandes volumes de precipitação e temperatura superior à 24°C na média, podem ter facilitado o desenvolvimento destes microrganismos capazes de degradação do herbicida estudado. Ainda, solos arenosos possuem maior porosidade, drenagem e aeração, que proporciona maior capacidade de degradação microbiana, pela aumento da atividade biológica em períodos de maior precipitação (REICHERT et al., 2009).

4.4.2. Efeitos dos resíduos de tebuthiuron sobre espécies de adubos verdes

Blanco e Oliveira (1987) avaliaram a persistência de tebuthiuron aplicado em LATOSSOLO Vermelho Amarelo na dosagem de 1,2 kg ha⁻¹, na cultura de cana-de-açúcar, utilizando aveia (*Avena sativa*) como planta-teste. Também verificaram que o produto apresentou persistência na camada superficial (0-10 cm), até 11

meses após sua aplicação no primeiro ano e de até 14 meses no segundo ano. Assim como outros estudos que determinaram persistência de 15 a 25 meses (MEYER; BOVEY, 1988) e até mesmo de 7,2 anos (EMMERICH et al., 1984), podendo intoxicar culturas sensíveis cultivadas em sucessão à cana-de-açúcar.

Estudos de biorremediação de solos contaminados com tebuthiuron, utilizando a *C. juncea* como planta indicadora, observaram que na testemunha, onde não teve outras plantas entre a aplicação e o plantio da espécie, houve efeito de fitotoxicidade de até 95% para doses superiores à $1,0 \text{ kg ha}^{-1}$ (PIRES et al, 2008). Demonstrando que em determinadas situações ocorrem os efeitos sobre plantas utilizadas em rotação.

Desta forma, para ensaio em solo argiloso, foi possível observar que para todas as espécies houve redução da biomassa nas maiores concentrações, principalmente quando os níveis no solo se encontravam com $14.989 \mu\text{g Kg solo}^{-1}$, detectado nas amostras do solo argiloso (Figura 28). Já para o solo arenoso, não observou-se efeito de redução para todas as plantas, possivelmente em função do baixo nível de resíduo detectado no solo (Figura 29).

Figura 28. Massa fresca das espécies *C. juncea*, *C. spectabilis* e *C. ochroleuca* aos 80 DAP, em função das concentrações analisadas ($\mu\text{g Kg solo}^{-1}$) do herbicida tebuthiuron, em solo argiloso. Iracemópolis/SP, 2016.

A espécie *C. juncea* foi tolerante aos mais altos níveis de concentração encontrados, enquanto que para *C. spectabilis* observaram-se grandes reduções de biomassa, sendo *C. ochroleuca* a espécie mais susceptível aos níveis de resíduo mais altos detectados neste experimento, demonstrando grandes reduções de sua biomassa nas maiores concentrações. Embora tenha sido observado que *C. spectabilis* e *C. ochroleuca* tiveram maior sensibilidade ao herbicida tebuthiuron, quando comparadas à espécie *C. juncea*. Somente observaram-se reduções quando as concentrações analisadas foram superiores à $10.000 \mu\text{g Kg solo}^{-1}$.

Para solo arenoso, as quantidades detectadas em análise não foram superiores à $2.060 \mu\text{g Kg solo}^{-1}$ de tebuthiuron no solo, o que explica a manutenção da biomassa das três espécies em todos os níveis de tratamento, não havendo reduções de biomassa para *C. juncea* e *C. spectabilis*. Já para *C. ochroleuca* uma

pequena redução foi evidenciada apenas na maior concentração, em pequena proporção quando comparada com a área testemunha.

Figura 29. Massa fresca das espécies *C. juncea*, *C. spectabilis* e *C. ochroleuca* aos 80 DAP, em função das concentrações analisadas ($\mu\text{g Kg solo}^{-1}$) do herbicida tebuthiuron, em solo arenoso. Itirapina/SP, 2016.

Já para *C. cajan* e *C. ensiformis*, o herbicida tebuthiuron não ocasionou efeitos de redução de massa fresca para os tratamentos com maiores níveis de concentração analisado (Figura 30). O que corrobora com dados de Pires et al. (2008), que avaliando plantas potencias para fitorremediação de solos contaminados com diferentes níveis de tebuthiuron, verificaram os melhores desempenhos para as espécies *C. cajan* e *C. ensiformis*. Sendo indicadas para fitorremediação de solos que receberam até $1,0 \text{ kg ha}^{-1}$ de tebuthiuron, aplicados um dia antes da semeadura das espécies. Neste mesmo trabalho, a espécie *M. aterrima* teve desempenho intermediário, sendo indicada para fitorremediação de solos contaminados com baixos níveis de tebuthiuron (máximo $0,5 \text{ kg ha}^{-1}$). O que explica a tolerância intermediária da espécie *M. pruriens* avaliada na Figura 30, que teve redução de biomassa fresca, quando cultivada sobre as maiores concentrações do herbicida no solo.

Figura 30. Massa fresca das espécies *C. cajan*, *C. ensiformis* e *M. pruriens* aos 80 DAP, em função das concentrações analisadas ($\mu\text{g Kg solo}^{-1}$) do herbicida tebuthiuron, em solo argiloso. Itacemópolis/SP, 2016.

Entretanto, para solo arenoso não se observou efeito de redução para as três espécies testadas (Figura 31), o que determina que para estas condições e quantidades analisadas de tebuthiuron no solo, não foram suficientes para causar danos à produção de biomassa para as espécies *C. cajan*, *C. ensiformis* e *M. pruriens*. Além da tolerância natural das espécies que já foram testadas com sucesso, como método biológico de fitorremediação de solos contaminados com tebuthiuron (PIRES et al., 2006).

Figura 31. Massa fresca das espécies *C. cajan*, *C. ensiformis* e *M. pruriens* aos 80 DAP, em função das concentrações analisadas ($\mu\text{g Kg solo}^{-1}$) do herbicida tebuthiuron, em solo arenoso. Itirapina/SP, 2016.

Desta maneira entende-se que, com as doses recomendadas na cultura da cana-de-açúcar, o período entre a última aplicação e a semeadura das espécies pode ser determinante para o sucesso da adubação verde, uma vez que nas condições testadas de alta precipitação e teores de MO, o tebuthiuron não causou danos à produção de biomassa. Seja pela quantidade encontrada na solução do solo no momento da semeadura ou pela tolerância natural das plantas em relação à este herbicida, sendo atualmente utilizado não mais que 1.400 g ha⁻¹ para cultura da cana-de-açúcar no ano antecedente à renovação.

4.5. Efeito dos resíduos dos herbicidas estudados sobre a cultura da soja

Na agricultura, o solo é o destino final dos produtos químicos usados, sejam eles herbicidas, fungicidas ou inseticidas, aplicados diretamente no solo ou aplicados na parte aérea das plantas. Ao entrarem em contato com o solo, os herbicidas estão sujeitos a processos físico-químicos que regulam seu destino no ambiente. (MANCUSO et al., 2011). Assim, o potencial de carryover está em função do herbicida utilizado, da modalidade de aplicação, da cultura em sucessão e das condições ambientais após à aplicação da herbicida (OLIVEIRA JUNIOR, 2002).

Segundo Carrati et al. (2014), foi necessário intervalo superior à 18 dias entre a aplicação da atrazine, na dose de 3,25 kg ha⁻¹ em LATOSSOLO Vermelho distroférico típico e a semeadura da soja, Cv. Nidera 5909, para não comprometer a produtividade de grãos, bem como a qualidade fisiológica das sementes. Desta maneira, poucos trabalhos foram realizados sobre efeitos de herbicidas residuais oriundos da cana-de-açúcar sobre a cultura da soja, pela baixa utilização da cultura nos sistemas de rotação durante as reformas dos canaviais.

Para o ensaio com amicarbazone, foram observados efeitos de fitotoxicidade nas plantas aos 30 DAP apenas para os tratamentos com resíduo acima de 1.050 µg Kg solo⁻¹, sendo que a maior fitotoxicidade observada ocorreu nos tratamentos com 1.530 µg Kg solo⁻¹ detectado em análises (Tabela 11). Também trabalhando com cv. Nidera 5909, Carrati et al. (2014) observaram fitotoxicidade em plântulas de soja para outro herbicida inibidor de fotossistema II (atrazina) aos 54 DAA.

Os efeitos causados sobre a fisiologia da planta, podem alterar principalmente os rendimentos, desta forma, para as avaliações de rendimentos de grãos, os efeitos foram mais agressivos sobre produtividade (sc ha⁻¹), quando em relação aos efeitos de fitotoxicidade. Para os tratamentos com 1.050 µg Kg solo⁻¹, a fitotoxicidade avaliada foi de 12%, enquanto para os rendimentos, a redução foi superior à 50%, com queda de 39,4 sc ha⁻¹, para 19,3 sc ha⁻¹ (Tabela 12). Já para o tratamento com 1.530 µg Kg solo⁻¹ de resíduo, a fitotoxicidade avaliada foi de 40% (Tabela 11), enquanto a redução do rendimento observado foi superior à 80%, com 6,6 sc ha⁻¹ (Tabela 12).

Para tratamento com aplicação de 1.050 g ha⁻¹ e resíduo analisado de 950 µg Kg solo⁻¹ não houve redução de produtividade, bem como fitotoxicidade nas fases iniciais de desenvolvimento. Possivelmente os 82 dias após a aplicação dos herbicidas, foi suficiente para que parte das moléculas de herbicidas no solo tenham sido degradadas por diferentes fatores do meio (microrganismos, luz, temperatura, etc.) e a quantidade restante não tenha sido suficiente para causar danos aos atributos estudados. Ou ainda por consequência da

lixiviação em ambientes com elevada precipitação, conforme os dados registrados no ensaio (Figura 1) e pelas condições onde os experimentos foram desenvolvidos, com argila, CTC e principalmente de MO do solo (Tabelas 2 e 3).

Diferentemente, Alonso et al. (2011), avaliando efeitos de herbicidas sobre plantas de soja, observaram que o amicarbazone, na dose (420 g ha^{-1}) foi o único herbicida avaliado para a cultura da soja que promoveu morte de plantas, chegando a causar redução total do estande para semeadura realizadas à 60 DAA em solo argiloso. Também concluíram que a utilização do amicarbazone em doses superiores à 420 g ha^{-1} de inviabiliza a semeadura de soja por períodos de pelo menos 120 DAA, independente da textura do solo.

Apesar da dose de 420 g ha^{-1} ter demonstrado um efeito de carryover prolongado para a soja no trabalho de Alonso et al. (2011). Outros resultados de trabalhos sugerem que doses entre 210 e 280 g ha^{-1} de amicarbazone aplicadas no manejo outonal podem ser mais seletivas a soja semeada posteriormente e talvez possam apresentar potencial de utilização nesta modalidade (RODRIGUES; ALMEIDA, 2011).

Com os dados obtidos, quando observados de maneira conjunta, os fatores de solo e precipitação podem determinar o potencial de lixiviação do amicarbazone. O que demonstra que o intervalo de tempo, pluviosidade, entre outros processos de dissipação, influenciam e auxiliam na prospecção do plantio da soja em áreas com histórico de aplicação de amicarbazone.

No ensaio com herbicida hexazinona, foram observados efeitos de fitotoxicidade nas plantas aos 15 DAP apenas para os tratamentos com resíduo acima de $2.560 \mu\text{g Kg solo}^{-1}$, sendo que a maior fitotoxicidade observada ocorreu com $3.450 \mu\text{g Kg solo}^{-1}$ (Tabela 11). Para os tratamentos com $2.560 \mu\text{g Kg solo}^{-1}$, a fitotoxicidade avaliada foi de apenas 6%, enquanto que para os rendimentos, não houve redução (Tabela 12). Já para o tratamento com $3.450 \mu\text{g Kg solo}^{-1}$ de resíduo, a fitotoxicidade avaliada foi de 15% (Tabela 11), enquanto que o rendimento observado foi 18% menor, com $34,8 \text{ sc ha}^{-1}$, não havendo diferença significativa (Tabela 12). O sugere que a apesar das avaliações visuais de fitotoxicidade aparente, os efeitos sobre fisiologia e consequentemente sobre a produtividade são maiores do que aqueles observados apenas nas fases iniciais de desenvolvimento da cultura, sendo que as plantas estavam em V3 no momento das avaliações de fitotoxicidade.

Tabela 11. Fitotoxicidade de soja cv. Nidera 5909, em função dos resíduos de solo dos tratamentos aplicados, para os herbicidas amicarbazone e hexazinona aos 30 DAP. Iracemópolis/SP, 2016.

Tratamento (%) Dose padrão	Amicarbazone		Hexazinona	
	Resíduo $\mu\text{g i a kg}^{-1}$ solo	Fitotoxicidade	Resíduo $\mu\text{g i a kg}^{-1}$ solo	Fitotoxicidade
0%	0	0 a	0	0 a
25%	171,8	0 a	535,9	0 a
50%	378,1	0 a	990,0	0 a
75%	463,9	0 a	1097,1	0 a
100%	559,9	12 b	1091,8	6 a
200%	1.510,7	40 c	1308,2	15 b
Ftrat	108,87**		17,12**	
CV%	33,54		83,25	
DMS	6,74		6,82	

¹ Delineamento em blocos ao acaso; **Significativo à 1% de probabilidade; *Significativo à 5% de probabilidade; ^{NS} - Não significativo.

Tabela 12. Rendimento de soja transformados (sc ha⁻¹) em função dos resíduos de solo dos tratamentos aplicados, para os herbicidas testados. Iracemápolis/SP, 2016.

Tratamento (%) Dose padrão	Amicarbazone			Hexazinona	
	Resíduo µg i a kg ⁻¹ solo	Rendimento sc ha ⁻¹		Resíduo µg i a kg ⁻¹ solo	Rendimento sc ha ⁻¹
0%	0	39,4	a	0	42,8
25%	171,8	41,9	a	535,9	40,8
50%	378,1	41,3	a	990,0	43,4
75%	463,9	42,1	a	1097,1	40,4
100%	559,9	19,3	b	1091,8	39,8
200%	1.510,7	6,6	c	1308,2	34,8
Ftrat		62,56*			2,26 ^{NS}
CV%		12,06			8,02
DMS		8,81			9,28

¹Delineamento em blocos ao acaso; **Significativo à 1% de probabilidade; *Significativo à 5% de probabilidade; ^{NS} - Não significativo.

Em áreas tratadas com sulfentrazone, foram observados efeitos de fitotoxicidade nas plantas aos 30 DAP apenas para os tratamentos com resíduo acima de 3.120 µg Kg solo⁻¹, sendo que a maior fitotoxicidade observada ocorreu com 3.560 µg Kg solo⁻¹ (Tabela 13). Para os tratamentos com 3.120 µg Kg solo⁻¹, a fitotoxicidade avaliada foi de 20%, enquanto que para os rendimentos, houve redução de 6%, permanecendo com 43,9 sc ha⁻¹, não sendo significativo (Tabela 14). Já para o tratamento com 3.560 µg Kg solo⁻¹ de resíduo, a fitotoxicidade avaliada foi de 42% (Tabela 13), enquanto que a redução do rendimento observado foi de 28%, permanecendo com 33,7 sc ha⁻¹ (Tabela 14).

No entanto, não foi observado reduções cv. Nidera 5909, para os níveis de concentração detectados abaixo de 3.000 µg Kg solo⁻¹. Trabalhando com outra leguminosa, Cabuci et al (2004), estudaram alguns herbicidas na cultura do feijão (*Phaseolus vulgaris*), também concluíram que houve seletividade de sulfentrazone para a cultura em solos arenosos, em doses de até 300 g ha⁻¹. Assim como, Carbonari et al. (2003) que avaliando os efeitos do herbicida sulfentrazone, em feijão (*Phaseolus vulgaris* L.), também não observaram reduções na germinação das sementes utilizadas.

Demonstrando que para herbicida sulfentrazone, os resultados de fitotoxicidade não causam reduções de produtividade nas mesmas proporções, uma vez que, outros resultados de trabalhos sugerem que doses entre 200 e 600 g ha⁻¹ de sulfentrazone aplicadas no manejo de gramíneas, podem ser mais seletivas a soja semeada posteriormente e apresentam utilização nesta modalidade (RODRIGUES; ALMEIDA, 2011). Assim, nas doses comerciais, após 82 DAA, a quantidade restante de herbicida no solo não tenha sido suficiente para causar danos aos atributos de produtividade. Seja pela lixiviação em consequência da elevada precipitação, ou pelas condições onde os experimentos foram desenvolvidos, com argila, CTC e principalmente de MO do solo.

Para ensaio de tebuthiuron, foram observados efeitos de fitotoxicidade nas plantas aos 30 DAP apenas para os tratamentos com resíduo acima de 7.560 µg Kg solo⁻¹, sendo que a maior fitotoxicidade observada ocorreu com 14.920 µg Kg solo⁻¹. Para os tratamentos com 7.560 µg Kg solo⁻¹, a fitotoxicidade avaliada foi de 35%, enquanto que para os rendimentos, houve redução de 40%, permanecendo com 26,9 sc ha⁻¹. Já para o tratamento com 10.230 µg Kg solo⁻¹ de resíduo, a fitotoxicidade avaliada foi de 57%, enquanto para o rendimento observado, ocorreu redução de 80%, permanecendo com 6,8 sc ha⁻¹. E finalmente, para o tratamento com

14.920 $\mu\text{g Kg solo}^{-1}$ de resíduo, os dados de fitotoxicidade foram de 98%, inviabilizando o crescimento e desenvolvimento de todas os estágios de reprodução (Tabelas 13 e 14).

Em trabalho avaliando efeito de fitorremediação de solos contaminados com tebuthiuron em solo com 30% de argila, Belo et al. (2007), observaram redução de altura de plantas de soja, na ordem de 66% para os tratamentos que não receberam fitorredutores.

Tabela 13. Fitotoxicidade de soja cv. Nidera 5909, em função dos resíduos de solo dos tratamentos aplicados, para os herbicidas sulfentrazone e tebuthiuron aos 30 DAP. Iracemápolis/SP, 2016.

Tratamento (%) Dose padrão	Sulfentrazone		Tebuthiuron	
	Resíduo $\mu\text{g i a kg}^{-1}$ solo	Fitotoxicidade	Resíduo $\mu\text{g i a kg}^{-1}$ solo	Fitotoxicidade
0%	0	0 a	0	0 a
25%	3.094,3	0 a	6.196,6	0 a
50%	3.098,6	0 a	5.734,3	0 a
75%	4.095,0	0 a	9.010,7	35 b
100%	5.029,3	11 b	10.403,6	57 c
200%	7.392,9	35 c	14.989,3	98 d
Ftrat	57,60**		304,16**	
CV%	48,23		14,55	
DMS	8,54		10,64	

¹Delineamento em blocos ao acaso; **Significativo à 1% de probabilidade; *Significativo à 5% de probabilidade; ^{NS} - Não significativo.

Devido ao herbicida tebuthiuron possuir solubilidade em água de 2500 ppm, Kow de 63 e Koc médio de 80 mg g^{-1} de solo. Pode ser adsorvido pelos colóides orgânicos e minerais, resultando em média lixiviação no perfil do solo (RODRIGUES; ALMEIDA, 2011). Pelas características do herbicida, juntamente com os dados climatológicos observados durante os experimentos, que pode ter aumentado o potencial de lixiviação, liberando mais ativo na solução de solo e consequentemente mais herbicida para absorção por plantas, como as do presente trabalho.

Tabela 14. Rendimento de soja transformados (sc ha^{-1}) em função dos resíduos de solo dos tratamentos aplicados, para os herbicidas testados. Iracemápolis/SP, 2016.

Tratamento (%) Dose padrão	Sulfentrazone			Tebuthiuron		
	Resíduo $\mu\text{g i a kg}^{-1}$ solo	Rendimento sc ha^{-1}		Resíduo $\mu\text{g i a kg}^{-1}$ solo	Rendimento sc ha^{-1}	
0%	0	47,0	a	0	45,0	a
25%	3.094,3	51,9	a	6.196,6	39,9	a
50%	3.098,6	47,9	a	5.734,3	42,5	ab
75%	4.095,0	43,7	ab	9.010,7	26,9	b
100%	5.029,3	43,9	ab	10.403,6	6,8	c
200%	7.392,9	33,7	b	14.989,3	0,0	c
Ftrat	6,01*			40,52**		
CV%	10,85			22,62		
DMS	11,10			13,94		

¹Delineamento em blocos ao acaso; **Significativo à 1% de probabilidade; *Significativo à 5% de probabilidade; ^{NS} - Não significativo.

Desta maneira, quando observados de maneira conjunta, características de solo, precipitação e temperatura podem determinar o potencial de lixiviação do tebuthiuron ou degradação do herbicida. O que demonstra que o intervalo de tempo, pluviosidade, entre outros processos de dissipação, influenciam e

auxiliam na prospecção do plantio da soja em áreas com histórico de aplicação de tebuthiuron. Não sendo recomendado o plantio de soja em áreas que receberam tebuthiuron nos últimos 12 meses, uma vez, para cultura da soja é essencial que tenha-se produtividade para custear os investimento necessários.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Considerando as condições em que os experimentos foram conduzidos, bem como, com base nos dados obtidos, foi possível concluir que a maioria das espécies de adubos verdes estudadas, não sofrem grandes reduções de biomassa quando plantadas em solos com até 500 $\mu\text{g i a Kg solo}^{-1}$ de amicarbazone e até 900 $\mu\text{g i a Kg solo}^{-1}$ de hexazinona. Já para sulfentrazone até 5.000 $\mu\text{g i a Kg solo}^{-1}$ não alteram as produções de biomassas em solo argiloso, enquanto para solos arenoso os limites são até 700 $\mu\text{g i a Kg solo}^{-1}$ para a espécie *C. ochroleuca*.

Entre todos os herbicidas, o tebuthiuron ocasiona a maior redução de biomassa quando os limites de resíduos nos solo são superiores à 10.000 $\mu\text{g i a Kg solo}^{-1}$. O que podemos considerar que, aplicações ocorridas na ultima soqueira antecedente à reforma (acima de 12 meses) não interferem na produção de biomassa destas espécies de adubos verdes, uma vez que tal concentração foi obtida depois de 82 dias, 450 mm de chuva e 1.200 g i a ha^{-1} .

Entre os adubos verdes, *C. spectabilis* e *C. ochroleuca* são as espécies com maiores índices de redução para os herbicidas amicarbazone, hexazinona e tebuthiuron nas maiores concentrações, sendo *C. ochroleuca* a espécie mais sensível dentre todas. Já as espécies *C. cajan* e *C. ensiformis* foram as mais tolerantes à maioria dos herbicidas testados. Sendo *C. juncea*, a espécie do gênero *Crotalariaeae* com maior tolerância às concentrações detectadas.

Para a cultura da soja, cv. Nidera 5909 o herbicida amicarbazone pode causar redução de produtividade apenas quando concentrações forem superiores à 460 $\mu\text{g i a Kg solo}^{-1}$. Os herbicidas sulfentrazone e tebuthiuron podem causar reduções de produtividade, quando as concentrações forem superior à 5.000 $\mu\text{g i a Kg solo}^{-1}$, para ambos os herbicidas. Sendo que o tebuthiuron é o herbicida mais agressivo, quando os limites de concentrações ultrapassam 5.000 $\mu\text{g i a Kg solo}^{-1}$.

O período que compreende entre a última aplicação do herbicida e o plantio das espécies, bem como a precipitação no local e as características dos solos são fatores fundamentais para o sucesso do manejo de adubação verde, devendo ser considerados no planejamento de adubação verde ou rotação de cultura, bem como na reforma do canavial. Todos os adubos verdes testados tem potencial de utilização, sem redução de biomassa, para áreas tratadas com os herbicidas testados no ano anterior à reforma dos canaviais. Sendo que para a cultura da soja, deve-se ter maior cuidado e conhecimento dos resíduos nos solos e do período entre aplicação e a semeadura.

REFERÊNCIAS

- Akobundu IO (1987) **Weed Science in the Tropics: principles and practices**. New York, EUA: John Wiley & Sons, 522p.
- Alcântara FA, Furtini Neto AE, Paula MB, Mesquita HA, Muniz JA (2000) Adubação verde na recuperação da fertilidade de um latossolo vermelho-escuro degradado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, 35:277-288
- Alcantara PB, Bufarah G (1992) **Plantas forrageiras: gramíneas e leguminosas**. São Paulo: Prol, 162p.
- Almeida FS (1988) **A alelopatia e as plantas**. Londrina: Iapar, 60 p (Iapar, Circular, 53)
- Almeida FS (1991) Efeitos Alelopáticos de resíduos vegetais. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**. Brasília, 26:221-236
- Alonso DG, Constantin J, Oliveira Junior RS, Koskinen WC, Oliveira Neto AM, Dan HA, Guerra N (2011) **Carryover potencial of herbicides used for *Conyza* sp. control**. In: Weed Science Society of American Annual Meeting. Portland, USA: WSS, p. s.p
- Alonso DG, Oliveira Junior RS, Constantin J (2013) **Potencial de carryover de herbicidas com atividade residual usados em solo com manejo outonal**. In: Constantin J, Oliveira Junior RS, Oliveira Neto AM(Ed). Buva, conceitos e recomendações para manejo. Curitiba, PR. Omnipax, 104p
- Alves AGC, Cogo NP, Levien R (1995) Relações da erosão do solo com a persistência da cobertura vegetal morta. **Revista Brasileira Ciência do Solo**, Campinas, 19:127-132
- Amabile RF, Fancelli AL, Carvalho AM. Comportamento das espécies de adubos verdes em diferentes épocas de semeadura e espaçamentos na região dos cerrados. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**. Brasília, 35:47-54
- Ambrosano EJ, Guirado N, Cantarella H, Rosseto R, Mendes PCD, Rossi F, Ambrosano GMB, Arévalo RA, Schamas EA, Arcaro Júnior I, Foltran D (2005) Plantas para cobertura de solo a adubação verde aplicados ao plantio direto. **Informações Agronômicas**, Piracicaba, 112:1-16.
- Arévalo RA (1979) **Plantas daninhas da cana-de-açúcar**. Araras: Iaa/Planalsucar – Conesul. 46 p.
- Artuzi JP, Contiero RL (2006) Herbicidas aplicados na soja e produtividade do milho em sucessão. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, 41:1119-1123
- Belo AFI, Santos EA, Santos JB, Ferreira LR, Silva AA, Cecon PR, Silva LL (2007) Efeito da umidade do solo sobre a capacidade de *Canavalia ensiformis* e *Stizolobium aterrimum* em remediar solos contaminados com herbicidas **Planta Daninha**, 2:255-258
- Bertoni J, Pastana FI, Lombardi Neto F, Benatti Júnior R (1986) **Conclusões gerais de pesquisas sobre conservação de solo, no Instituto Agronômico**. Campinas: IAC, 57 p (Circular Técnica, 20)
- Blanco FMG (2002) **Persistência do herbicida sulfentrazone em solos cultivados com cana-de-açúcar e soja e seu efeito em culturas sucedâneas**. 104p. Tese (Doutorado em Agronomia) - Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista “Julio de Mesquita Filho”, Universidade Estadual de São Paulo.
- Blanco FMG, Velini ED (2005) Persistência do herbicida sulfentrazone em solo cultivado com soja e seu efeito em culturas sucedâneas. **Planta Daninha**, Viçosa, 23:693-700

- Blanco HG, Oliveira Ad (1987) Persistência de herbicida em Latossolo vermelho amarelo em cultura de cana-de-açúcar. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*. Brasília, 22:681:687
- Bolonhezi AC, Torrezan MA (2007) Intercultivo de adubos verdes na entrelinhas de socas tardias de cana-de-açúcar. **Cultura Agrônômica**, Ilha Solteira, 17:87-95
- Bolonhezi D, Bolonhezi AC, Carlos JAD (2014) **Adubação verde e rotação de culturas para a cana-de-açúcar**. In: Lima Filho OF, Ambrosano EJ, Rossi F, Carlos JAD (Ed) *Adubação verde e plantas de cobertura no Brasil*. Brasília, EMBRAPA. 478p
- Braz GBP, Oliveira RS, Constantin J, Takano HK, Chase CA, Fornazza FGF, Raimondi RT (2015) Selection of herbicides targeting the use crop systems cultivated with showy croton. **Planta Daninha**, 33: 521-534
- Bressanin FN, Giancotti PRF, Neto NJ, Cárita LA, Alves PLCA (2015) Eficácia de herbicidas aplicados isolados em pré e pós-emergência no controle de mucuna-preta. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, 10:426-431
- Buhler DD, Hartzler RG, Forcella F (1997) Implications of weed seedbank dynamics to weed management. **Weed Science**, 45:329-336
- Calegari A (2014) **Perspectivas e estratégias para a sustentabilidade e o aumento da biodiversidade dos sistemas agrícolas com o uso de adubos verdes**. In: Lima Filho OF, Ambrosano EJ, Rossi F, Carlos JAD (Ed) *Adubação verde e plantas de cobertura no Brasil*. Brasília, Embrapa. 507p
- Campos LHF, Carvalho SJP, Nicolai M, Christoffoleti PJ (2016) Susceptibility of *Merremia cissoides*, *Neonotonia wightii* and *Stizolobium aterrimum* to the amicarbazone, imazapic and sulfentrazone herbicides. **Revista Brasileira de Herbicidas**, 15:129-137
- Caratti FC, Reinehr M, Fabiani MF, Turra MA, Basso CJ, Lamego FP (2014) Efeito residual de atrazina na cultura da soja In: Congresso Brasileiro da Ciência das Plantas Daninhas, Gramado. A ciência das plantas daninhas em clima de mudança: **Anais...** SBCPD, 2014.
- Carbonari CA (2009) **Efeito da palha na disponibilidade do herbicida amicarbazone na solução do solo em áreas cultivadas com cana-de-açúcar**. 101 p. Tese (Doutorado em Agronomia) - Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista "Julio de Mesquita Filho", Universidade Estadual de São Paulo.
- Carbonari CA, Negrisoni E, Costa AGF, Velini ED, Cavariani C, Silva TRB (2003) Efeito dos herbicidas trifloxysulfuron sodium + ametrina, sulfentrazone e halosulfuron na germinação de sementes e desenvolvimento de plântulas de feijão. **Revista Ecosistema**, Espírito Santo do Pinhal, 28:41-46
- Carlos JDA (2018) Entrevista I. [jan. 2018]. Entrevistador: Luiz Henrique Franco de Campos. Piracicaba. A entrevista na íntegra encontra-se transcrita no Apêndice A desta tese.
- Carvalho JP, Dias ACR, Minamiguchi MH, Nicolai M. Christoffoleti, P.J. (2012) Atividade residual de seis herbicidas aplicados ao solo em época seca. **Rev. Ceres**, Viçosa, 59:278-285
- Carvalho SJP, Dias ACR, Damin V, Nicolai M, Christoffoleti PJ (2008) Glifosato aplicado com diferentes concentrações de uréia ou sulfato de amônio para dessecação de plantas daninhas. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, 43:1501-1508

- Carvalho SJP, Lombardi BP, Nicolai M, López-Ovejero RF, Christoffoleti PJ, Medeiros DC (2005) Curvas de dose-resposta para avaliação do controle de fluxos de emergência de plantas daninhas pelo herbicida imazapic. **Planta Daninha**, 23:535-542
- Castro CM, Alves BJR, Almeida DL, Ribeiro RLD (2004) Adubação verde como fonte de nitrogênio para a cultura da berinjela a em sistema orgânico. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, 39:779-785
- Celis R, Hermosín MC, Carrizosa MJ, Cornejo J. (2002) Inorganic and organic clays as carriers for controlled release of the herbicide hexazinone. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, 50:2324-2330
- Christoffoleti PJ, Carvalho SJP, López-Ovejero RF, Nicolai M, Hidalgo E. Silva JE (2007) Conservation of natural resources in Brazilian agriculture: implication son weed biology and management. **Crop Protection**, 26: 383-389
- Christoffoleti PJ, Lopez-Ovejero RF (2005) **Dinâmica dos herbicidas aplicados ao solo na cultura da cana-de-açúcar**. Piracicaba, SP. 49 p
- Christoffoleti PJ, López-ovejero RF, Damin V, Carvalho SJP, Nicolai M (2008) **Comportamento dos herbicidas aplicados ao solo na cultura da cana-de-açúcar**. Piracicaba: ESALQ, 2008. 85 p.
- Cobucci T, Portela CMO, Silva W, Monteiro, AN. (2004) Comportamento de herbicidas com efeito residual em diferentes coberturas na cultura do feijoeiro. **Planta Daninha**, Viçosa-MG, 22:591-596
- CONAB, Companhia Nacional de Abastecimento. **Acompanhamento da safra brasileira de cana-de-açúcar**. Brasília: Conab, 2017 - 81 p. Disponível em: <http://www.conab.gov.br>>. Acesso em: 11 fev. 2018
- Conde AJ, Donzelli JL (1997) **Manejo conservacionista de solo em áreas de colheita mecanizada de cana queimada e sem queimar**. In: Seminário de Tecnologia Agronômica, 7. Piracicaba. Anais... CTC, p 193-205.
- Costa BB (1993) **A Adubação verde no sul do Brasil**. Rio de Janeiro, AS-PTA, 346 p
- Costa FS, Bayer C, Albuquerque JA, Fontoura SMV (2004) Aumento de matéria orgânica num Latossolo Bruno em plantio direto. **Ciência Rural**, v.34:1-10
- Costa MA, Monteiro RTR, Tornisielo VL (1997) Influência da adição de palha de cana-de-açúcar na degradação de 14C-ametrina em solo areia quartzosa. **Scientia Agricola**, Piracicaba, 54:117-122
- Dan HA, Dan LGM, Barroso ALL, Procópio S, Oliveira Junior RS, Assis RL, Silva AG, Feldkicher C (2011) Atividade residual de herbicidas pré-emergentes aplicados na cultura da soja sobre o milho cultivado em sucessão. **Planta Daninha**, Viçosa, 29:437-445
- Dersph R, Calegari A (1985) **Guia de plantas para adubação verde de inverno**. Londrina: Iapar, 96 p. (IAPAR. Documentos, 9).
- Dias ACR (2012) **Lixiviação, mobilidade, degradação de herbicidas em 5 solos diferentes**. 2012. 122p. Tese (Doutorado em Fitotecnia) – Escola Superior de Agronomia “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo.
- Dornelles MS, Machado L, Ramos DA, Santana IJ, Nunes Júnior OL, Gomes MA (2016) **Cartilha Adubação Verde**. Urataí GO: IF Goiano, 36 p.
- Dousset SC, Chauvin C, Durllet P, Thevenot M (2004) Transfer of hexazinone and glyphosate through undisturbed soil columns in soils under Christmas tree cultivation. **Chemosphere**, 57:265-272.
- Egley GH, Duke SO (1985) Physiology of weed seed dormancy and germination. In: DUKE, S O. **Weed Physiology I. Reproduction and Ecophysiology**. Flórida: CRC Press, p. 27-64.

- Embrapa Soja (2004) **Tecnologias de Produção de Soja: Região Central do Brasil**. 2004. Disponível em: <<http://www.cnpso.embrapa.br/producaosoja/SojanoBrasil.htm>>. Acesso em: 02 jul. 2012
- Emmerich WE, Helme RJD, Renard KG. Fate and effectiveness of tebuthiuron applied to a rangeland watershed. **Journal of Environmental Quality**, Madison, v. 13, p. 382-386, 1984.
- Faustino LA, Freitas MAM, Passos ABRJ, Saraiva DT, Faria AT, Silva AA, Ferreira LR (2015) Mobilidade do sulfentrazone em solos com diferentes características físicas e químicas. **Planta Daninha**, Viçosa, 33:795-802
- Fernandes MF, Barreto AC, Emídio Filho J (1999) Fitomassa de adubos verdes e controle de plantas daninhas em diferentes densidades populacionais de leguminosas. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**. Brasília, 34:1593-1600.
- FMC Corp (1995) **Technical bulletin of sulfentrazone**. Philadelphia: FMC Corp.
- Furtado R (2002) **Agrobusiness brasileiro: a história**. São Paulo: Abag, 236 p.
- Garcia DB, Alves SNR, Cason JB, Christoffoleti PJ (2012) Lixiviação de diuron, hexazinone e sulfometuron-methyl em formulação comercial e isoladamente em dois solos contrastantes. *Revista Brasileira de Herbicidas*, 2:222-230.
- Gazzieiro DLP, Adegas FS, Prete CEC, Ralisch R, Guimarães MF (2001) **As plantas daninhas e a semeadura direta**. Londrina, Embrapa Soja, 59 p. (Circular Técnica, n. 33)
- Gelber L, Spadotto CA (2004) **Comportamento ambiental dos herbicidas**. In: Vargas L, Roman ES (Ed). Manual de manejo e controle de plantas daninhas. Bento Gonçalves: Embrapa Uva e Vinho, p 57-87.
- Gimenes R (2004) Dinamic: O novo herbicida da Hokko do Brasil para cana-de-açúcar. **STAB**, Piracicaba, 22:23-24
- Gomes GLGC (2011) **Alterações metabólicas de plantas de milho submetidas à aplicação de glifosato e fosfito**. 85 p. Dissertação (Doutorado em Agronomia) - Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista "Julio de Mesquita Filho", Universidade Estadual de São Paulo.
- Gomes MAF, Spadotto CA, Pereira AS, Matallo MB, Lichuni LC (2006) Movimento do herbicida tebuthiuron em dois solos representativos das áreas de recarga do aquífero Guarani. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, 10:479-483
- Green RE (1974) **Pesticide-clay-water interactions**. In: Guelzi WD. Pesticides in soil and water. Madinson: SSSA, p. 3-37.
- Grey TL, Walker RH, Wehtje GR, Adams J, Dayan FE, Weete JD, Hancock HG, Kwon O (2000) Behavior of sulfentrazone in ionic exchange resins, electrophoreses gels, and cation-saturated soils. **Weed Science**, 48:239-247
- Grey TL, Walker RH, Wehtje GR, Hancock HG (1997) Sulfentrazone adsorption and mobility as affected by soil and pH. **Weed Science**, 45:733-738
- Guerra JGM, De-Polli H, Almeida DL (2004) de. **Managing carbon and nitrogen in tropical organic farming through green manuring**. In: Badejo AM, Togun AO. Strategies and tactics of sustainable agriculture in the tropics. Ibadan: College Press, p. 125-140.

- Gustafson DI (1989) Groundwater ubiquity score: a simple method for assessing pesticide leachability. **Environ. Toxicol. Chem.**, 8:339-357
- Gustafson DI (1989) Groundwater ubiquity score: a simple method for assessing pesticide leachability. **Environmental Toxicology and Chemistry**, Elmsford, 8:339-357
- Hager A, Nordby D (2004) **Herbicide persistence and how to test for residues in soils**. In: Bissonnette S. Illinois agricultural pest management handbook. Illinois: University of Illinois, p 323-326
- Hinz C (2011) Description of sorption data with isotherm equations. **Geoderma**, v. 99, n. 3-4, p. 225-243, 2001
- Johnson DH, Talbert RE (1996) Cotton (*Gossypium hirsutum*) response to imazaquin and imazethapyr soil residues. **Weed Science**, 44:156-161
- Karockhoff SW (1981) Semi empirical estimation of sorption of hydrophobic pollutants on natural sediments on soil. **Chemosphere**, 10:833-846
- Kidd H, James DR (1991) **The agrochemicals handbook**. Cambridge: Royal Society of Chemistry Information Services, 1.200 p.
- Kissmann KG. Herbicidas: passado, presente e futuro. In: Vargas L, Roman ES. **Manual de manejo e controle de plantas daninhas**. Bento Gonçalves. Embrapa Uva e Vinho, p 11-12.
- Kuva MA, Gravena R, Pitelli RA, Christofolleti PJ, Alves PLCA (2003) Períodos de interferência das plantas daninhas na cultura da cana-de-açúcar: III - capim-braquiária (*Brachiaria decumbens*) e capim-colonião (*Panicum maximum*). **Planta Daninha**, Viçosa, 21:37-44
- Li H, Sheng G, Teppen BJ, Johnston CT, Boyd SA (2003) Sorption and desorption of pesticides by clay minerals and humic acid-clay complexes. **Soil Science Society of America Journal**, 67:122-131
- Locke MA, Reddy KN, Gaston LA, Zablotowicz RM (2002) Adjuvant modification of herbicide interactions in aqueous soil suspensions. **Soil Science**, 167:444-452
- Lorenzi H (1991) **Plantas Daninhas do Brasil: Terrestres, Aquáticas, Parasitas, Tóxicas e Medicinais**. 2ª edição. Nova Odessa, SP: Plantarum, 440 p
- Loux MM, Libebl RA, Slife FW (1989) Adsorption of imazaquin and imazethapyr on soils, sediments, and selected adsorbents. **Weed Science**, 37:712-718
- Lovadin LAC, Salgado ALB, Miyazaka S (1970) Efeito da época de plantio e da poda na produção de massa verde e sementes de *Crotalaria juncea* L. **Bragantia**, Campinas, 29:25-29
- Madalão JC, Pires FR, Nascimento AF, Chagas K, Cargnelutti Filho A, Procópio SO (2016) Fitorremediação de solo contaminado com sulfentrazone em função do tempo de cultivo de *Canavalia ensiformis*. **Revista Agro@mbiente On-line**, 10:36-43
- Malardo MR, Monqueiro PA, Silva PV, Braga EM, Bevilacqua NC (2014) Tolerância de *Crotalaria breviflora* e *C. juncea* aos herbicidas registrados para a cultura do milho. In: 29 Congresso Brasileiro de Ciência das Plantas Daninhas, 2014, Gramado. **Anais...** p 152-157.
- Mancuso MAC, Negrisoni E, Perim L (2011) Efeito residual de herbicidas no solo ("Carryover"). **Revista Brasileira de Herbicidas**, 10:151-164
- Mandhyn YA, Young JL, Freed VH (1986) Binding of herbicides by water-soluble organic materials from soil. **Journal Environmental Quality**, 15:64-68

- Marcelo AV, Corá JE, Fernandes C, Martins MR Jorge RF (2009) Crop Sequences in no-tillage system: Effects on soil fertility and soybean, maize and rice yield. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, Viçosa, 33:417-428
- Marques JQA, Bertoni J, Barreto GB (1961) Perdas por erosão no Estado de São Paulo. **Bragantia**, 47:1143-1182.
- Martins D, Veline E, Martins C, Souza L (1999) Emergência em campo de dicotiledôneas infestantes em solo coberto com palha de cana-de-açúcar. **Planta Daninha**, 17:1-11
- Mascarenhas HAA, Nogueira SSS, Tanaka RT, Martins ALM (1998) Efeito na produtividade da rotação de culturas de verão e crotalária no inverno. **Scientia Agricola**, Piracicaba, 5:534-537
- Mascarenhas HAA, Tanaka RT (1993) **Rotação de culturas**. In: Curso Sobre Adubação Verde no Instituto Agronômico, Campinas, p. 71-86
- Mendes KF, Goulart BF, Possamai ACS, Inoue MH, Matos AKA, Tshcope MC (2013) Lixiviação do hexazinona e da mistura hexazinona + diuron em colunas de solos com texturas distintas. **Revista Agroambiente Online**, 7:218-224
- Meyer RE, Bovey RW (1988) Tebuthiuron formulation and placement effects on response of woody plants and soil residue. **Weed Science**, Ithaca, 36:373-378
- Miyasaka S (1984) **Históricos de estudos de adubação verdes, leguminosas e suas características**. In: Fundação cargil. A Adubação Verde no Brasil. Campinas, p 64-123.
- Monqueiro PA, Amaral LR, Inácio EM, Brunhara JP, Binha DP, Silva PV, Silva AC (2009) Efeitos de adubos verdes na supressão sobre plantas daninhas. **Planta Daninha**, 27:85-95.
- Monqueiro PA, Hirata ACS (2014) **Manejo de plantas daninhas com adubação verde**. In: Lima Filho OF, Ambrosano EJ, Rossi F, Carlos JAD (Ed) Adubação verde e plantas de cobertura no Brasil. Brasília, EMBRAPA. 507p
- Monquero PA, Amaral LR, Binha DP, Silva AC, Silva PV (2008a) Potencial de lixiviação de herbicidas no solo submetidos a diferentes simulações de precipitação. **Planta Daninha**, 26:403-409
- Monquero PA, Binha DP, Amaral LR, Silva PV, Silva AC, Inacio EM (2008b) Lixiviação de clomazone+ametryn, diuron+hexazinona e isoxaflutole em dois tipos de solo. **Planta Daninha**, 26:685-691
- Monteiro RTR (1996) Biodegradação de herbicidas. In: Embrapa – CNPMA. Workshop sobre biodegradação. **Anais...** Campinas, p. 120-128.
- NCBI (2018) **Chemistry database**. National Center for Biotechnology Information. Disponível em: <<https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/Sulfentrazone>> Acesso em 25/02/2018
- Nicholls PH (1988) Factors influencing entry of pesticides into soil water. **Pesticide Science**, Oxford, 22:123-137
- Novais JR, Inoue MH, Cavalcante JKG, Souza FMSS, Goulart MO, Stanieski CM, Junges PR, Martinez G (2018) **Objetivando avaliar o efeito residual da atrazine um ensaio foi conduzido na área experimental da UNEMAT-Tangará da Serra, em solo de textura arenosa e argilosa, com duas doses de atrazine** Disponível em: <http://maissoja.com.br/> > Acesso em 06 02 2018
- Ohmes GA, Hayes RM, Mueller TC (2000) Sulfentrazone dissipation in a Tennessee soil. **Weed Technology**, 14:100-105

- Oliveira Junior RS (2002) Conceitos importantes no estudo do comportamento dos herbicidas no solo. **Boletim Informativo da Sociedade Brasileira de Ciência do Solo**, 27:9-12
- Oliveira Junior RS (2011) **Mecanismos de ação de herbicidas**. In: Oliveira Junior RS, Constantin J, Inoue MH (Eds.). *Biologia e manejo de plantas daninhas*. Curitiba: Omnipax, p. 141-192.
- Oliveira Junior RS (2011) **Seletividade de herbicidas para culturas e plantas daninhas**. In: Oliveira Junior RS, Constantin J, Inoue MH. *Biologia de plantas daninhas*. Omnipax, Curitiba, 348 p.
- Oliveira Junior RS, Inoue MH (2011) **Seletividade de herbicidas para culturas e plantas daninhas**. In: OLIVEIRA JR., R.S.; CONSTANTIN, J.; INOUE, M.H. (Coord.). *Biologia e Manejo de Plantas Daninhas*. Curitiba, PR: Omnipax, p. 141-192
- Oliveira Junior RS, Koskinen WC, Ferreira FA (1999) Sorption and leaching potential of herbicides in Brazilian soils. Weed Science Society of America Meeting, San Diego. **Abstracts...** Lawrence: WSSA. p.47.
- Oliveira Junior RS, Koskinen WC, Ferreira FA (2001) Sorption and leaching potential of herbicides on Brazilian soils. **Weed Res.**, 41:97-111
- Oliveira MF (2001) **Comportamento de herbicidas no ambiente**. In: OLIVEIRA JUNIOR, R. S.; CONSTANTIN, J. (Eds.). *Plantas daninhas e seu manejo*. Guaíba: Agropecuária, p. 315-362
- Oliveira MF, Brighenti AM (2011) **Comportamento de herbicidas no ambiente**. In: Oliveira Junior RS, Constantin J, Inoue MH. (Ed). *Biologia e manejo de plantas daninhas*. Curitiba, Omnipax, 348p.
- Oliveira MF, Brighenti AM (2011) **Comportamento dos herbicidas no ambiente**. In: Oliveira Junior, Constantin J, Inoue MH. *Biologia e Manejo de Plantas Daninhas*. Curitiba-PR: Omnipax, p. 263-304.
- Oliveira, AF; O Pereira, CN; Vieira, PA (2012) Análise da rotação de grãos na área de reforma de canavial. Congresso da Sociedade de Brasileira de Economia, Administração e Sociologia Rural. **Anais...** Vitória: Sociedade Brasileira de Economia, Administração e Sociologia Rural: UFES, CD-ROM.
- Ortolan MCA (1980) Cultura do amendoim em rotação com a cana-de-açúcar. In: *Cana-de-açúcar e produção de alimentos e fibras*, Piracicaba. **Anais...** Piracicaba: Instituto do Açúcar e do Alcool, p. 83-93
- Padovezi AM (2018) Soja é opção rentável para renovação de canaviais. **Brasilagro**, Disponível em: <<http://www.brasilagro.com.br>>, Acesso em: 08 jul. 2018
- Pereira J, Burle ML, Resck DVS (1990) Adubos verdes e sua utilização no cerrado. In: Simpósio sobre manejo e conservação do solo no cerrado, Goiânia, GO. **Anais...** Campinas, SP: Fundação Cargill, p.140-154
- Perin, A, Santos RHS, Guerra JGM, Cecon CR (2004) Produção de fitomassa, acúmulo de nutrientes e fixação biológica de nitrogênio por adubos verdes em cultivo isolado e consorciado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, 39:35-40
- Pesticide Properties DataBase PPDB (2018) **Developed by the Agriculture & Environment Research Unit**, University of Hertfordshire. 2018. Disponível em: <<http://sitem.herts.ac.uk/aeru/ppdb/en/Reports/645.htm>> Acesso em: 07 de jan. de 2018.
- Pires FR, Procópio SO, Souza CM, Santos JB, Silva GP (2008) Adubos verdes na fitorremediação de solos contaminados com herbicida tebuthiuron. **Revista Caatinga**, Mossoro, 19:92-97

- Pires FR, Souza CM, Silva AA, Cecon PR, Procópio SO, Santos JB, Pereira LR (2006) Fitorremediação de solos contaminados com tebuthiuron utilizando-se espécies cultivadas para adubação verde. **Planta Daninha**, Viçosa, 23:711-717
- Pitelli RA (1985) Interferência das plantas daninhas nas culturas agrícolas. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, 11:16-27
- Polubesova T, Nir S, Rabinovitz O, Barisover M, Baruch R (2003) Sulfentrazone adsorbed on micelle-montmorillonite complexes for slow release in soils. **Journal Agriculture Food Chemistry**, 51:3410-3414
- Possamai ACS, Inoue MH, Mendes KF, Santana DC, Ben R, Santos EG (2013) Potencial de lixiviação e efeito residual de amicarbazone em solos de textura contrastantes. **Semina: Ciências Agrárias** 34:2203-2210
- Procópio SO, Galon L, Franca Ac, Concenço G, Silva AA, Silva AF, Tironi Sp, Rocha PPR (2003) **Manejo de plantas daninhas na cultura da cana-de-açúcar**. Viçosa, MG: Universidade Federal de Viçosa, 150 p.
- Prove BG, Googan VJ, Troung PNV (1995) Nature and magnitude of soil erosion in sugarcane land on the wet tropical coast of north-eastern. **Australian Journal of Experimental Agriculture**. East Melbourne, 35:641-649.
- Queiroz SCN, Ferracini VL, Gomes MAF, Rosa MA (2009) Comportamento do herbicida hexazinona em área de recarga do aquífero Guarani cultivada com cana-de-açúcar. **Química Nova**, 32:378-381
- Reichert JM, Kaiser DR, Reinert DJ, Riquelme UFB (2009) Variação temporal das propriedades físicas de solo e crescimento do sistema radicular de feijoeiro em quatro sistemas de manejo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, 44:310-319
- Reijntjes C, Haverkort B, Waters-Bayer A (1994) **Agricultura para o futuro: uma introdução à agricultura sustentável e de baixo uso de insumos externos**. Rio de Janeiro: AS-PTA, 324 p.
- Renner KA, Meggit WF, Penner D (1988) Effect of soil pH on imazaquin and imazethapyr adsorption to soil and phytotoxicity to corn (Zea Mays). **Weed Science**, 45:36-78
- Rhodes RC (1980) Soil studies with 14C-labeled hexazinone. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, Easton, 28:311-315
- Rodrigues BN, Almeida FS (1988) **Guia de herbicidas**. Londrina: edição dos autores, p. 518-521
- Rodrigues BN, Almeida FS (1995) **Guia de herbicidas**. 3. ed. Londrina, 675 p.
- Rodrigues BN, Almeida FS (2005) **Guia de Herbicidas**, 5.ed. Londrina, 592 p.
- Rodrigues BN, Almeida FS (2011) **Guia de herbicidas**. 6. ed. Londrina: Edição dos Autores, 697 p.
- Rodrigues JELF (2004) **A importância do Feijão de Porco (*Canavalia ensiformis*) como cultura intercalar em rotação com milho e feijão caupi em cultivo de coqueirais no município de Pontas de Pedras/Marajó-PA**. Embrapa Amazonas Oriental, v1, 96 p.
- Rosenthal GA, Dahlman DL (1986) L-Canavanine and protein synthesis in the tobacco hornworm *Manduca sexta*. **Proceedings of the National Academy of Science**, 83:14-18
- Rossi CVS, Alves PLCA, Marques Júnior J (2003) Mobilidade do sulfentrazone em nitossolo vermelho e em neossolo quartzarênico. **Planta Daninha**, 21:111-120
- Ruiz L (2016) Tem mais grãos no canavial. **Revista Canaonline**. Ribeirão Preto-SP, 31:20-43

- Salvador FL, Victoria Filho R, Alves ASR, Simoni F, San Martin HAM (2007) Efeito da luz e da quebra de dormência na germinação de sementes de espécies de plantas daninhas. **Planta Daninha**, 25:303-308
- Santos HG, Almeida JÁ, Oliveira JB, Lumbrellas JF, Anjos LHC, Coelho MR, Jacomine PKT, Cunha TJF, Iliveira VA (2013) **Sistema Brasileiro de Classificação de Solo**, 3º ed. Embrapa, Brasília, 353 p.
- Santos JM (2007) **Caracterização fisiológica e influência da época de plantio no florescimento de cultivares de cana-de-açúcar**. 80 p. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Centro de Ciências Agrárias, Universidade Federal de Alagoas, Maceió
- Senesi N, Brunetti G, Cava PL (1944) Adsorption of alachlor by humic acids from sewage and amended and non-amended soils. **Soil Science**, 157:176-184
- Sharma RD, Pereira J, Resck DVS (1982) **Eficiência de adubos verdes no controle de nematoides associados à soja nos Cerrados**. EMBRAPA_CPAC, Bol. de Pesq. 13 p.
- Shikida PFA, Bacha CJC (1999) Evolução da Agroindústria Brasileira de 1975 à 1995. **Revista Brasileira de Economia**, Rio de Janeiro, 53:69-89
- Si YB, Zhang J, Wang SQ, Zhang LG (2006) Influence of organic amendment on the adsorption and leaching of ethametsulfuron-methyl in acidic soils in China. **Geoderma**, 130:66-76
- Silva AA, Ferreira FA, Ferreira LR (2007) **Herbicidas: Comportamento no solo**. In: Silva AA, Silva JF. Tópicos em manejo de plantas daninhas. Viçosa-MG: Universidade Federal de Viçosa, 2007. p. 17-61
- Silva AA, Silva JF (2007) **Tópicos em manejo de plantas daninhas**. Viçosa, MG: Universidade Federal de Viçosa, 367 p.
- Silva DRO, Avila LA, Agostinetto A, Bundt ADC (2011) Ocorrência de agrotóxicos em águas subterrâneas de áreas adjacentes a lavouras de arroz irrigado. **Química Nova**, São Paulo, 34:748-753
- Silva GBF, Azania CAM, Novo MCSS, Wutke EB, Zera FS, Azania AAPM (2012) Tolerância de espécies de Mucuna à herbicidas utilizados em cana-de-açúcar. **Planta Daninha**, Vicoso-MG, 30: 589-597
- Silva LOC, Silva AA, Queiroz MELR, Lima CF, Rocha PRR, D'Antonino L (2012) Ação de Eleusine coracana na remediação de solos contaminados com picloram. **Planta Daninha**, Vicoso-MG, 30:627- 632
- Silva VP, Ferreira LR, D'Antonino L, Carneiro J.E, Silva GR, Fontes DR (2013) Eficiência e residual no solo de herbicidas na cultura do feijão. **Planta Daninha**, 31:961-970
- Souza JR (2008) **Tolerância de variedades de cana-de-açúcar a herbicidas aplicados em pós emergência e efeitos residuais sobre variedades de girassol**. Jaboticabal, 2008. 75 p. Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal) - Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista.
- Souza MFP, Yamashita OM (2066) Potencial alelopático da Mucuna-preta sobre a germinação de sementes de alface e picão preto. **Revista de Ciências Agro-Ambientais**, 4:23-28
- Spadotto CA (2002) Screening method for assessing pesticide leaching potential. **Pesticidas: revista de ecotoxicologia e meio ambiente**, Curitiba, 12:69-78.
- Sprankle P, Meggitt WF, Penner D (1975) Adsorption, mobility, and microbial degradation of glyphosate in the soil. **Weed Science**, 23:229-234
- Thompson K, Bakker JP, Bekker RM, Hodgson JG (1998) Ecological correlates of see persistence i soil in the north-west European flora. **Journal of Ecologic**, 8:163–169.

- Toledo REB, Perin L, Negrisola E, Correia MR, Carbonari CA, Rossi CVS, Veline E (2009) Eficácia do herbicida amicarbazone aplicado sobre a palha ou no solo no controle de plantas daninhas da cultura da cana-de-açúcar. **Plantas Daninha**, 27:319-326
- Tomlin C (1994) **The pesticide manual: A world compendium**. 10th ed. (Incorporating the agrochemicals handbook. Cambridge: Crop Protection Publications, 1341 p.
- Tonieto TAP (2014) **Dinâmica dos herbicidas tebuthiuron e hexazinona no sistema de cana crua**. 75p. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia) – Escola Superior de Agronomia “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo.
- UNICA. **Acompanhamentos de Safras**. São Paulo: UNICA, 2018. Disponível em: <<http://www.unicadata.com.br>>. Acesso em 25/02/2018
- Velini ED (1992) Comportamento de herbicidas no solo. In: Simpósio Nacional sobre Manejo de Plantas Daninhas em Hortaliças. **Resumos...** Botucatu: p. 44-64.
- Velini ED, Negrisola E (2000) Controle de plantas daninhas em cana crua. In: Congresso Brasileiro da Ciência das Plantas Daninhas. **Anais...** Foz do Iguaçu: p. 148-164.
- Velini ED, Trindade MLB, Alves E, Catâneo AC, Marino C L, Maia IG, Mori ES, Furtado EL, Guerrini IA, Wilcken CF (2005) Eucalyptus ESTs corresponding to the protoporphyrinogen IX oxidase enzyme related to the synthesis of heme, chlorophyll, and to the action of herbicides. **Genetics and Molecular Biology**, 28:555-561
- Vidal RA, Theisen G (1999) Efeito da cobertura do solo com resíduos de aveia-preta nas etapas do ciclo de vida do capim-marmelada. **Planta Daninha**, 17:189-196
- Viti ML (2014) **Remobilização de resíduos ligados de herbicidas em solos de cultivo de cana-de-açúcar com aplicação de vinhaça, palha de cana e torta de filtro e identificação dos metabólitos**. 82 p. Dissertação (Mestrado em Agronomia). Centro e Energia Nuclear CENA – USP.
- Vivian R, Reis MR, Kakelaitis A, Silva AF, Guimarães AA, Santos JB, Silva AA (2006) Persistência de sulfentrazone em Argissolo Vermelho-Amarelo cultivado com cana-de-açúcar. **Planta Daninha**, 24:741-750
- Walsh JD, Defelice MS, SIMS BD (1993) Influence of tillage on soybean (*Glycine max*) herbicide carryover to grass and legume forage crops in Missouri. **Weed Science**, 41:144-149
- Wauchope RD, Buttler TM, Hornsby AG, Augustijn-Beckers PWM, Burt JP (1992) The SCS/ARS/CES pesticide properties database for environmental decision-marking. **Reviews Environmental Contamination Toxicology**, New York, 123:1-155
- Wilkins RN, Tanner GT, Mulholland R, Neary DG (1993) Use of hexazinone for understory restoration of a successional-advanced xeric sandhill in Florida. **Ecological Engineering**, 2:31-48
- Wutke EB, Ambrosano EJ, Razera LF, Medina PF, Carvalho LH, Kitute H (2007) **Bancos comunitários de sementes de adubos verdes: informações técnicas**. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Brasília, 52p.
- Wutke EB, Arévalo RA (2006) **Adubação verde com leguminosas no rendimento da cana-de-açúcar e no manejo de plantas infestantes**. Campinas: Instituto Agrônomo, 28p.

Wutke EB, Calegari A. Wildner LP (2014) **Espécies de adubos verdes e plantas de cobertura e recomendações para seu uso**. In: Lima-Filho OF, Ambrosano EJ, Rossi F, Carlos JAD. Adubação verde e plantas de cobertura no Brasil: Fundamentos e prática. Embrapa. Brasília, DF, 507p.

APÊNDICES

APÊNDICE A. Conforme concedido por Carlos (2018), no Brasil a adubação verde está amplamente divulgada e vem crescendo principalmente na região Centro-Oeste, principalmente nas culturas de soja e milho. No entanto, a grande maioria desses plantios de adubos verdes, são provenientes de sementes salvas (não certificadas) das espécies *C. spectabilis* e *C. ochroeuca*. Para a cultura da cana-de-açúcar, a região com maior consumo de sementes certificadas é a região Sudeste, com cerca de 133.200 ha plantados na safra 2017/2018, sendo as espécies *C. juncea* e *C. spectabilis* as mais vendidas para rotação. Para as usinas e fornecedores da região Centro-Oeste, são vendidas anualmente cerca de 62.500 ha, para renovação de canaviais, com maior interesse para a espécie *C. spectabilis*. Para o Nordeste a venda e consumo de sementes são muito inferiores às outras regiões produtoras, ficando anualmente com cerca de 3.800 ha plantados. No geral, as espécies mais vendidas para os produtores de cana-de-açúcar são: *C. spectabilis* (102.000 ha); *C. juncea* (51.000 ha); *C. ochroleuca* (38.000 ha); *C. beviflora* (4.000 há) e *Mucuna* ssp (3.000 ha), respectivamente para safra 2017/2018.

APÊNDICE B.

Figura 32. Rotação com *C. ochroleuca* em áreas de reforma 12 meses após aplicação de tebuthiuron no tratamento da última soqueira e 2 meses após aplicação de sulfentrazone. Iracemápolis/SP, 2016.

Figura 33. Rotação com *C. ochroleuca* em áreas de reforma 6 meses após aplicação de tebuthiuron no tratamento da última soqueira. Iracemápolis/SP, 2016.

Figura 34. Rotação com *C. cajan* em áreas de reforma 6 meses após aplicação de tebuthiuron no tratamento da última soqueira. Iracemápolis/SP, 2016.

Figura 35. Rotação com *C. juncea* em áreas de reforma no sistema MEIOSI após 12 meses à aplicação de tebuthiuron no tratamento da última soqueira e 3 meses após aplicação de sulfentrazone. Iracemápolis/SP, 2016.

Figura 36. Rotação com *C. juncea* em áreas de reforma no sistema MEIOSI após 15 meses à aplicação de tebuthiuron no tratamento da última soqueira e 2 meses após aplicação de sulfentrazone, com 90 tn de biomassa ha⁻¹. Iracemápolis/SP, 2016.

Figura 37. Rotação com *C. ensiformis* em áreas de reforma no sistema MEIOSI após 16 meses à aplicação de tebuthiuron no tratamento da última soqueira e 25 dias após aplicação de sulfentrazone. Iracemápolis/SP, 2016.

Figura 38. Rotação com *C. spectabilis* em áreas de reforma no sistema MEIOSI após 14 meses à aplicação de tebuthiuron no tratamento da ultima soqueira e 3 meses após aplicação de sulfentrazone. Iracemápolis/SP, 2017.

Figura 39. Rotação com *C. spectabilis* em áreas de reforma no sistema MEIOSI após 4 meses à aplicação de tebuthiuron no tratamento pré plantio. Iracemápolis/SP, 2017.

Figura 40. Rotação com *C. juncea* em áreas de reforma no sistema MEIOSI após 14 meses à aplicação de tebuthiuron no tratamento da última soqueira e 3 meses após aplicação de sulfentrazone. Iracemápolis/SP, 2017.