

DANIELY FORMIGA BRAGA

**SORÇÃO, DESSORÇÃO E LIXIVIAÇÃO DO SULFENTRAZONE
EM SOLOS DA REGIÃO CANAVIEIRA DO NORDESTE
BRASILEIRO**

MOSSORÓ-RN
2014

DANIELY FORMIGA BRAGA

**SORÇÃO, DESSORÇÃO E LIXIVIAÇÃO DO
SULFENTRAZONE EM SOLOS DA REGIÃO CANAVIEIRA DO
NORDESTE BRASILEIRO**

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Fitotecnia da Universidade Federal Rural do Semi-Árido, como parte das exigências para obtenção do grau de Doutor em Agronomia: Fitotecnia.

Orientador:

D. Sc. Francisco Cláudio Lopes Freitas

Co-Orientadores:

Prof. D. Sc. Fábio Henrique Tavares de Oliveira

Prof. D. Sc. Paulo Roberto Ribeiro Rocha

Mossoró - RN
2014

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
Biblioteca Central Orlando Teixeira (BCOT)
Setor de Informação e Referência

B813s Braga, Daniely Formiga

“Sorção, dessorção e lixiviação do sulfentrazone em solos da região canavieira do nordeste Brasileiro” / Daniely Formiga Braga -- Mossoró, 2015.
91f.: il.

Orientador: Prof. Dr. Francisco Cláudio Lopes Freitas
Co-orientadores: Prof. Dr. Paulo Roberto Ribeiro Rocha
Prof. Dr. Fábio Henrique T. de Oliveira

Tese (Doutorado em Fitotecnia) – Universidade Federal Rural do Semi-Árido. Pró-Reitoria de Pesquisa e Pós-Graduação.

1. Solos. 2. Bioensaio. 3. Herbicidas ácidos. 4. Região canavieira – nordeste/Brasil. I. Título.

RN/UFERSA/BCOT/061-15

CDD: 631.4

Bibliotecária: Vanessa Christiane Alves de Souza Borba
CRB-15/452

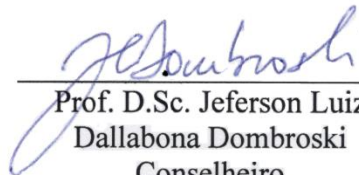
**“SORÇÃO, DESSORÇÃO E LIXIVIAÇÃO DO
SULFENTRAZONE EM SOLOS DA REGIÃO CANAVIEIRA
DO NORDESTE BRASILEIRO”.**

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Fitotecnia da Universidade Federal Rural do Semi-Árido, como parte das exigências para obtenção do grau de Doutor em Ciências: Fitotecnia.

APROVADA EM: 16 / 12 / 2014



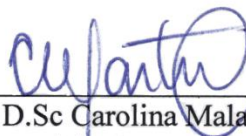
Prof. D.Sc. Fábio Henrique Tavares
de Oliveira
Conselheiro



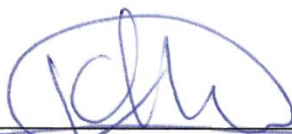
Prof. D.Sc. Jeferson Luiz
Dallabona Dombroski
Conselheiro



Prof. D.Sc. Paulo Roberto Ribeiro
Rocha
Conselheiro



Prof. D.Sc. Carolina Malala
Martins
Conselheira



Prof. D.Sc. Francisco Cláudio Lopes Freitas
Orientador

À minha família, razão pela qual dedico a minha vida. Davi..., anjinho que Deus nos trouxe no meio desta caminhada e que, apesar de não entender o porquê das ausências da mamãe, precisa compreender que é preciso estudar e trabalhar para conseguir “coisas boas” na vida. Diego, meu amor, companheiro, obrigada por me incentivar e apoiar nesta caminhada!

Ofereço!

AGRADECIMENTOS

À UFRSA, pelos conhecimentos ministrados e apoio para o desenvolvimento de minhas atividades acadêmicas, através de seus professores e funcionários.

Ao programa de Pós-Graduação em Fitotecnia da UFRSA pela oportunidade de poder aprimorar meus conhecimentos.

A todos aqueles que contribuíram para a minha formação acadêmica e profissional.

Ao professor Francisco Cláudio Lopes Freitas, pela amizade, orientação criteriosa, mas, acima de tudo, pela dedicação e o apoio para a realização desta pesquisa.

Ao Professor Paulo Roberto Ribeiro Rocha, pelas valiosas contribuições e sugestões durante a condução deste trabalho, que serviram para o enriquecimento deste trabalho.

À Professora Carolina Malala Martins, pela incomensurável ajuda e palavras de incentivo e amizade ao longo dessa jornada.

Ao Professor Fábio Henrique Tavares de Oliveira, por toda a contribuição dada durante minha Pós-Graduação.

Obrigado a toda a “Equipe Planta Daninha”: Márcio, Eliane, Jorge, Kaliane, Mayky, Donato, Cheyla, Fabiana, Francineudo, Maria Alice, Vitória, Arthur, Alex, Gabriela e Rebeca, que sempre nos atenderam com boa vontade na condução deste trabalho e pelos bons momentos juntos.

Aos funcionários do laboratório do CPVSA do Departamento de Ciências Vegetais da UFRSA, meu agradecimento especial ao amigo Paulo Sérgio Fernandes das Chagas, pela colaboração dada na condução dos trabalhos.

À minha família e a todos os que torceram e torcem por mim.

Agradeço!

RESUMO

BRAGA, Daniely Formiga. **Sorção, dessorção e lixiviação do sulfentrazone em solos da região canavieira do nordeste brasileiro.** 2014. 91f. Tese (Doutorado Fitotecnia) – Universidade Federal Rural do Semi-Árido (UFERSA), Mossoró-RN, 2014.

O conhecimento dos fatores relacionados à dinâmica de herbicidas no ambiente é de fundamental importância para prever o comportamento de herbicidas nas diferentes classes de solo e para seleção de dosagens adequadas, bem como para evitar efeitos prejudiciais ao ambiente e às culturas subsequentes. Foram conduzidos três experimentos, visando a analisar a dinâmica do herbicida sulfentrazone em cinco solos de regiões canavieiras do Nordeste brasileiro: Neossolo Quartzarênico (Pedro Velho-RN), Cambissolo Háplico (Quixeré-CE); Latossolo Vermelho-Amarelo (Tabuleiros Costeiros - Maceió-AL), Argissolo Vermelho-Amarelo (Tabuleiros Costeiros - Maceió-AL) e um Gleissolo Háplico (várzea - Maceió-AL). O primeiro experimento objetivou caracterizar química, física e mineralogicamente a camada arável de diferentes classes de solos. A caracterização dos atributos dos solos permitiu observar que as áreas com cultivo de cana-de-açúcar variam em função principalmente dos atributos físicos, com solos de diferentes classes texturais e atributos químicos, tendo destaque o teor de Carbono Orgânico total e P disponível. Em relação à mineralogia, foi possível observar que as áreas canavieiras são instaladas desde solos jovens com predomínio de argilominerais 2:1 até solos mais desenvolvidos com presença de caulinitas, gibsitita e óxidos de ferro. O segundo experimento, com objetivo de avaliar a sorção e a dessorção do sulfentrazone nos cinco solos anteriormente mencionados foi conduzido em condições de laboratório. Foram ajustadas equações de Freundlich para obtenção dos coeficientes de sorção, K_f (capacidade de sorção) e $1/n$ (intensidade de sorção). Observou-se que os solos estudados apresentam comportamento diferenciado em relação ao potencial de sorção do sulfentrazone. Com base nos resultados deste segundo trabalho, conclui-se que a ordem crescente de sorção foi: Argissolo ($K_f = 8,74$) > Latossolo ($K_f = 8,23$) > Neossolo Quartzarênico ($K_f = 7,50$) > Cambissolo ($K_f = 6,98$) > Gleissolo ($K_f = 6,67$); ao passo que a dessorção decresceu na seguinte ordem: Argissolo < Gleissolo < Neossolo Quartzarênico < Cambissolo < Latossolo. O terceiro trabalho propôs avaliar a lixiviação do herbicida sulfentrazone nos referidos solos por meio de bioensaios e cromatografia líquida de alta resolução. Baseado nos resultados, conclui-se que a mobilidade do sulfentrazone nos solos é influenciada pelas suas características químicas, físicas e mineralógicas, apresentando a seguinte sequência de potencial de lixiviação: Neossolo Quartzarênico (45 cm) >

Latossolo (35 cm) > Argissolo (20 cm) = Cambissolo (20 cm) = Gleissolo (20 cm). Antes de fazer recomendação do sulfentrazone, é necessário conhecer as características químicas, físicas e mineralógicas dos solos e suas interações com o herbicida, no intuito de garantir eficiência técnica e sustentabilidade ambiental.

Palavras-chave: Herbicidas ácidos. Dinâmica. Caracterização. Bioensaios.

ABSTRACT

BRAGA, Daniely Formiga. **Sorption, desorption and leaching of sulfentrazone in soil of sugarcane region of Brazilian northeastern.** 2014. 90f. Thesis (Ph.D. in Phytotechny) – Universidade Federal Rural do Semi-Árido (UFERSA), Mossoró-RN, 2014.

Knowledge of the factors related to the dynamics of herbicides in the environment is of fundamental importance to predict the behavior of herbicides in different soil types and selection of appropriate doses and to avoid harmful effects to the environment and subsequent crops. Three experiments were conducted in order to analyze the dynamics of sulfentrazone in five soils of sugarcane areas of the Brazilian Northeast: Quartzipsamment (Peter Old-RN), Cambisol (Quixeré-CE); Oxisol (Coastal Plains - Maceió-AL), Red-Yellow Ultisol (Coastal Plains - Maceió-AL) and an Epiaquic Haplustult (floodplain - Maceió-AL). The first experiment aimed to characterize chemically, physically and mineralogically the topsoil of different soil classes. The characterization of soil attributes allowed to observe that areas with cane sugar cultivation vary depending mainly physical attributes, with soils of different textural classes and chemical attributes, highlighted with total Organic Carbon content and P available. Regarding the mineralogy, it was observed that the sugarcane areas are installed from young soils with predominance of 2: 1 clay soils to more developed with the presence of kaolinite, gibbsite and iron oxides. The second experiment aimed to evaluate the sorption and desorption of sulfentrazone in the five soils mentioned above was conducted in laboratory conditions. Freundlich equation was adjusted to obtain the sorption coefficients, K_f (sorption capacity) and $1/n$ (intensity sorption). It was observed that the soils have different behavior in relation to sulfentrazone sorption potential. Based on the results of this second study, we concluded that the increasing order of sorption was: Argisol ($K_f = 8.74$) > Oxisol ($K_f = 8.23$) > Quartzipsamment ($K_f = 7.50$) > Inceptisol ($K_f = 6.98$) > Gleysol ($K_f = 6.67$); while desorption decreased in the following order: Argisol < Gleysol < Quartzipsamment < Inceptisol < Oxisol. The third study aimed to evaluate the leaching of sulfentrazone in these soils through bioassay and liquid chromatography high resolution. Based on the results, it is concluded that the mobility of sulfentrazone in the soil is influenced by its chemical, physical and mineralogical, presenting the following leaching potential sequence: Quartzipsamment (45 cm) > Oxisol (35 cm) > Argisol (20 cm) = Inceptisol (20 cm) = Gleysol (20 cm). Before making the recommendation of sulfentrazone, we must know the chemical, physical and mineralogical

characteristics of soils and their interactions with the herbicide, in order to ensure technical efficiency and environmental sustainability.

Keywords: Acid Herbicide. Dynamics. Characterization. Bioassays.

LISTA DE TABELAS

CAPÍTULO II

Tabela 1 -	Análise granulométrica da camada de 0 – 20 cm de solos de diferentes regiões canavieiras do NE. Mossoró-RN, UFERSA, 2013.....	34
Tabela 2 -	Atributos químicos de solos de diferentes regiões canavieiras do nordeste. Mossoró-RN, UFERSA, 2013.....	36
Tabela 3 -	Minerais detectados na fração argila da camada arável (0-20 cm) dos solos estudados. Mossoró-RN, UFERSA, 2014.....	38

LISTA DE FIGURAS

CAPÍTULO II

- Figura 1 - Difratoograma da fração argila da camada arável (0-20 cm) dos solos estudados. Ct: Caulinita; Il-Mi: Ilita - Mica; Gb: Gibsita; Gt: Goethita; Hm: Hematita; Qz: Quartzo. Mossoró-RN, UFERSA, 2014..... 38

LISTA DE TABELAS

CAPÍTULO III

Tabela 1 - Atributos químicos de solos de diferentes regiões canavieiras do nordeste. Mossoró-RN, UFERSA, 2013.....	49
Tabela 2 - Análise granulométrica da camada de 0 – 20 cm de solos de diferentes regiões canavieiras do NE. Mossoró-RN, UFERSA, 2013.....	49
Tabela 3 - Minerais detectados na fração argila da camada arável (0-20 cm) dos solos estudados. Mossoró-RN, UFERSA, 2014	49
Tabela 4 - Estimativas dos coeficientes de sorção (K_f e $1/n$) e coeficientes de determinação (R^2) das isothermas de sorção do sulfentrazone nos solos estudados. Mossoró-RN, UFERSA, 2014	57

LISTA DE FIGURAS

CAPÍTULO III

Figura 1 -	Curva analítica do sulfentrazone em CaCl_2 0,01 mol L ⁻¹ , obtida na cromatografia líquida de alta eficiência. Mossoró-RN, UFERSA, 2014.....	53
Figura 2 -	Estimativa das curvas cinéticas de sorção para o sulfentrazone nos diferentes solos em função do tempo de agitação em horas. Mossoró-RN, UFERSA, 2014....	54
Figura 3 -	Estimativa das Isotermas de sorção do sulfentrazone nos diferentes solos estudados. Mossoró-RN, UFERSA, 2014	56
Figura 4 -	Porcentagem de dessorção do sulfentrazone nos diferentes solos estudados ao longo do tempo. Mossoró-RN, UFERSA, 2014	59

LISTA DE TABELAS

CAPÍTULO IV

Tabela 1 - Atributos químicos de solos de diferentes regiões canavieiras do nordeste. Mossoró-RN, UFERSA, 2013.....	70
Tabela 2 - Análise granulométrica da camada de 0 – 20 cm de solos de diferentes regiões canavieiras do NE. Mossoró-RN, UFERSA, 2013.....	70
Tabela 3 - Minerais detectados na fração argila da camada arável (0-20 cm) dos solos estudados. Mossoró-RN, UFERSA, 2014	70
Tabela 4 - Equações da curvas analíticas e coeficiente de determinação (r^2) nos solos estudados. Mossoró-RN, UFERSA, 2014	78
Tabela 5 - Limites de detecção e quantificação do sulfentrazone para os solos avaliados em mg L^{-1} e mg kg^{-1} . Mossoró-RN, UFERSA, 2014	79

LISTA DE FIGURAS

CAPÍTULO IV

- Figura 1 - Cromatogramas de extratos do Argissolo Vermelho-Amarelo isento e fortificado com Sulfentrazone ($5,0 \text{ mg kg}^{-1}$), respectivamente, tempo de retenção de aproximadamente 2,5 min. Mossoró-RN, UFERSA, 2014 75
- Figura 2 - Cromatogramas de extratos do Cambissolo Háplico isento e fortificado com Sulfentrazone ($5,0 \text{ mg kg}^{-1}$), respectivamente, tempo de retenção de aproximadamente 2,5 min. Mossoró-RN, UFERSA, 2014 75
- Figura 3 - Cromatogramas de extratos do Latossolo Vermelho-Amarelo isento e fortificado com Sulfentrazone ($5,0 \text{ mg kg}^{-1}$), respectivamente, tempo de retenção de aproximadamente 2,5 min. Mossoró-RN, UFERSA, 2014 76
- Figura 4 - Cromatogramas de extratos do Neossolo Quartzarênico isento e fortificado com Sulfentrazone ($5,0 \text{ mg kg}^{-1}$), respectivamente, tempo de retenção de aproximadamente 2,5 min. Mossoró-RN, UFERSA, 2014 76
- Figura 5 - Cromatogramas de extratos do Gleissolo Háplico isento e fortificado com Sulfentrazone ($5,0 \text{ mg kg}^{-1}$), respectivamente, tempo de retenção de

	aproximadamente 2,5 min. Mossoró-RN, UFERSA, 2014	77
Figura 6 -	Curva analítica do sulfentrazone. Mossoró-RN, UFERSA, 2014	78
Figura 7 -	Intoxicação das plantas de sorgo nos solos do Nordeste brasileiro: Argissolo (A), Cambissolo (B), Latossolo (C), Neossolo (D) e Gleissolo (E), nas diferentes profundidades da coluna, após a aplicação do sulfentrazone e simulação de 60 mm de precipitação pluviométrica e sintomas visuais de intoxicação de sulfentrazone em plantas de sorgo, em diferentes profundidades das colunas (cm), nos respectivos solos. Mossoró-RN, UFERSA, 2013.....	83
Figura 8 -	Porcentagem da massa seca de sorgo em relação à testemunha em diferentes profundidades das colunas, nos cinco solos: Argissolo(A); Cambissolo (B); Latossolo (C); Neossolo (D) e Gleissolo (E), após a aplicação de sulfentrazone e simulação de precipitação pluviométrica de 60 mm. Mossoró-RN, UFERSA, 2013.....	85
Figura 9 -	Concentrações de sulfentrazone em diferentes profundidades das colunas, nos cinco solos: Argissolo(A); Cambissolo (B); Latossolo (C); Neossolo (D) e Gleissolo (E), após a aplicação de sulfentrazone e simulação de precipitação pluviométrica de 60 mm. Mossoró-RN, UFERSA, 2014	86

SUMÁRIO

CAPÍTULO I – INTRODUÇÃO

INTRODUÇÃO.....	20
REFERÊNCIAS.....	25

CAPÍTULO II - CARACTERIZAÇÃO QUÍMICA, FÍSICA E MINERALÓGICA DE SOLOS DE REGIÕES CANAVIEIRAS DO NORDESTE BRASILEIRO

RESUMO.....	28
ABSTRACT.....	29
1 INTRODUÇÃO.....	30
2 MATERIAL E MÉTODOS.....	32
3 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	34
4 CONCLUSÕES.....	40
REFERÊNCIAS.....	41

CAPÍTULO III - SORÇÃO E DESSORÇÃO DO SULFENTRAZONE EM SOLOS DA REGIÃO CANAVIEIRA DO NORDESTE BRASILEIRO

RESUMO.....	44
ABSTRACT.....	45
1 INTRODUÇÃO.....	46
2 MATERIAL E MÉTODOS.....	48
3 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	53
4 CONCLUSÕES.....	61
REFERÊNCIAS.....	62

**CAPÍTULO IV - LIXIVIAÇÃO DO SULFENTRAZONE EM
SOLOS DA REGIÃO CANAVIEIRA DO NORDESTE DO
BRASIL**

RESUMO.....	65
ABSTRACT.....	66
1 INTRODUÇÃO.....	67
2 MATERIAL E MÉTODOS.....	69
3 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	74
4 CONCLUSÕES.....	88
REFERÊNCIAS.....	89

CAPÍTULO I

INTRODUÇÃO

Dentre os agrotóxicos, os mais utilizados na agricultura mundial e no Brasil são os herbicidas; estes correspondem a mais de 50% do volume total de agrotóxicos comercializados em 2012 (SIDAG, 2014). O uso generalizado e, às vezes, abusivo desses compostos, tem gerado grandes preocupações não apenas com a sua eficiência agronômica, mas também quanto aos seus resíduos nos produtos colhidos e principalmente no meio ambiente, especialmente o solo e a água. Segundo Andrade et al. (2010a), muitas vezes, as recomendações dos herbicidas levam em consideração apenas a seletividade de herbicidas à cultura e a espécie infestante, desconsiderando sua dinâmica no ambiente.

A dinâmica de um herbicida no ambiente e seu efeito residual no solo são condicionados às propriedades físico-químicas do produto utilizado, às condições climáticas no momento da aplicação e no decorrer da persistência do herbicida no solo, e às características edáficas, dentre outros fatores. O conhecimento desses fatores é de fundamental importância para prever o comportamento de herbicidas nas diferentes classes de solo e para seleção de dosagens adequadas, bem como para evitar efeitos prejudiciais ao ambiente e às culturas subsequentes (ROSSI et al., 2005, MONQUERO et al., 2010; PASSOS et al., 2013). No solo, estes produtos estão sujeitos a processos de sorção, lixiviação e/ou degradação por processos físicos, químicos ou biológicos.

A retenção de um herbicida refere-se a um processo geral, sem distinção entre os processos específicos de adsorção, absorção e precipitação. O processo individual de sorção é complexo, em virtude da

heterogeneidade do solo e da sua continuidade com sistemas biológicos, atmosféricos e aquáticos (SILVA et al., 2007).

De maneira geral, a sorção de herbicidas ao solo aumenta com o incremento da CTC (capacidade de troca catiônica), da superfície específica do solo, da mineralogia do solo e, principalmente, do teor de carbono orgânico do solo (OLIVEIRA JR.; REGINATO, 2007). Em certos casos, o pH exerce também efeito de grande importância na sorção (SILVA et al., 2012).

De acordo com Rocha et al. (2013), para os herbicidas derivados de ácidos fracos (moléculas que apresentam capacidade de doar prótons e formar íons carregados negativamente), quando o pH do meio for maior que o pKa do herbicida, a concentração do herbicida na forma aniônica será maior do que na forma molecular. Teoricamente, formas aniônicas e neutras estarão presentes em quantidades semelhantes quando o pH for igual ao pKa (GREY et al., 1997). Dentre os herbicidas derivados de ácidos fracos, citam-se: Dicamba, 2,4-D, picloran, trifloxyfluron-sodium, sulfentrazone, imazaquim e imazapyr, etc.

A lixiviação de um herbicida no solo é dependente da capacidade de retenção da molécula do herbicida à superfície do solo (sorção). Geralmente, quanto maior for a intensidade da sorção, menor será a mobilidade do produto no perfil do solo (MARCHESE, 2007; FREITAS, 2012). A lixiviação excessiva, além de reduzir a eficiência do herbicida no controle das plantas daninhas, pode permitir que o herbicida atinja e contamine águas subsuperficiais e subterrâneas, tendo como consequência sério impacto ambiental (INOUE et al., 2003).

Dentre os herbicidas de grande uso no Brasil, se destaca o sulfentrazone [N-[2,4- dichloro-5-[4-(difluorometil)-4,5-dihidro-3-metil-5-oxo-1H-1,2,4-triazol-1-il] fenil] metanosulfonamida] (Figura 1), pertencente

ao grupo químico das aril-triazolinonas. Age na inibição da protoporfirinogênio oxidase (PROTOX) (enzima localizada no cloroplasto envolvida na biossíntese de clorofila) e, por consequência, há acúmulo de protoporfina IX, causando peroxidação do oxigênio e a destruição das membranas celulares (HESS, 1993; REDDY; LOCKE, 1998). No Brasil, o sulfentrazone é registrado para a cultura da soja, da cana-de-açúcar e do eucalipto (RODRIGUES; ALMEIDA, 2011). Este herbicida pode ser utilizado em pré-emergência, para controle de diversas dicotiledôneas e gramíneas (REDDY; LOCKE, 1998). No solo, a mobilidade deste herbicida é moderada, de baixa adsorção, com Koc a 43, pKa a 6,56 e Kow a 1,48 (RODRIGUES; ALMEIDA, 2011).

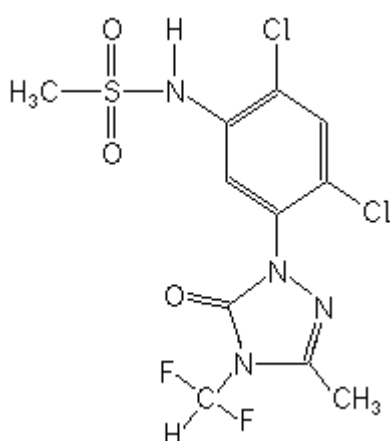


Figura 1. Fórmula estrutural do sulfentrazone.

Sua meia-vida ($t_{1/2}$) é estimada entre 110 e 280 dias, variando a partir das condições edafoclimáticas locais, sendo a atividade microbiológica seu mecanismo inicial de degradação (FMC, 1995). Possui baixa dissociação em água, comportando-se como ácido fraco, com pKa de 6,56, apresentando, portanto, predominância de carga líquida zero em pH

abaixo de 6,56 e de carga líquida negativa acima deste pH (GREY et al., 1997, 2000; REDDY; LOCKE, 1998). Sua solubilidade aumenta com o aumento do pH ($\text{pH } 6,0 = 110 \text{ mg L}^{-1}$; $\text{pH } 7,5 = 1.600 \text{ mg L}^{-1}$) (FMC, 1995).

Em solos da região sudeste do Brasil, Passos et al. (2013) e Freitas et al. (2014) verificaram que os processos de sorção, dessorção e lixiviação do sulfentrazone são dependentes das características químicas e físicas dos solos. Segundo estes autores, em solos com menor teor de argila e matéria orgânica e pH elevado, o sulfentrazone é menos sorvido aos coloides, possibilitando maiores perdas por lixiviação. Deste modo, recomendações desse herbicida, sem o prévio conhecimento das características do solo, podem resultar em controle ineficiente das plantas daninhas e intoxicação de culturas, além de sério risco de contaminação do solo e da água. Isto se justifica, pois se trata de herbicida que apresenta longa persistência no ambiente e que pode apresentar alta mobilidade em alguns tipos de solos.

Os solos da região Nordeste do Brasil, especialmente na região semiárida brasileira, apresentam características químicas e mineralógicas diferentes daquelas observados nas regiões de clima tropical, pois em geral são menos intemperizados, possuem pH alcalino, com baixa concentração de carbono orgânico e, frequentemente, possuem alta concentração de sais. Nestas condições, supõe-se que o risco de lixiviação do sulfentrazone seja maior, devido à menor sorção do herbicida nos coloides do solo, podendo ocasionar intoxicação de culturas, contaminação do solo e da água, além de comprometer sua eficácia.

Poucos estudos foram realizados sobre a dinâmica de herbicidas em solos da região Nordeste. Freitas et al. (2012) verificaram maior mobilidade do ametryn em solos da região semiárida do Rio Grande do Norte em relação ao Latossolo Vermelho Amarelo de Minas Gerais, influenciada pelo baixo teor de matéria orgânica e pelo pH alcalino dos solos da região

semiárida. Felipe et al. (2010) não verificaram intoxicação dos herbicidas ametryn, diuron, flumioxazin sobre plantas de mamão, aplicados no solo antes do transplante das mudas, utilizando-se Latossolo Vermelho Amarelo do município de Viçosa-MG, com pH 4,7 e 3,0% de matéria orgânica, ao passo que Nascimento (2011), estudando seletividade dos mesmos herbicidas para a cultura em um Cambissolo do município de Baraúna-RN, com pH=7,2 e 1,2% de matéria orgânica, constatou perda de seletividade destes produtos, que causou morte das plantas. Segundo a autora, a perda da seletividade se deve à menor sorção dos herbicidas no solo, aumentando sua disponibilidade na solução, em consequência do maior pH e do menor teor de matéria orgânica.

Considerando que os solos são formados por materiais de origem diferente, formando um complexo argilo-orgânico com características físico-químicas variáveis, as quais interagem com os herbicidas, muitos estudos ainda precisam ser feitos para se recomendar com segurança os herbicidas visando à eficiência de controle e redução de impacto ambiental (ANDRADE et al., 2010b).

REFERÊNCIAS

ANDRADE, S. R. B.; SILVA, A. A.; QUEIROZ, M. E. L.; LIMA, C. F.; D'ANTONINO, L. Sorção e dessorção do ametryn em argissolo vermelho-amarelo e latossolo vermelho-amarelo com diferentes valores de pH. **Planta Daninha**, Viçosa-MG, v. 28, n. 1, p. 177-184, 2010a.

ANDRADE, S. R. B.; SILVA, A. A.; LIMA, C. F.; D'ANTONINO, L.; QUEIROZ, M. E. L. R.; FRANÇA, A. C.; FELIPE, R. S.; VICTORIA FILHO, R. Lixiviação do ametryn em Argissolo Vermelho-Amarelo e Latossolo Vermelho-Amarelo, com diferentes valores de pH. **Planta Daninha**, Viçosa-MG, v. 28, n. 3, p. 655-663, 2010b.

FELIPE, R. S.; GONÇALVES, V. A.; GUIMARÃES, F. C. N.; SILVA, A. F.; NASCIMENTO, P. G. M. L.; FREITAS, F. C. L. **Efeito de herbicidas aplicados na pré-emergência da cultura do mamoeiro**. XXVIII Congresso Brasileiro da Ciência das Plantas Daninhas, RESUMOS... Ribeirão Preto. 2010.

FMC Crop. **Technical bulletin of sulfentrazone**. Philadelphia: FMC corporation, 1995. 6p.

FREITAS, F. C. L.; SILVA, A. A.; SILVA, L. O. C.; ROCHA, P. R. R.; GUIMARÃES, F. C. N.; FREITAS, M. A. M.; FELIPE, R. S. Mobilidade do ametryn em solos da região semiárida do Rio Grande do Norte. **Planta Daninha**, Viçosa-MG, v. 30, n. 3, p. 641-648, 2012.

FREITAS, M. A. M.; PASSOS, A. B. R. J.; TORRES, L. G.; MORAES, H. M. F.; ROCHA, P. R. R. ; SILVA, A. A. . Sorção do sulfentrazone em diferentes tipos de solo determinada por bioensaios. **Planta Daninha**, Viçosa-MG, v. 32, n. 1, p. 385-392, 2014.

GREY, T. L.; WALKER, R. H.; WEHTJE, G. R.; ADAMS, J.; DAYAN, F. E.; WEETE, J. D.; HANCOCK, H. G.; KWON, O. Behavior of sulfentran in ionic exchange resins, electrophoreses gels, and cation-saturated soils. **Weed Science**, v. 48, n. 1, p. 239-247, 2000.

GREY, T. L.; WALKER, G. R.; WEHTJE, G. R.; HANCOCK, H. G. Sulfentrazone absorption and mobility as affected by soil and pH. **Weed Science**, v. 45, n. 1, p. 733-738, 1997.

HESS, D. F. Herbicide effects on plant structure, physiology, and biochemistry. In: ALTMAN, J. (org.). **Pesticide Interactions in Crop Production: Beneficial and deleterious effects**. Boca Raton: CRC Press, 1993. p. 13-34.

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

MARCHESE, L. **Sorção/dessorção e lixiviação do herbicida ametrina em solos canavieiros tratados com lodo de esgoto**. 81f. 2007. Dissertação (Mestrado em Ciências) Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2007.

MONQUERO, P. A. et al. Lixiviação e persistência dos herbicidas sulfentrazone e imazapic. **Planta Daninha**, Viçosa, v. 28, n. 1, p. 185-195, 2010.

NASCIMENTO, Paula Gracielly Moraes Lima do. **Seletividade e eficácia de herbicidas na cultura do mamão**, 2011. 65f. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia) – Universidade Federal Rural do Semiárido, Mossoró-RN, 2011.

OLIVEIRA JR., R. S.; REGINATO, B. R. Comportamento de herbicidas no ambiente. In: FREITAS, F. C. L.; KARAM, D.; OLIVEIRA, O. F., PROCOPIO, S. O. SIMPÓSIO SOBRE MANEJO DE PLANTAS DANINHAS NO SEMI-ÁRIDO, I, 2007, Mossoró, Anais ..., Mossoró: 2007. p. 159-182.

PASSOS, A. B. R. J.; FREITAS, M. A. M. ; TORRES, L. G. ; SILVA, A. A. ; QUEIROZ, M. E. L. R. ; LIMA, C. F. Sorption and desorption of sulfentrazone in Brazilian soils. **Journal of Environmental Science and Health**. Part B. Pesticides, Food Contaminants, and Agricultural Wastes, v. 48, p. 646-650, 2013.

REDDY, K. N.; LOCKE, M. A. Sulfentrazone sorption, desorption and mineralization in soils from two tillage systems. **Weed Science**, v. 46, p. 494-500, 1998.

RODRIGUES, B. N.; ALMEIDA, F. S. **Guia de herbicidas**. 6.ed. Londrina: Edição dos autores, 2011. 697 p.

ROCHA, P. R. R.; BRAGA, D. F.; FREITAS, F. C. L.; FIALHO, C. M. T.

Dinâmica de herbicidas em solos do Nordeste In: COSTA, A. G. F., FREITAS, F. C. L, SOFIATTI, V. **Desafios, avanços e soluções no manejo de plantas daninhas: palestras apresentadas no II Simpósio sobre manejo de plantas daninhas no Nordeste**. 1ªed. Brasília: EMBRAPA, 2013. p. 37-50.

ROSSI, C. V. S.; ALVES, P. L. C. A.; MARQUES JÚNIOR, J. Mobilidade do sulfentrazone em Latossolo Vermelho e em Chernossolo. **Planta Daninha**, Viçosa-MG, v. 23, n. 4, p. 701-710, 2005.

SILVA, A. A.; SILVA, J. F. **Tópicos em manejo de plantas daninhas**. Viçosa: Ed. UFV, 2007. p. 189-248.

SILVA L, O, C. et al. Sorção e Dessorção do Ametryn em Latossolos Brasileiros. **Planta Daninha**, Viçosa-MG, v. 30, n. 3, p. 633-640, 2012.

SINDAG – Sindicato Nacional da Indústria de Produtos para Defesa Agrícola. Disponível em:
<http://www.sindag.com.br/conexao/anteriores/conexao_n22.pdf>.
Acessado em: 05 abr. 2014.

CAPÍTULO II

CARACTERIZAÇÃO QUÍMICA, FÍSICA E MINERALÓGICA DE SOLOS DE REGIÕES CANAVIEIRAS DO NORDESTE BRASILEIRO

RESUMO

A avaliação dos atributos físicos, químicos e mineralógicos é a principal ferramenta para o conhecimento e avaliação do uso agrícola de solos para atividade canavieira. O objetivo foi caracterizar química, física e mineralogicamente a camada arável de diferentes classes de solos distribuídas em três estados da região Nordeste que possuem atividade canavieira. Foram coletados cinco solos: Neossolo Quartzarênico (Pedro Velho-RN), Cambissolo Háplico (Quixeré-CE); Latossolo vermelho-Amarelo (Tabuleiros Costeiros - Maceió-AL), Argissolo Vermelho-Amarelo (Tabuleiros Costeiros - Maceió-AL) e um Gleissolo Háplico (várzea - Maceió-AL). As amostras de solos foram secas ao ar, destorroadas e passadas em peneiras com malha de 2 mm para obtenção da TFSA. De cada amostra de solo, foi retirada uma subamostra para realização de análises químicas (pH em água, bases trocáveis, Al trocável, P disponível e carbono orgânico total e acidez potencial), físicas (granulometria) e mineralógicas (separação da fração argila e identificação dos minerais). Foram calculados os valores de capacidade de troca catiônica, saturação por bases, saturação por alumínio e porcentagem de sódio trocável. A caracterização dos atributos dos solos permitiu observar que as áreas com cultivo de cana-de-açúcar variam em função principalmente dos atributos físicos, com solos de diferentes classes texturais. Já em relação aos atributos químicos, destaque foi dado ao teor de carbono orgânico total e P disponível. Em relação à mineralogia, foi possível observar que as áreas canavieiras são instaladas desde solos jovens com predomínio de argilominerais 2:1 até solos mais desenvolvidos, com presença de caulinita, gibbsita e óxidos de ferro.

Palavras Chaves: Cana-de-açúcar, Granulometria, Argilominerais, atributos do solo.

**CHEMICAL, PHYSICAL AND MINERALOGICAL
CHARACTERIZATION OF SOILS FROM SUGAR CANE REGIONS
IN BRAZILIAN NORTHEASTERN**

ABSTRACT

The evaluation of physical, chemical and mineralogical attributes is the primary tool for knowledge and evaluation of the agricultural use of land for sugar cane cultivation. The objective was to characterize the chemical, physical and mineralogical the topsoil of different soil classes distributed in three states in the Northeast that have sugar cane cultivation. We collected five soils: Quartzipsamment (Pedro Velho -RN), Cambisol (Quixeré - CE); Oxisol (Taboleiros Costeiros - Maceió-AL), Ultisol (Taboleiros Costeiros - Maceió-AL) and an Epiaquic Haplustult (floodplain - Maceió-AL). The soil samples were air dried and pressed into buffered sieve with 2 mm mesh to obtain TFSA. Each soil sample was taken sample for carrying out chemical analysis (pH, exchangeable bases, Al, P and total organic carbon and potential acidity) physical (particle size) and mineralogical (separation of the clay fraction and identification of minerals). We calculated the cation exchange capacity values, base saturation, aluminum saturation and exchangeable sodium percentage. The characterization of soil attributes allowed observing that areas with cane sugar cultivation vary depending mainly physical attributes, with soils of different textural classes. In relation to chemical, emphasis was given to the total organic carbon and available phosphorus. Regarding the mineralogy, it was observed that the sugarcane areas are installed from young soils with predominance of 2: 1 clay soils to more developed as the presence of kaolinite, gibbsite and iron oxides.

Key Words: Sugar cane, grain size, clay mineral, soil attributes.

1 INTRODUÇÃO

O Brasil tem se destacado como o maior produtor mundial de cana-de-açúcar (*Saccharum spp.*), cuja produção ultrapassa 650 milhões de toneladas/ano na safra 2013/14, com cultivo de aproximadamente nove milhões de hectares (UNICA, 2014). A região Nordeste responde por 15% da atual área plantada com cana-de-açúcar no país (UNICA, 2014), sendo concentrada na faixa da Zona da Mata, com áreas plantadas que se estendem desde o estado da Bahia até o Maranhão. Tal faixa possui clima tropical úmido e solos com ampla diversificação em função da variação de geologia e relevo ao longo do seu domínio, permitindo bom desenvolvimento da atividade sucroalcooleira.

Campos et al. (2009) observaram que o crescente aumento das áreas plantadas com cana-de-açúcar e sua importância na economia do país impulsionam a procura de técnicas que proporcionem avançado sistema de cultivo sempre visando a otimizar o uso do solo e a reduzir os custos de produção. Lepsch (1987) afirma que o solo é apenas um dos componentes de um conjunto complexo de fatores de produção, destacando-se pelo seu importante papel de fornecer às plantas suporte físico, água e nutrientes. Portanto, o conhecimento das características inerentes a cada solo, os chamados fatores edáficos, é importante para avaliar o potencial de produção agrícola.

Diversos estudos têm sido realizados no sentido de compreender os atributos do solo e utilizá-los como indicadores do uso agrícola, para que sejam adotados sistemas de manejo que não comprometam o uso no futuro, mantendo, desta forma, o estabelecimento do conceito de sustentabilidade.

Além de influenciar o crescimento e desenvolvimento da cultura, os atributos químicos e físicos do solo, bem como a sua mineralogia, interferem em outros fatores, como a dinâmica dos agrotóxicos,

especialmente os herbicidas, que, se aplicados com intensidade, podem gerar grandes preocupações, tanto com a sua eficiência agrônômica quanto com os seus resíduos nos produtos colhidos e no ambiente, como a contaminação de águas superficiais e subterrâneas.

Diversos estudos realizados sobre o comportamento de herbicidas em solos brasileiros enfatizam a grande importância das características físicas e químicas do solo, com destaque para o teor de matéria orgânica, o pH e a textura (ROSSI et al., 2005; PAULA, 2007; VIVIAN et al., 2007; OLIVEIRA; FREITAS, 2009; JACOMINI et al., 2009; ANDRADE et al., 2010; SANTOS et al., 2010) No entanto, a maioria dos trabalhos foi conduzida com solos de regiões tropicais, que apresentam características químicas e mineralógicas diferentes dos solos da região Nordeste do Brasil, especialmente os da região semiárida, os quais, em geral, são menos intemperizados, possuem pH alcalino, baixa concentração de carbono orgânico e, frequentemente, possuem alta concentração de sais (ROCHA et al., 2013).

A avaliação dos atributos físicos, químicos e mineralógicos é a principal ferramenta para o conhecimento e avaliação do uso agrícola de solos para atividade canavieira. Entretanto, a carência de informações, principalmente dos solos do Nordeste, pode limitar a expansão agrícola na região, haja vista que somente o estado de São Paulo responde por 53% da área plantada com a cultura da cana-de-açúcar no país (ÚNICA, 2014).

Desta forma, o objetivo deste trabalho foi caracterizar química, física e mineralogicamente a camada arável de diferentes classes de solos distribuídas em três estados da região Nordeste que possuem atividade canavieira.

2 MATERIAL E MÉTODOS

As áreas de estudo compreendem três estados do Nordeste brasileiro:

Alagoas, município de Maceió (9° 39' S e 35° 44' O), que apresenta clima quente e úmido, caracterizado por apresentar-se sem grandes diferenciações térmicas e precipitação concentrada no outono e inverno e com temperaturas médias mensais que oscilam em torno de 25,1 °C e índice pluviométrico sempre superior a 1.410 mm por ano (INMET, 2014).

Rio Grande do Norte, município de Pedro Velho (6° 25' 48" S e 35° 13' 28" W), com clima tropical chuvoso com verão seco e estação chuvosa concentrando-se nos meses de janeiro a agosto. As temperaturas médias anuais são de 25,6 °C e o índice pluviométrico anual é de 1.218 mm (INMET, 2014).

Ceará, município de Quixeré (5° 4' 44" S e 37° 48' 3" O), apresentando clima tropical semiárido, caracterizado por estação chuvosa concentrada nos meses de fevereiro a abril e temperaturas médias anuais variando entre 26 a 28 °C e pluviosidade média anual de 857 mm (INMET, 2014).

No município de Maceió-AL, foram coletadas amostras de três solos. Nos Tabuleiros Costeiros, foram coletados o Latossolo Vermelho-Amarelo (LVA) e o Argissolo Vermelho-Amarelo (PVA) e em área de várzea, o Gleissolo Háptico (GX). No município de Pedro Velho-RN, foi coletada amostra de uma ordem de solo, o Neossolo Quartzarênico (RQ), e no município de Quixeré-CE, também foi coletada amostra de uma ordem de solo, o Cambissolo Háptico (CX). Como em todas as áreas há uso do solo com a cultura da cana-de-açúcar, para fins de caracterização foi necessário localizar áreas nativas adjacentes às áreas manejadas, a fim de se obter

amostras em condições de boa preservação, sendo feita a coleta na camada 0-20 cm, considerada camada arável.

Visando à caracterização física, química e mineralógica, as amostras coletadas foram secas ao ar, destorroadas e passadas em peneira de 2 mm de abertura de malha, obtendo-se a terra fina seca ao ar (TFSA), que foi submetida às análises físicas (granulometria) e químicas (pH em água, bases trocáveis, Al trocável, P disponível e carbono orgânico total e acidez potencial) realizadas conforme EMBRAPA (1997). Na análise granulométrica, foi feita a utilização de agitação lenta de 50 rpm por 16 h (RUIZ, 2005a) e determinação de silte por pipetagem (RUIZ, 2005b). Foram calculados os valores de capacidade de troca catiônica (CTC), saturação por bases (V), saturação por alumínio (m) e porcentagem de sódio trocável (PST).

Para a análise mineralógica, inicialmente realizou-se a separação das frações granulométricas da TFSA de acordo com EMBRAPA (1997), obtendo-se, desta forma, as frações areia, silte e argila. Os minerais da fração argila foram identificados por difratometria de raios X no pó (DRXP). Foi utilizado difratômetro SHIMADZU modelo XRD - 6100, empregando-se emissão $k_{\alpha 1}$ do cobre. O potencial da fonte foi de 40 kV e a corrente, de 30 mA. Utilizou-se uma velocidade de varredura com um passo de $0,02^\circ$ a cada segundo. A faixa de varredura (2θ) foi de 5 a 60° . A identificação dos picos foi realizada com o auxílio do programa RaioX v. 1.0.0.37, desenvolvido por Fernandes Filho & Abrahão, e os minerais identificados de acordo com Chen (1977).

3 RESULTADO E DISCUSSÃO

3.1 CARACTERIZAÇÃO FÍSICA

A granulometria da camada arável dos solos estudados apresentou diferentes classes texturais, com texturas que variaram de Argilosa a Muito arenosa (Tabela 1). Esta variação demonstra a amplitude de adaptação da cultura da cana-de-açúcar a tal atributo. As áreas do estado de Alagoas, que compreendem as classes do LVA, PVA e GX, apresentaram textura mais próxima, tendo apenas o GX maior quantidade de silte, o que pode ser justificado pelo seu menor avanço no intemperismo, quando comparado ao LVA e PVA.

Tabela 1. Análise granulométrica da camada de 0 – 20 cm de solos de diferentes regiões canavieiras do NE. Mossoró-RN, UFERSA, 2013.

Solos	Areia	Silte	Argila	Classe textural
	-----g/kg-----			
Latossolo	630	110	260	Média-argilosa
Argissolo	680	70	250	Média-argilosa
Gleissolo	500	280	220	Média-siltosa
Neossolo	930	50	20	Muito arenosa
Cambissolo	480	150	370	Argilosa

Já as classes de solos das áreas estudadas no Rio Grande do Norte e Ceará tiveram classes texturais muito distintas, sendo a classe textural do Neossolo de Pedro Velho-RN muito arenosa e do Cambissolo de Quixeré-CE, argilosa.

3.2 CARACTERIZAÇÃO QUÍMICA

Os atributos químicos da camada arável de cada classe de solo também apresentaram variação em função das diferentes áreas estudadas, porém foram distinções discretas. Destaque pode ser dado ao teor de carbono orgânico total (COT), que apresentou valores altos para o Gleissolo (28,42 g kg⁻¹) e muito baixos para o Neossolo (5,70 g kg⁻¹) (Tabela 2). Mudanças no ambiente, decorrentes de práticas de manejo inadequadas, podem levar ao rápido declínio do estoque de matéria orgânica do solo (MOS) em áreas tropicais e subtropicais (BAYER; MIELNICZUK, 1999; FREIXO et al., 2002).

Avaliando as bases trocáveis do solo, observou-se que apenas o CX classifica-se como eutrófico (V<50 %), sendo as demais classes de solos distróficas (V>50 %) (Tabela 2), na camada de 0-20 cm. Porém, esta eutrofia não pode ser associada a solos muito férteis, pois os teores absolutos das bases trocáveis (Ca²⁺, Mg²⁺, K⁺ e Na⁺) e da capacidade de troca catiônica potencial são baixos, com exceção do CX, que apresenta o maior teor de Ca²⁺ e Mg²⁺.

Quanto ao teor de fósforo disponível (P), destaque é dado à classe do GX, que apresentou teor elevado na camada arável (91,2 mg dm⁻³), tendo como principal justificativa o fato de esta área estar localizada em ambiente de várzea, tornando-se um local de deposição de materiais e compostos de diferentes origens, além da maior atividade biológica existente neste ambiente, tornando possível o acúmulo maior de P nos primeiros centímetros do solo.

Tabela 2. Atributos químicos de solos de diferentes regiões canavieiras do nordeste. Mossoró-RN, UFERSA, 2013

Solos	pH	COT	P	K ⁺	Na ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Al ³⁺	H+Al	T	CTC	V	m	PST
		g/kg		mg/dm ³		cmol _c /kg						%		
Latossolo	5,1	13,85	2,7	33,4	11,6	0,32	0,46	0,15	2,97	1,07	3,89	24	14	1
Argissolo	5,05	20,69	5,0	59,8	11,6	1,88	0,53	0,10	3,05	2,71	5,67	46	4	1
Gleissolo	4,29	28,42	91,2	159,4	61,5	1,22	1,56	0,25	6,11	3,71	9,56	36	7	3
Neossolo	3,9	5,70	2,2	31,7	8,8	0,35	0,25	0,15	2,97	0,87	3,69	19	17	1
Cambissolo	6,7	15,62	3,5	186	33	10,3	2,10	0,00	2,48	13,02	15,49	84	0	1

COT: Carbono orgânico total; H+Al: acidez potencial; t: capacidade de troca catiônica potencial; V: saturação por bases; m: saturação por alumínio e PST: porcentagem de sódio trocável.

A saturação por alumínio (m) não foi observada apenas na classe do Cambissolo: as demais classes apresentaram valores superiores a 4%. Para determinação do caráter alítico ou aluminico em solos, o valor m deve ser superior a 50% e o teor de Al^{3+} trocável, maior ou igual a 4 $\text{cmol}_c \text{ kg}^{-1}$ de solo (SANTOS et al., 2013), o que também não ocorre nos solos estudados.

Já o teor de Na^+ pode comprometer apenas a classe do GX, pois a camada arável apresentou porcentagem de sódio trocável (PST) de 3%. As demais classes não apresentaram riscos de saturação por sódio nos primeiros 20 cm do solo.

3.3 CARACTERIZAÇÃO MINERALÓGICA

Cada classe de solo apresentou peculiaridades em relação à mineralogia e isto advém provavelmente dos diferentes materiais originários associados a diferentes processos pedogenéticos ocorrentes na formação de cada classe. O mineral predominante em todos os tipos de solo foi a Caulinita (Ct), extremamente comum nos solos tropicais, ocorrendo desde LVA, na região canavieira de Alagoas, até CX e RQ nos estados do Ceará e Rio Grande do Norte, respectivamente (Tabela 3).

Os LVA e PVA do estado de Alagoas apresentaram mineralogia semelhante, porém observa-se maior cristalinidade no LVA, dada sua evolução maior no intemperismo pela observação da definição dos picos dos minerais, assim como a presença da Gibsita (Gb), o que não ocorre na classe do CX, justamente por ser menos intemperizado. Os picos de Ilita e Mica (Il-Mi) (Figura 1), encontrados no GX e RQ, denotam pouca evolução na pedogênese, já que estes minerais do tipo 2:1 expressam pouco avanço no intemperismo.

Tabela 3. Minerais detectados na fração argila da camada arável (0-20 cm) dos solos estudados. Mossoró-RN, UFERSA, 2014.

Classe de solo	Minerais detectados
Latossolo	Ct; Gb; Gt; Hm
Argissolo	Ct; Gb; Gt; Hm
Cambissolo	Ct; Gt; Hm
Gleissolo	Ct; Il-Mi
Neossolo	Ct; Il-Mi; Qz

Ct: Caulinita; Il-Mi: Ilita-Mica; Gb: Gibbsita; Gt: Goethita; Hm: Hematita; Qz: Quartzo.

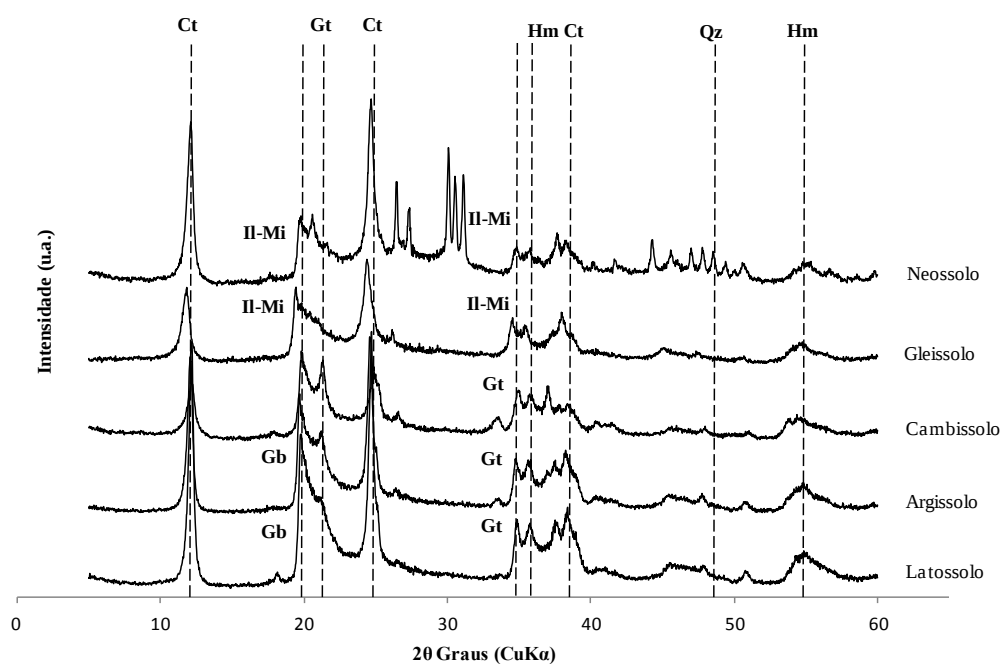


Figura 1. Difratograma da fração argila da camada arável (0-20 cm) dos solos estudados. Ct: Caulinita; Il-Mi: Ilita-Mica; Gb: Gibbsita; Gt: Goethita; Hm: Hematita; Qz: Quartzo. Mossoró-RN, UFERSA, 2014.

Para distinção dos picos da Ilita e Mica, é necessária a utilização de técnicas de tratamento das amostras para que eles sejam identificados e

separados, o que posteriormente será realizado. É importante observar a presença do mineral de Quartzo (Qz), típico da fração areia e silte, porém encontrado na fração argila do RQ. Este comportamento pode ocorrer em solos menos intemperizados, denotando que houve apenas fragmentação mineral e não transformação por intemperismo químico.

4 CONCLUSÕES

- A caracterização dos atributos dos solos permitiu observar que as características dos solos com cultivo de cana-de-açúcar variam em função principalmente dos atributos físicos, com solos de diferentes classes texturais e químico, tendo destaque o teor de carbono orgânico total e fósforo disponível.
- Em relação à mineralogia, foi possível observar que as áreas canavieiras são instaladas desde solos jovens com presença de argilominerais 2:1 até solos mais desenvolvidos, com presença de caulinita, gibsitita e óxidos de ferro.

REFERÊNCIAS

- ANDRADE, S. R. B.; SILVA, A. A.; QUEIROZ, M. E. L. R.; LIMA, C. F.; D'ANTONINO, L. Sorção e dessorção do ametryn em argissolo vermelho-amarelo e latossolo vermelho-amarelo com diferentes valores de pH. **Planta Daninha**, Viçosa, v. 28, n. 1, p. 177-184, jan./mar. 2010.
- BAYER, C.; MIELNICZUC, J. Dinâmicas e função da matéria orgânica. In: SANTOS, G. A.; CAMARGO, F. A. O. (Eds.) **Fundamentos da matéria orgânica do solo: Ecossistemas tropicais e subtropicais**. Porto Alegre: Gênese, 1999. p. 9-26.
- CAMPOS, M. C. C.; MARQUES JÚNIOR, J.; PEREIRA, G. T.; SOUZA, Z. M.; MONTANARI, R. Planejamento agrícola e implantação de sistema de cultivo de cana-de-açúcar com auxílio de técnicas geoestatísticas. **R. Bras. Eng. Agríc. Amb.**, v. 13, p. 297-304, 2009.
- CHEN, P. Y. **Table of key lines in X-ray powder diffraction patterns of minerals in clays and associated rocks**: Geological Survey Occasional Paper 21. Bloomington, Indiana Geological Survey Report. 1977. 67p. Disponível em: <<http://www.inmet.gov.br/portal/>>. Acessado em: 12 nov. 2014.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Manual de métodos de análise do solo**. Rio de Janeiro, 1997. 212p.
- FREIXO, A. A.; MACHADO, P. L. O. A.; GUIMARÃES, C. M.; SILVA, C. A.; FADIGAS, F. S. Estoque de carbono e nitrogênio e distribuição de frações orgânicas de Latossolo do Cerrado sob diferentes sistemas de cultivo. **R. Bras. Ci. Solo**, v. 26, p. 425-434, 2002.
- JACOMINI, A. E., CAMARGO, P. B., AVELARA, E. P.; BONATO, P. S. Determination of Ametryn in River Water, River Sediment and Bivalve Mussels by Liquid Chromatography-Tandem Mass Spectrometry. **Journal of the Brazilian Chemical Society**, v. 20, n. 1, p. 107-116, 2009.
- EPSCH, I. F. Influência dos fatores edáficos na produção. In: CASTRO, P. R. C.; FERREIRA, S. O.; YAMADA, T. (Coord.). **Ecofisiologia da produção**. Piracicaba: Associação Brasileira para Pesquisa da Potassa e do Fosfato, 1987. p. 83-98.

OLIVEIRA, A. R.; FREITAS S. P. Palha de cana-de-açúcar associada ao herbicida trifloxysulfuron sodium + ametryn no controle de *Rottboellia exaltata*. **Bragantia**, Campinas, v. 68, n.1, p.187- 194, jan./mar. 2009.

PAULA, R. T. **Mobilidade de atrazine e ametryn em Latossolo Vermelho-Amarelo**. 2007. 105f. Dissertação (Mestrado em Agroquímica) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 2007.

ROCHA, P. R. R; BRAGA, D. F.; FREITAS, F. C. L.; FIALHO, C. M. T. Dinâmica de herbicidas em solos do Nordeste In: COSTA, A. G. F.; FREITAS, F. C. L.; SOFIATTI, V. **Desafios, avanços e soluções no manejo de plantas daninhas: palestras apresentadas no II Simpósio sobre manejo de plantas daninhas no Nordeste**. 1ªed. Brasília: EMBRAPA, 2013. p. 37-50.

ROSSI, C. V. S.; ALVES, P. L. C. A.; MARQUES JÚNIOR, J. Mobilidade do sulfentrazone em Latossolo Vermelho e em Chernossolo. **Planta Daninha**, Viçosa, v. 23, n. 4, p. 701-710, out./dez. 2005.

RUIZ, H. A. Dispersão física do solo para análise granulométrica por agitação lenta. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 30, 2005, Recife - PE. CD-ROM. Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2005a.

RUIZ, H. A. Incremento da exatidão da análise granulométrica do solo por meio da coleta da suspensão (silte + argila). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 29, p. 297-300, 2005b.

SANTOS, H. G.; JACOMINE, P. K. T.; ANJOS, L. H. C.; OLIVEIRA, V. A.; LUMBRERAS, J. F.; COELHO, M. R.; ALMEIDA, J. A.; CUNHA, T. J. F.; OLIVEIRA, J. B. (Ed.). Sistema brasileiro de classificação de solos. 3.ed. Rio de Janeiro: **Embrapa Solos**, 2013. 353p.

SANTOS, L. B. O. Determination of picloram in waters by sequential injection chromatography with UV detection. **Journal Brazilian Chemical Society**, v. 21, n. 8, 2010.

SILVA, K. C.; SILVA, V. N. B.; SOFIATTI, V.; ZONTA, J. H.; LIMA, R. L. S.; SILVA, H. Tolerância de mamoneira ao herbicida pendimethalin em solos com diferentes capacidades de adsorção. **Revista Brasileira de**

Engenharia Agrícola Ambiental, Campina Grande, v. 16, n. 12, p. 1298-1304, dez. 2012.

UNICA - União da Indústria de Cana-de-Açúcar (2014). Disponível em: <<http://www.unicata.com.br/historico-de-area-ibge/>>. Acessado em: 09 nov. 2014.

VIVIAN, R.; GUIMARÃES, A. A.; QUEIROZ, M. E. L. R.; SILVA, A. A.; REIS, M. R.; SANTOS, J. B. Adsorção e dessorção de trifloxysulfuron-sodium e ametryn em solos brasileiros. **Planta Daninha**, Viçosa, MG, v. 25, n. 1, p. 97-109, jan./mar.2007.

CAPÍTULO III

SORÇÃO E DESSORÇÃO DO SULFENTRAZONE EM SOLOS DA REGIÃO CANAVIEIRA DO NORDESTE BRASILEIRO

RESUMO

A sorção e dessorção do sulfentrazone são influenciadas por diversos fatores, como as características físicas, químicas e mineralógicas dos solos. Poucos estudos foram realizados avaliando a dinâmica de herbicidas nos solos da região Nordeste do Brasil. Diante do exposto, objetivou-se neste trabalho avaliar a sorção e a dessorção do sulfentrazone em cinco solos coletados em áreas canavieiras do nordeste brasileiro (Neossolo Quartzarênico, Argissolo Vermelho-Amarelo, Cambissolo Háplico, Latossolo Vermelho-Amarelo e Gleissolo Háplico). A avaliação da sorção e da dessorção do herbicida foi feita em condições de laboratório, que consistiu na utilização de 10 ml de solução com concentrações de 0; 0,5; 1,0; 2,0; 4,0; 8,0; 15,0 e 30 mg L⁻¹ do sulfentrazone preparadas em CaCl₂ a 0,01 mol L⁻¹. As soluções foram adicionadas as amostras dos solos e agitadas por 12 h. a partir dos resultados encontrados, ajustaram-se as Isotermas de freundlich para descrever a sorção do herbicida. A dessorção foi avaliada pela diferença entre a sorção inicial e a leitura da concentração do herbicida na solução. Observou-se para os cinco solos que o tempo necessário para o equilíbrio da sorção foi de duas horas. Verificou-se que os processos de sorção e dessorção do sulfentrazone foram dependentes das características químicas e físicas dos solos em estudo, como textura e teor de matéria orgânica, apresentando a seguinte ordem decrescente de sorção: Argissolo Vermelho-Amarelo (Kf = 8,74) > Latossolo Vermelho-Amarelo (Kf = 8,23) > Neossolo Quartzarênico (Kf = 7,50) > cambissolo Háplico (Kf = 6,98) > Gleissolo Háplico (Kf = 6,67); enquanto que a dessorção decresceu na seguinte ordem: Argissolo Vermelho-Amarelo < Gleissolo Háplico < Neossolo Quartzarênico < Cambissolo Háplico < Latossolo Vermelho-Amarelo.

Palavras-chave: herbicida, adsorção, tempo de equilíbrio.

SORPTION AND DESORPTION OF SULFENTRAZONE IN SOILS FROM SUGAR CANE REGION OF BRAZILIAN NORTHEASTERN

ABSTRACT

The sorption and desorption of sulfentrazone is influenced by several factors, such as physical, chemical and mineralogical soil. Few studies have been conducted to evaluate the dynamics of herbicides in soil in the northeast region of Brazil. Given the above, the aim of this study was to evaluate the sorption and desorption of sulfentrazone in five soils collected in sugarcane areas of northeastern Brazil (Quartzipsamment, Ultisol, Cambisol, Oxisol and Epiaquic Haplustult). The evaluation of sorption and desorption of the herbicide was made under laboratory conditions, which involved the use of 10 ml of solution containing concentrations of 0; 0.5; 1.0; 2.0; 4.0; 8.0; Sulfentrazone 15.0 and 30 mg L⁻¹ prepared in CaCl₂ 0.01 mol L⁻¹. The solutions were added to samples of soils and stirred for 12 hours from the results found, the isotherms freundlich is set to describe the sorption of the herbicide. Desorption was evaluated by the difference between the initial sorption and reading the concentration of the herbicide in solution. We observed for the five soils that equilibrium sorption spent two hours. It was found that the sorption and desorption processes of sulfentrazone were dependent on the chemical and physical characteristics of the soils under study, such as texture and organic matter content, with the following descending order of sorption: Red-Yellow Ultisol ($K_f = 8.74$) > Oxisol ($K_f = 8.23$) > Quartzipsamment ($K_f = 7.50$) > Cambisol ($K_f = 6.98$) > Epiaquic Haplustult ($K_f = 6.67$); while the desorption decreased in the following order: Argisol < Epiaquic Haplustult < Quartzipsamment < Cambisol < Oxisol.

Keywords: herbicide, adsorption, equilibrium time.

1 INTRODUÇÃO

O manejo de plantas daninhas nos sistemas de produção atualmente em uso na canavieira brasileira está baseado na integração de medidas culturais, mecânicas, físicas e químicas, de modo que este último resulta nos melhores índices de controle, tornando o uso de herbicidas o método de maior utilização pelos produtores de cana de açúcar. Nas áreas próximas ao cultivo desta cultura, registra-se maior ocorrência de resíduos desses compostos, já que esta é uma das culturas que mais utilizam herbicidas no manejo de plantas daninhas (SOUTHWICK et al., 2002; VIVIAN et al., 2007).

O herbicida sulfentrazone 2',4'-dichloro-5-(4- difluoromethyl-4,5-dihydro-3-methyl-5-oxo-1H1,2,4-triazol-1-yl) methanesulfonanilide é inibidor da protoporfirinogênio oxidase (PROTOX). Esse herbicida possui excelente atividade pré-emergente no solo para controle de plantas daninhas dicotiledôneas e diversas espécies monocotiledôneas (FMC CROP., 1995), sendo registrado para o controle das plantas daninhas nas culturas de cana-de-açúcar, soja e eucalipto (HULTING et al., 2001). Sua meia-vida no solo ($t_{1/2}$) é estimada entre 110 e 280 dias (FMC CORP., 1995). Sua solubilidade se eleva com o aumento do pH (pH 6,0 = 110 mg L⁻¹; pH 7,5 = 1.600 mg L⁻¹ (FMC CROP., 1995). É considerado um herbicida ácido fraco (pKa = 6,56) ionizável, encontrado em diferentes proporções das suas formas molecular (pH < pKa) e aniônica (pH > pKa), dependendo do pH do solo.

A disponibilidade de herbicidas na solução do solo depende do equilíbrio dos processos de sorção e dessorção. O processo individual de sorção é profundamente complexo, em virtude da heterogeneidade do solo e de sua continuidade com sistemas biológicos, atmosféricos e aquáticos (SILVA et al., 2007).

A sorção e dessorção do sulfentrazone são dependentes das características químicas e físicas dos solos (PASSOS et al., 2013), principalmente matéria orgânica, pH e argila. Deste modo, recomendações desse herbicida, sem o prévio conhecimento das características do solo, podem resultar em controle ineficiente das plantas daninhas e intoxicação de culturas, além de sério risco de contaminação do solo e da água.

Os solos da região Nordeste praticamente não foram estudados com relação ao comportamento de herbicidas. Estes solos apresentam características químicas e mineralógicas diferentes daqueles observados nas outras regiões canavieiras do Brasil, pois em geral são muito desenvolvidos, ácidos e apresentam variados teores de matéria orgânica. Já os solos da região semiárida do nordeste são menos intemperizados, possuem pH alcalino, com baixa concentração de carbono orgânico e, frequentemente, possuem alta concentração de sais.

Diante do exposto, objetivou-se neste trabalho avaliar a sorção e a dessorção do sulfentrazone em cinco solos coletados em áreas canavieiras do nordeste brasileiro.

2 MATERIAL E MÉTODOS

O trabalho foi conduzido no Laboratório de Plantas Daninhas do Centro de Pesquisa Vegetal do Semiárido (CPVSA) da Universidade Federal Rural do Semi-Árido, utilizando-se amostras de cinco solos coletadas à profundidade de 0 a 20 cm, em áreas sem histórico de aplicação de sulfentrazone, onde quatro solos pertenciam à região litoral do Nordeste Brasileiro: Neossolo Quartzarênico - RQ (Pedro Velho-RN); Argissolo Vermelho-Amarelo - PVA (Maceió -AL); Gleissolo Háptico - GX (Maceió -AL); Latossolo Vermelho-Amarelo - LVA dos tabuleiros costeiros (Maceió-AL) e um Cambissolo Háptico (CX) coletado em região de semiárido (Quixeré-CE).

As amostras dos solos foram secas ao ar, destorroadas e passadas em peneiras com malha de 4 mm. De cada amostra de solo, foi retirada uma subamostra para realização de análises química e física (Tabelas 1 e 2), segundo a metodologia da EMBRAPA (1997) e análise mineralógica (Tabela 3), onde a separação da fração argila dos solos estudados foi realizada de acordo com EMBRAPA (1997) e a identificação dos minerais se deu conforme Chen (1977). Para os solos Neossolo Quartzarênico (RQ), Latossolo Vermelho-Amarelo (LVA), Argissolo Vermelho-Amarelo (PVA) e Gleissolo Háptico (GX), utilizou-se calagem, por meio do método de saturação por bases, no intuito de ajustar o pH, ficando estes incubados pelo período de 30 dias, quando foi realizada nova análise para leitura dos valores corrigidos do respectivo índice.

Tabela 1. Atributos químicos de solos de diferentes regiões canavieiras do nordeste. Mossoró-RN, UFERSA, 2013.

Solos	pH H₂O	CTC cmol_c dm⁻³	V ----- % -----	m -----	COT g kg⁻¹
Neossolo	6,7	2,19	66	0	05,7
Latossolo	6,0	4,70	46	0	13,8
Argissolo	5,9	6,10	54	4	20,6
Gleissolo	5,8	9,17	60	3	28,4
Cambissolo	6,7	15,4	66	0	15,6

Análises realizadas no Laboratório de Análises de Solo da UFERSA, segundo a metodologia da EMBRAPA (1997); (t) = capacidade de troca catiônica efetiva; V = saturação por bases; m = Saturação por Al³⁺; COT = Carbono Orgânico Total.

Tabela 2. Análise granulométrica da camada de 0 – 20 cm de solos de diferentes regiões canavieiras do NE. Mossoró-RN, UFERSA, 2013.

Solos	Areia	Silte	Argila	Classe textural
	-----g/kg-----			
Latossolo	630	110	260	Média-argilosa
Argissolo	680	70	250	Média-argilosa
Gleissolo	500	280	220	Média-siltosa
Neossolo	930	50	20	Muito arenosa
Cambissolo	480	150	370	Argilosa

Análises realizadas no Laboratório de Análises de Solo da UFERSA, segundo a metodologia da EMBRAPA (1997).

Tabela 3. Minerais detectados na fração argila da camada arável (0-20 cm) dos solos estudados. Ct: Caulinita; Il-Mi: Ilita-Mica; Gb: Gibbsita; Gt: Goethita; Hm: Hematita; Qz: Quartzo. Mossoró-RN, UFERSA, 2014.

Classe de solo	Minerais detectados
Neossolo	Ct; Il-Mi; Qz
Latossolo	Ct; Gb; Gt; Hm
Argissolo	Ct; Gb; Gt; Hm
Gleissolo	Ct; Il-Mi
Cambissolo	Ct; Gt; Hm

Análise realizada no Laboratório de Magnetismo e Óptica, da Faculdade de Ciências Exatas e Naturais da Universidade do Estado do Rio Grande do Norte (UERN).

Para realização dos estudos de sorção, foi utilizada uma solução estoque do sulfentrazone (1.000 mg L^{-1}) em metanol preparada a partir do padrão deste herbicida com 92,01% de pureza. A solução estoque foi diluída em solução aquosa de CaCl_2 $0,01 \text{ mol L}^{-1}$ visando à obtenção de soluções de trabalho (REDDY; LOCKE, 1998).

O tempo de equilíbrio necessário à sorção do sulfentrazone nos solos foi determinado pelo método “*batch equilibrium*” (OECD, 2000). Para isso, foram adicionados 10,0 mL de uma solução de sulfentrazone $15,0 \text{ mg L}^{-1}$, preparada em CaCl_2 $0,01 \text{ mol L}^{-1}$ em tubos contendo 2,00 g da amostra de solo. Estes tubos foram agitados verticalmente em diferentes intervalos de tempo (0,5; 1,0; 2,0; 3,0; 4,0; 8,0; 12,0; 16; 24 e 30 horas) à temperatura ambiente ($25 \pm 2 \text{ }^\circ\text{C}$). Após agitação, as amostras foram centrifugadas a 3500 rpm, por sete minutos. Parte do sobrenadante foi retirada e filtrada em membrana PTFE de $0,45 \text{ }\mu\text{m}$ diretamente para “vials” de 1,5 mL. A seguir, as amostras foram submetidas à análise por cromatografia líquida de alta eficiência (CLAE).

A sorção do sulfentrazone nos solos foi avaliada utilizando soluções de trabalho preparadas a partir da solução estoque nas concentrações de 0; 0,5; 1,0; 2,0; 4,0; 8,0; 15,0 e 30 mg L^{-1} do herbicida em CaCl_2 $0,01 \text{ mol L}^{-1}$. Dessas soluções, foram adicionados 10,0 mL em tubos contendo 2,00 g de solo. Em seguida, os tubos foram submetidos à agitação vertical à temperatura ambiente pelo tempo de equilíbrio determinado. Após agitação, as amostras foram centrifugadas a 3500 rpm durante sete minutos. A parte do sobrenadante foi retirada e filtrada em membrana de $0,45 \text{ }\mu\text{m}$ para “vials” de 1,5 mL, que, posteriormente, foram submetidos à análise cromatográfica.

Para a realização dos ensaios de dessorção, foram retirados os sobrenadantes dos tubos que continham $15,0 \text{ mg L}^{-1}$ de sulfentrazone,

depois do ensaio de sorção e adicionado a estes 10,0 mL de solução de CaCl_2 0,01 mol L^{-1} , isenta de herbicida. Após a adição desta solução, os tubos foram fechados, agitados em misturador tipo vortex por 10 segundos e submetidos a nova agitação, pelo mesmo tempo e na mesma temperatura nos quais foram realizados os ensaios de sorção. O sobrenadante recolhido (1,0 mL) foi filtrado com membrana de 0,45 μm diretamente em “vials” de 1,5 mL e analisado por CLAE. Repetiu-se este procedimento por quatro vezes (0, 12, 24 e 36 horas, consecutivamente) para os mesmos tubos havendo, após a retirada de parte do sobrenadante, a reposição deste volume.

A determinação quantitativa do sulfentrazone foi realizada em um sistema de cromatografia líquida de alta eficiência, modelo Varian ProStar 325, detector UV-Vis, coluna de aço inox (Varian Microsorb 100 -3 C18, 100 mm x 4,6 mm d.i.). As condições cromatográficas para a análise foram: fase móvel composta por água e metanol na proporção 50:50 (v/v); fluxo de 1,2 mL min^{-1} ; volume de injeção de 20 μL ; comprimento de onda de 254 nm. O tempo de retenção do sulfentrazone nessas condições foi de aproximadamente três minutos. A quantificação foi realizada por meio da comparação das áreas obtidas nos cromatogramas para cada ensaio pelo método de calibração externa. A identificação, pelo tempo de retenção, utilizando um padrão analítico do sulfentrazone.

Calculou-se, em seguida, a quantidade de herbicida sorvido ao solo (C_s) em mg kg^{-1} , por diferença entre a quantidade de solução-padrão inicialmente adicionada ao solo (C_p) em mg L^{-1} e a quantidade encontrada na solução de equilíbrio (C_e) em mg L^{-1} . De posse dos valores de C_e e de C_s , ajustou-se equação de Freundlich ($C_s = K_f C_e^{1/n}$) para obtenção dos coeficientes de sorção, em que K_f e $1/n$ são constantes empíricas que representam a capacidade e intensidade de sorção, respectivamente.

O cálculo da quantidade do sulfentrazone desorvido foi realizado pela diferença entre a concentração do herbicida no solo, antes das etapas de desorção e a concentração na solução analisada após cada intervalo avaliado. Posteriormente, calculou-se a percentagem total de desorção para cada intervalo de tempo (0, 12, 24 e 36 horas).

As análises foram realizadas com três repetições e em triplicata, os dados foram submetidos à análise de regressão para interpretação dos resultados e os coeficientes das equações foram testados pelo teste t a 5% de significância.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A curva analítica do sulfentrazone em CaCl_2 $0,01 \text{ mol L}^{-1}$ (Figura 1) apresenta bom ajuste, visto que possui alto coeficiente de determinação.

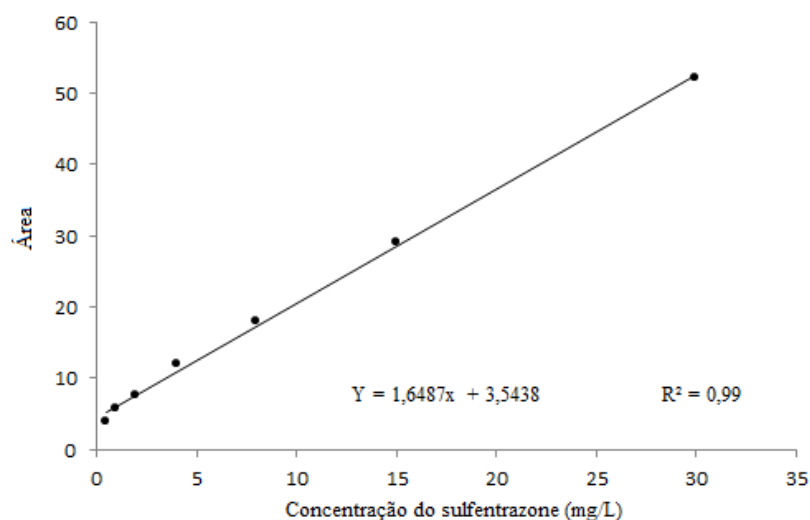


Figura 1. Curva analítica do sulfentrazone em CaCl_2 $0,01 \text{ mol L}^{-1}$, obtida na cromatografia líquida de alta eficiência. Mossoró-RN, UFERSA, 2014.

O tempo de equilíbrio da sorção do sulfentrazone para os cinco solos foi de duas horas (Figura 2), porém optou-se em trabalhar com 12 horas para garantir o estabelecimento deste equilíbrio. Na solução do solo, as moléculas tendem a atingir o equilíbrio entre a fase sorvida e a que permanece em solução. Passos et al. (2013) trabalharam com cinco solos coletados na região sul e sudeste do Brasil, sendo o tempo de equilíbrio de 8 horas o mais indicado para avaliar a sorção do sulfentrazone.

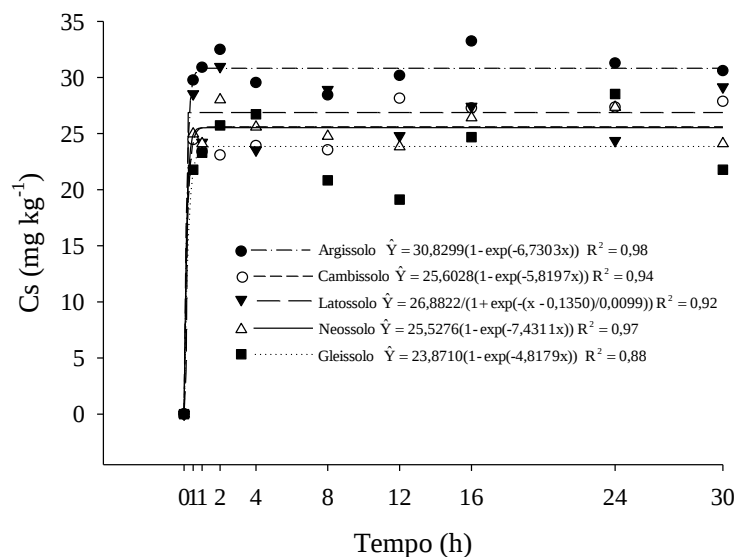


Figura 2. Estimativa das curvas cinética de sorção para o sulfentrazone nos diferentes solos em função do tempo de agitação em horas. Mossoró-RN, UFERSA, 2014.

As estimativas das isotermas de Freundlich para a sorção do sulfentrazone nos diferentes solos encontram-se na Figura 3 e os parâmetros das equações encontram-se na Tabela 4, onde se evidenciou que as isotermas foram do tipo “L” para os cinco solos estudados. Segundo Falone; Vieira (2004), quando o parâmetro $1/n$ for menor do que 1, as isotermas são do tipo L, que apresenta inclinação não linear e côncava em relação à abscissa. Este resultado sugere que a disponibilidade de sítios para sorção do sulfentrazone decresce com o incremento da concentração do herbicida em solução, em todos os solos estudados.

Os valores observados para o parâmetro $1/n$ neste trabalho foram entre 0,2035 e 0,3909, ao passo que Passos et al. (2013), trabalhando com o mesmo herbicida em solos de outras regiões do País, verificaram valores entre 0,767 e 1,032, o que sugere que os solos do Nordeste brasileiro

apresentam comportamento diferenciado em relação ao potencial de sorção do sulfentrazone com o aumento da concentração do herbicida, podendo estar mais disponível na solução do solo e, conseqüentemente, aumentando seu potencial de lixiviação.

Outra justificativa é que o mineral Caulinita (Ct) (Tabela 3) foi encontrado em todos os tipos de solo. Extremamente comum nos solos tropicais, este mineral não apresenta substituições isomórficas significativas, o que torna a estrutura praticamente neutra. Sua capacidade de troca catiônica (CTC) é baixa, cerca de 3 a 15 cmolc kg⁻¹ (MELO et al., 2009), contribuindo para uma menor sorção nos solos em estudo.

Os valores dos coeficientes de sorção (Kf) indicaram que os solos possuem diferentes capacidades de adsorver o sulfentrazone (Tabela 4). O PVA apresentou maiores valores de sorção, devido ao maior teor de argila e um dos mais elevados teores de COT dentre os solos avaliados (Tabelas 1 e 2). Freitas et al. (2014) avaliaram a sorção do sulfentrazone por meio de bioensaios, tendo o Neossolo Regolítico apresentado maior capacidade de adsorção deste herbicida, devido ao maior teor de matéria orgânica entre os solos estudados.

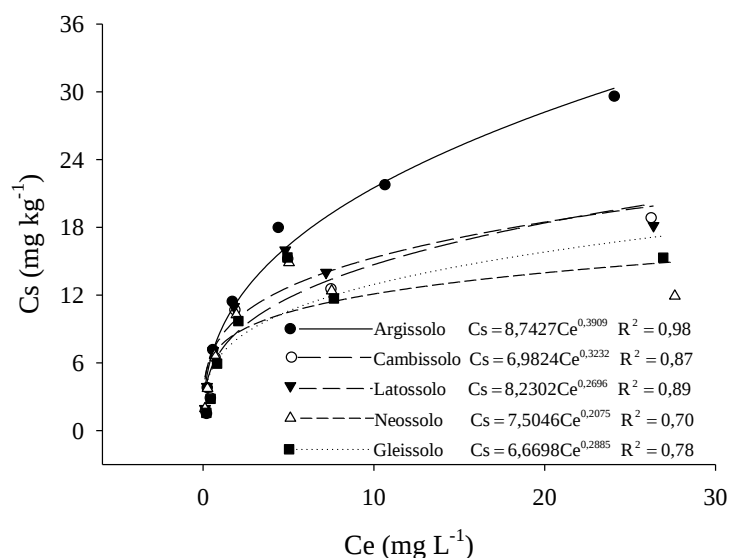


Figura 3. Estimativa das Isotermas de sorção do sulfentrazone nos diferentes solos estudados. Mossoró-RN, UFERSA, 2014.

O tipo e teor de argila e características da matéria orgânica (MO) afetam as interações do herbicida no solo (LEVANON et al., 1993; CZAPAR et al., 1994). A matéria orgânica apresenta acentuada capacidade de sorver herbicidas (STEVENSON, 1972), o que reduz a atividade biológica e a mobilidade dos compostos químicos aplicados ao solo (LEE; FARMER, 1989). A pronunciada reatividade da matéria orgânica está relacionada principalmente à elevada área superficial específica e presença de vários grupos funcionais, como carboxilas, hidroxilas e aminas, além de estruturas alifáticas e aromáticas (KUCKUK et al., 1997). Esta possui sítios tridimensionais que atuam na retenção dos compostos iônicos e não iônicos.

Apesar de apresentar maior teor de COT, o GX foi o solo com menor valor de Kf. Porto (2012) avaliou a sorção do sulfentrazone de cinco solos da região Nordeste por meio de bioensaios e encontrou resultado semelhante, onde o Gleissolo apresentou baixa sorção, se comparado aos

demais solos. Ohmes; Mueller (2007) avaliaram a sorção do sulfentrazone em solos com diferentes características físicoquímicas e observaram que a sorção também diminuiu com o aumento da matéria orgânica dos solos. Estes autores relataram que esse declínio foi inesperado, e não têm explicação para esses resultados, pois, dado um pequeno conjunto de solos, é possível que outros fatores, tais como mineralogia da argila ou pH, tenham mascarado os efeitos da matéria orgânica.

Sabe-se que tanto o pH quanto as características físicas do solo podem influenciar a disponibilidade do herbicida no solo, afetando seu potencial de injúria às plantas; todavia, o efeito será diferenciado de acordo com as características químicas de cada herbicida (FERRI et al., 2005).

Tabela 4. Estimativas dos coeficientes de sorção (K_f e $1/n$) e coeficientes de determinação (R^2) das isotermas de sorção do sulfentrazone nos solos estudados. Mossoró-RN, UFERSA, 2014.

Tipos de solos	K_f	$1/n$	R^2
Neossolo	7,5046	0,2075	0,70
Latossolo	8,2302	0,2696	0,89
Argissolo	8,7427	0,3909	0,98
Gleissolo	6,6698	0,2885	0,78
Cambissolo	6,9824	0,3232	0,87

O LVA apresentou valor de K_f do sulfentrazone de 8,2, ficando entre o PVA e o RQ (Tabela 4). O LVA e PVA apresentaram mineralogia semelhante, porém observa-se maior cristalinidade no LVA, dada sua evolução maior no intemperismo pela observação da definição dos picos dos minerais, assim como a presença da Gibsita (Gb), que ocorre neste solo justamente por ser mais intemperizado.

Apesar de o RQ apresentar baixo teor de matéria orgânica e argila (Tabelas 1 e 2), a sorção neste solo foi superior ao CX e GX, que

apresentam elevados teores destes componentes. A intensidade da sorção de herbicidas à matéria orgânica pode variar em função do grau da interação da matéria orgânica com os componentes inorgânicos do solo, devido à redução das superfícies disponíveis para sorção de herbicidas. A intensidade do efeito depende do tipo e conteúdo dos argilominerais e cátions presentes no complexo de troca do solo (PUSINO et al., 1992; SENESI et al., 1994).

É na solução do solo que se inicia grande parte dos processos e reações que determinam o destino de herbicidas no ambiente, como lixiviação, retenção e degradação. Dentre as reações que determinam esta disponibilidade, a dessorção é de fundamental importância (BARIZON et al., 2005), pois determina a taxa de liberação e o potencial de mobilidade desses compostos nos solos.

A percentagem de dessorção no tempo de 36 horas foi de 19,8% para o Argissolo Vermelho-Amarelo, 36,7% para o Gleissolo Háplico, 40,60% para o Neossolo Quartzarênico, 45,9% para o Cambissolo Háplico e 52, 7% para o Latossolo Vermelho-Amarelo (Figura 3).

A percentagem de dessorção do sulfentrazone no PVA foi inversa ao coeficiente de sorção (K_f), visto que este solo apresentou o maior K_f , bem como a menor taxa de dessorção, indicando a ocorrência de histerese. Isto significa que neste solo a quantidade de herbicida que tende a retornar à solução do solo diminui, considerando que quanto maior o índice de histerese (H), menor a capacidade dessortiva do herbicida, ou seja, mais dificilmente este herbicida estará novamente disponível às plantas. Isto pode ter ocorrido, porque a matéria orgânica dificulta o processo de dessorção, quando se trata de contaminantes ambientais como os herbicidas (VIEIRA et al., 1999).

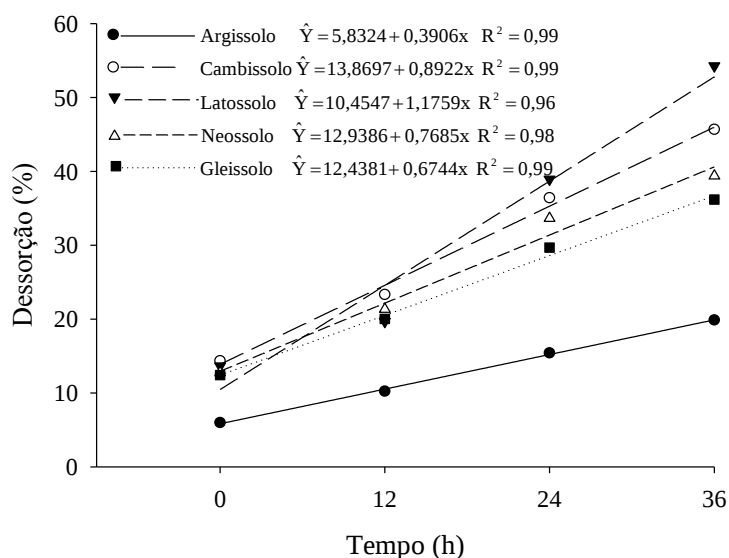


Figura 4. Percentagem de dessorção do sulfentrazone nos diferentes solos estudados ao longo do tempo. Mossoró-RN, UFERSA, 2014.

Seguindo a ordem da sorção e dessorção dos solos em estudo, o LVA apresentou a segunda maior sorção e a maior percentagem de dessorção, ou seja, grande parte do sulfentrazone foi sorvido e dessorvido neste solo. Os Latossolos são solos muito intemperizados, com baixa capacidade de troca catiônica e as argilas de atividade baixa, como a caulinita (Ct) (Tabela 3). Acredita-se que este comportamento ocorreu devido à predominância de baixas forças de atração entre o solo e o herbicida, como as forças de van der Waals, fracas e de curto alcance (AZEVEDO; BONUMA, 2004).

Apesar de o RQ possuir baixo teor de matéria orgânica e argila entre os solos avaliados, ele apresentou menor dessorção do que o CX e o LVA, que evidenciaram valores intermediários destes componentes. Passos et al. (2013), estudando o sulfentrazone em diferentes solos, também verificaram que a dessorção do herbicida não seguiu a ordem decrescente de sorção.

Segundo Vivian et al. (2007), a compreensão do processo de dessorção depende também da forma como o herbicida interage com a superfície absorvente.

As menores taxas de dessorção podem ter maior risco para as culturas em sucessão (LIU et al., 2010), pois estes são liberados lentamente, podendo ficar disponíveis na solução do solo, mesmo que em pequenas quantidades, e causar danos em culturas sensíveis, fenômeno denominado *carryover*.

4 CONCLUSÕES

- Os valores de coeficiente de sorção foram de 8,7 para o Argissolo Vermelho-Amarelo; 8,2 para o Latossolo Vermelho-Amarelo; 7,5 para o Neossolo Quartzarênico; 6,9 para o Cambissolo Háplico e 6,6 para o Gleissolo Háplico;
- A percentagem de dessorção no tempo de 36 horas foi de 19,8% para o Argissolo Vermelho-Amarelo; 36,7% para o Gleissolo Háplico; 40,60% para o Neossolo Quartzarênico; 45,9% para o Cambissolo Háplico e 52,7% para o Latossolo Vermelho-Amarelo.
- Todos os solos apresentaram baixo potencial de sorção para o sulfentrazone.

REFERÊNCIAS

AZEVEDO, A. C. BONUMÁ, A. S. Partículas coloidais, dispersão e agregação em Latossolos. **Ciência Rural**, v. 34, p. 609- 617, 2004.

BARIZON, R. R. M. et al. Sorção e dessorção do imazaquin em solos com diferentes características granulométricas, químicas e mineralógicas. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, v. 29, n. 5, p. 695-703, 2005.

CHEN, P. Y. **Table of key lines in X-ray powder diffraction patterns of minerals in clays and associated rocks**: Geological Survey Occasional Paper 21. Bloomington: Indiana Geological Survey Report, 1977. 67p.

CZAPAR, G. F.; KANVAR, R. S.; FAWCETT, R. Herbicide and trace movement to field drainage tiles under simulated rainfall conditions. **Soil & Tillage Research**, Amsterdam, v. 30, p. 19-32, 1994.

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos (Rio de Janeiro, RJ). **Manual de métodos de análise de solos**. 2.ed. Rio de Janeiro: Embrapa, 1997. 212p.

FALONE, S. Z.; VIEIRA, E. M. Adsorção/dessorção do explosivo tetril em turfa e em Argissolo Vermelho-Amarelo. **Química Nova**, v. 27, n. 6, p. 849-854, 2004.

FERRI, M. V. W. et al. Sorção do herbicida acetochlor em amostras de solo, ácidos húmicos e huminas de argissolo submetido à semeadura direta e ao preparo convencional. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, v. 29, n. 5, p.705-714, 2005.

FMC Crop. **Technical bulletin of sulfentrazone**. Philadelphia, 1995. 6p.

FREITAS, M. A. M. et al . Sorção do sulfentrazone em diferentes tipos de solo determinada por bioensaios. **Planta Daninha**, v. 32, p. 385-392, 2014.

HULTING, A. G. et al. Soybean (*Glycine max* (L.) Merr.) cultivar tolerance to sulfentrazone. **Crop Protec.**, v. 20, p. 679-683, 2001.

KUCKUK, R. et al. Preliminary investigations into the interactions of herbicides with aqueous humic substances. **Pesticide Science**, West Sussex, v. 51, p. 450-454, 1997.

LEE, D.; FARMER, W. J. Dissolved organic matter interaction with napropamide and four other nonionic pesticides. **Journal of Environmental Quality**, Madison, v. 18, p. 468-474, 1989.

LEVANON, D. et al. Mobility of agrochemicals through soil from two tillage systems. **Journal of Environmental Quality**, Madison, v. 22, p. 155-161, 1993.

LIU, Y. et al. Adsorption and desorption behavior of herbicide diuron on various Chinese cultivated soils. **Journal of Hazardous Materials**, v. 178, n. 1-3, p. 462-468, 2010.

OECD – Organization for Economic Co-operation and Development. **Guidelines for testing of chemicals: adsorption-desorption using a batch equilibrium method**, 106. OECD, Paris, France, 2000. 44p.

OHMES, G. A.; MUELLER, T. C.: Sulfentrazone soil adsorption and mobility. **Weed Technology**, v. 21, n. 3, p. 796-800, 2007.

PASSOS, A. B. R. J. et al. Sorption and desorption of sulfentrazone in Brazilian soils. **Journal of Environmental Science and Health. Part B. Pesticides, Food Contaminants and Agricultural Wastes**, v. 48, p. 646-650, 2013.

PORTO, M. A. F. **Sorção do sulfentrazone em solos da região nordeste do Brasil**. 2012. 28f. Monografia (Graduação em Agronomia) – Universidade Federal Rural do Semi-Árido, Mossoró, 2012.

PUSINO, A.; LIU, W.; GESSA, C. Influence of organic matter and its clay complexes on adsorption on soil. **Pesticide Science**, London, n. 39, v. 4, p. 283-286, 1992.

REDDY, K. N.; LOCKE, M. A. Sulfentrazone sorption, desorption, and mineralization in soils from two tillage systems. **Weed Science**, Lawrence, v. 46, p. 494-500, 1998.

RODRIGUES, B. N.; ALMEIDA, F. S. **Guia de herbicidas**. 6.ed. Londrina: 2011. 697 p.

SENESE, N. et al. Adsorption of alachlor by humic acids from sewage sludge and amended and non-amended soils. **Soil Science**, Baltimore, v. 157, p. 176- 184, 1994.

SILVA, A. A.; VIVIAN, R.; OLIVEIRA, JR. R. S. Herbicidas: Comportamento no solo. In: SILVA, A. A.; SILVA, J. F. (org.). **Tópicos em Manejo de Plantas Daninhas**. Viçosa, MG: Ed. UFV, 2007. 367p.

SOUTHWICK, L. M. et al. Potential influence of sugarcane cultivation on estuarine water quality of Louisiana's gulf coast. **J. Agric. Food Chem.**, v. 50, n. 15, p. 4393-4399, 2002.

STEVENSON, F. J. Organic matter reactions involving herbicides in soil. **Journal of Environmental Quality**, Madison, v. 1, p. 333-343, 1972.

VIEIRA, E. V. et al. Estudo da adsorção/dessorção do ácido 2,4 diclorofenoxiacético (2,4-D) em solo na ausência e presença de matéria orgânica. **Química Nova**, v. 22, n. 3, p. 305-308, 1999.

VIVIAN, R. et al. Persistência e lixiviação de ametryn e trifloxysulfuron-sodium em solo cultivado com cana-de-açúcar. **Planta Daninha**, v. 25, n. 1, p. 111-124, 2007.

CAPÍTULO IV

LIXIVIAÇÃO DO SULFENTRAZONE EM SOLOS DA REGIÃO CANAVIEIRA DO NORDESTE DO BRASIL

RESUMO

A lixiviação é fundamental para a incorporação superficial da maioria dos herbicidas, mas, quando excessiva, pode carregá-los para camadas mais profundas do solo, limitando sua ação e podendo, inclusive, promover contaminação do lençol freático. Objetivou-se neste trabalho avaliar a lixiviação do herbicida sulfentrazone em cinco solos da região Nordeste do Brasil: Neossolo Quartzarênico (Pedro Velho-RN), Cambissolo Háplico (Quixeré-CE); Latossolo Vermelho-Amarelo (Tabuleiros costeiros - Maceió-AL), Argissolo Vermelho-Amarelo (Tabuleiros costeiros - Maceió-AL) e um Gleissolo Háplico (várzea - Maceió-AL). O experimento foi conduzido no esquema de parcelas subdivididas, no delineamento inteiramente casualizado. As parcelas foram compostas por colunas de PVC, preenchidas com os cinco tipos de solo, e as subparcelas, por 10 profundidades com intervalos de 5 cm (0-5, 5-10, 10-15, 15-20, 20-25, 25-30, 30-35, 35-40, 40-45 e 45-50 cm). No topo das colunas, realizou-se aplicação de sulfentrazone e, 12 horas depois, simulou-se uma precipitação pluviométrica de 60 mm. Após 72 horas, as colunas foram colocadas na posição horizontal e abertas longitudinalmente, divididas em seções de 5,0 cm. No centro de cada seção das colunas, procedeu-se a semeadura de sorgo como planta indicadora da presença do herbicida e coletou-se amostras de solo para análises cromatográficas. A avaliação do índice de intoxicação das plantas-teste pelo herbicida foi realizada visualmente aos 14 dias após o semeio destas. Maior mobilidade do sulfentrazone notou-se no Neossolo Quartzarênico e no Latossolo vermelho-Amarelo foi detectado pelas plantas indicadoras até a profundidade de 45 e 35 cm, respectivamente. No Argissolo Vermelho-Amarelo, no Cambissolo Háplico e no Gleissolo Háplico o sulfentrazone foi detectado até 20 cm de profundidade. Foram encontrados sintomas de intoxicação do sulfentrazone até 45cm no Neossolo Quartzarênico, 35cm no Latossolo Vermelho-Amarelo, 20 cm no Argissolo Vermelho-Amarelo, 20 cm no Cambissolo Háplico e 20 cm Gleissolo Háplico.

Palavras-chave: Herbicida; Bioensaio; Sorção; Mobilidade.

LEACHING OF SULFENTRAZONE IN SOILS FROM SUGAR CANE REGION IN BRAZILIAN NORTHEASTERN

ABSTRACT

The objective of this study was to evaluate the leaching of sulfentrazone in five soils in the northeast region of Brazil: Quartzipsamment (Pedro Velho-RN), Cambisol (Quixeré-CE); Oxisol (coastal Trays - Maceió-AL), Ultisol (coastal Trays - Maceió-AL) and an Epiaquic Haplustult (floodplain - Maceió-AL). The experiment was conducted in a split plot in a completely randomized design. The plots had PVC columns of 10 cm in diameter and 50 cm long, filled with the five types of soil, and the subplots for 10 depths of 5 cm intervals (0-5, 5-10, 10- 15, 15-20, 20-25, 25-30, 30-35, 35-40, 40-45 and 45-50 cm). On top of the columns, sulfentrazone application was conducted, and 12 hours after, a simulated rainfall of 60 mm occurred. After 72 hours, the columns were placed horizontally and open longitudinally divided into sections of 5.0 cm. In the center of each section of the columns, we proceeded to sorghum sowing as indicator plant of herbicide treatments and collected up soil samples for chromatographic analysis. The evaluation of the intoxication index of the test plants by the herbicide was visually conducted on the 14th day after the seeding thereof. Greater mobility of sulfentrazone was noted in Quartzipsamment and red-Oxisoil was detected by the indicator plants to a depth of 45 and 35 cm, respectively. In Ultisol in Cambisol and Epiaquic Haplustult, sulfentrazone was detected up to 20 cm deep. Sulfentrazone of intoxication symptoms were found to 45cm in Quartzipsamment, 35cm in Oxisol, 20 cm in Ultisol, 20 cm in Cambisol and 20 cm Epiaquic Haplustult.

Keywords: herbicide; bioassay; sorption; mobility.

1 INTRODUÇÃO

Devido ao uso intensivo na agricultura, os herbicidas são frequentemente detectados em estudos de qualidade das águas superficiais e subterrâneas (CARTER, 2000; TANABE et al., 2001), sendo estes registros mais frequentes em regiões de cultivo de cana-de-açúcar, haja vista que esta é uma das culturas que mais utilizam herbicidas no manejo de plantas infestantes por unidade de área cultivada (SOUTHWICK et al., 2002, VIVIAN et al., 2007).

A lixiviação é fundamental para a incorporação superficial da maioria dos herbicidas, atingindo sementes ou plantas em germinação, mas, quando excessiva, pode carregá-los para camadas mais profundas do solo, limitando sua ação e podendo, inclusive, promover contaminação do lençol freático (VELINI, 1992).

Dentre os herbicidas mais utilizados na cultura da cana-de-açúcar estão sulfentrazone 2',4'-dichloro-5-(4-difluoromethyl-4,5-dihydro-3-methyl-5-oxo-1H1,2,4-triazol-1-yl) methanesulfonanilide. Este herbicida é inibidor da protoporfirinogênio oxidase (PROTOX). Segundo Rodrigues; Almeida (2011), este herbicida é utilizado em pré-emergência para o controle de plantas daninhas dicotiledôneas em diversas espécies monocotiledôneas, como a cana-de-açúcar. Sua meia-vida no solo ($t_{1/2}$) é estimada entre 110 e 280 dias (FMC CORP., 1995) e sua solubilidade aumenta com o aumento do pH ($\text{pH } 6,0 = 110 \text{ mg L}^{-1}$; $\text{pH } 7,5 = 1.600 \text{ mg L}^{-1}$). É considerado um herbicida ácido fraco ($\text{pK}_a = 6,56$) e, portanto, ionizável, que se encontra em diferentes proporções das suas formas molecular ($\text{pH} < \text{pK}_a$) e aniônica ($\text{pH} > \text{pK}_a$), dependendo do pH do solo.

Diversos trabalhos demonstraram que a dinâmica do sulfentrazone é muito dependente das características físicas e químicas do solo, com

destaque para o teor de matéria orgânica, pH e mineralogia (VIVIAN et al., 2006; PASSOS et al., 2013; FREITAS, et al., 2014).

Os solos da região Nordeste praticamente não foram estudados com relação ao comportamento de herbicidas. Os solos da região semiárida apresentam características químicas e mineralógicas diferentes daqueles observados nas regiões de clima tropical, pois em geral são menos intemperizados, possuem pH alcalino, com baixa concentração de carbono orgânico e frequentemente possuem alta concentração de sais.

Nestas condições, supõe-se que o risco de lixiviação do sulfentrazone seja maior, devido à menor sorção do herbicida nos coloides do solo, podendo ocasionar intoxicação de culturas e contaminação do solo e da água. Freitas et al. (2012) verificaram maior mobilidade do ametryn em solos da região semiárida do Rio Grande do Norte em relação ao Latossolo Vermelho-Amarelo de Minas Gerais, influenciada pelo baixo teor de matéria orgânica e pelo pH alcalino dos solos da região semiárida.

A lixiviação de herbicidas no campo pode ser monitorada por amostragem direta de água, análise de amostras de solos e com a utilização de lisímetros. Entretanto, tornou-se comum a determinação do potencial de lixiviação utilizando-se colunas com solos deformados por meio de ensaios biológicos e cromatografia. Estes experimentos utilizam condições controladas de umidade e precipitação e possibilitam a comparação de diferentes classes de solos em um único ensaio (ROCHA et al., 2013).

Diante do exposto, objetivou-se neste trabalho avaliar a lixiviação do herbicida sulfentrazone em cinco solos da região Nordeste do Brasil por meio de bioensaios e cromatografia líquida.

2 MATERIAL E MÉTODOS

O ensaio foi conduzido no esquema de parcelas subdivididas, distribuídas no delineamento inteiramente casualizado, com quatro repetições. As parcelas foram compostas pelas colunas preenchidas com cinco solos, coletados na camada de 0 – 20 cm de profundidade, em áreas sem histórico de aplicação de herbicidas: Cambissolo Háplico - CX (Vale do Jaguaribe - Quixeré/CE); Neossolo Quartzarênico - RQ (região litorânea - Pedro Velho/RN); Latossolo Vermelho-Amarelo (LVA) e Argissolo Vermelho-Amarelo - PVA (Tabuleiros Costeiros - Maceió/AL) e Gleissolo Háplico - GX (região de várzea - Maceió/AL) e as subparcelas, por 10 profundidades nas colunas, com intervalos de 5 cm (0-5, 5-10, 10-15, 15-20, 20-25, 25-30, 30-35, 35-40, 40-45 e 45-50 cm).

As amostras dos solos foram secas ao ar, destorroadas e passadas em peneiras com malha de 4 mm. De cada amostra de solo, foi retirada uma subamostra para realização de análises químicas e físicas (Tabelas 1 e 2), segundo metodologia descrita pela EMBRAPA (1997) e análise mineralógica (Tabela 3), onde a separação da fração argila dos solos estudados foi realizada de acordo com EMBRAPA (1997), além de identificação dos minerais conforme Chen (1977).

Para os solos Neossolo Quartzarênico (RQ), Latossolo Vermelho-Amarelo (LVA), Argissolo Vermelho-Amarelo (PVA) e Gleissolo Háplico (GX), foi realizada calagem, pelo método de saturação de bases, no intuito de ajustar o pH, ficando estes incubados pelo período de 30 dias, quando foi realizada nova análise para leitura dos valores corrigidos do respectivo índice.

Tabela 1. Atributos químicos de solos de diferentes regiões canavieiras do nordeste. Mossoró-RN, UFERSA, 2013.

Solos	pH H ₂ O	CTC	V	m	COT
		cmol _c dm ⁻³	----- % -----	-----	g kg ⁻¹
Neossolo	6,7	2,19	66	0	05,7
Latossolo	6,0	4,70	46	0	13,8
Argissolo	5,9	6,10	54	4	20,6
Gleissolo	5,8	9,17	60	3	28,4
Cambissolo	6,7	15,4	66	0	15,6

Análises realizadas no Laboratório de Análises de Solo da UFERSA, segundo a metodologia da EMBRAPA (1997); (t) = capacidade de troca catiônica efetiva; V = saturação por bases; m = Saturação por Al⁺³; COT = Carbono orgânico Total.

Tabela 2. Análise granulométrica da camada de 0 – 20 cm de solos de diferentes regiões canavieiras do NE. Mossoró-RN, UFERSA, 2013.

Solos	Areia	Silte	Argila	Classe textural
	-----g/kg-----			
Latossolo	630	110	260	Média-argilosa
Argissolo	680	70	250	Média-argilosa
Gleissolo	500	280	220	Média-siltosa
Neossolo	930	50	20	Muito arenosa
Cambissolo	480	150	370	Argilosa

Análises realizadas no Laboratório de Análises de Solo da UFERSA, segundo a metodologia da EMBRAPA (1997).

Tabela 3. Minerais detectados na fração argila da camada arável (0-20 cm) dos solos estudados. Ct: Caulinita; Il-Mi: Ilita-Mica; Gb: Gibbsita; Gt: Goethita; Hm: Hematita; Qz: Quartzo. Mossoró-RN, UFERSA, 2014.

Classe de solo	Minerais detectados
Neossolo	Ct; Il-Mi; Qz
Latossolo	Ct; Gb; Gt; Hm
Argissolo	Ct; Gb; Gt; Hm
Gleissolo	Ct; Il-Mi
Cambissolo	Ct; Gt; Hm

Análise realizada no Laboratório de Magnetismo e Óptica, da Faculdade de Ciências Exatas e Naturais da Universidade do Estado do Rio Grande do Norte (UERN).

Os solos foram acondicionados em colunas de PVC de 10 cm de diâmetro por 50 cm de comprimento, seccionadas a cada 5 cm e com tampa lateral removível, segundo metodologia utilizada por Andrade et al. (2010) e Freitas et al. (2012), e, posteriormente, parafinadas internamente para evitar escoamento lateral. Após o preenchimento com as amostras de solo, estas foram saturadas com água, por um período de 48 horas e deixadas, posteriormente, na posição vertical, em repouso, por 72 horas, visando à drenagem do excesso de água, conforme proposto por Andrade et al. (2010).

Posteriormente, aplicou-se o herbicida sulfentrazone, no topo das colunas, na dose de 1 kg ha⁻¹. Doze horas após a aplicação, estando as colunas ainda na posição vertical, procedeu-se à simulação da precipitação pluviométrica, com a aplicação de lâmina única de 60 mm, por um período de três horas. Após a simulação da precipitação pluviométrica, as colunas foram mantidas por 72 horas na posição vertical, de modo a permitir a percolação da água no solo e, posteriormente, estas foram colocadas na posição horizontal, quando foi feita a abertura lateral e seccionamento a cada 5 cm com lâmina de PVC.

No centro de cada seção das colunas, foram coletadas amostras de solo, que foram secas ao ar, destorroadas e armazenadas em freezer à temperatura de aproximadamente -10°C para posterior extração e quantificação do herbicida por análise cromatográfica. Após a coleta das amostras para extração e determinação do herbicida por cromatografia, procedeu-se, nas seções das colunas, à semeadura de cinco sementes de sorgo (*Sorghum bicolor*) por segmento da coluna, como planta indicadora da presença do sulfentrazone.

Aos 14 dias após a emergência (DAE) da espécie indicadora, realizou-se a avaliação da mobilidade do herbicida pelo método indireto (biológico), avaliando-se o índice de intoxicação e o acúmulo de matéria

seca das plantas. Na avaliação do índice de intoxicação das plantas indicadoras, foram atribuídas notas de 0 (ausência de intoxicação) a 100 (morte da planta). Na avaliação da matéria seca, todas as plantas foram cortadas à superfície do solo, colocadas em estufa com circulação forçada de ar (70 ± 2 °C) até peso constante.

Para extração do sulfentrazone das amostras de solo, foi utilizada a técnica de extração sólido-líquido, com partição em baixa temperatura, proposta por Vieira et al. (2007), Goulart et al. (2008) e otimizada por De Paula (2007).

O processo consistiu em medir uma massa de 2,00 g de solo seco, previamente homogeneizado em frascos de vidro de tampa rosqueável com 30,0 mL de capacidade; adicionando a seguir 12,0 mL da mistura extratora, composta por 4,0 mL de água, 8,0 mL de acetonitrila. Os frascos foram submetidos à agitação vertical, durante 30 minutos. Posteriormente, as amostras foram deixadas por ± 12 horas em freezer à temperatura de aproximadamente -20°C . Após este período, fez-se a filtração comum da fração não congelada, extrato orgânico e herbicida, para balão volumétrico de 10,0 mL. As frações que continham solo e água congelada foram descartadas. Depois de atingir a temperatura ambiente, as soluções filtradas foram transferidas para um balão de fundo redondo com 10,0 mL de capacidade, para evaporação dos solventes em evaporador rotatório, à temperatura de $50 \pm 1^{\circ}\text{C}$. Após a evaporação, o balão de fundo redondo foi lavado com três alíquotas de 0,50 mL de acetonitrila e o extrato final foi novamente filtrado em membrana de $0,45\ \mu\text{m}$ e armazenado em “vials” de 1,5 mL de capacidade para posterior análise por cromatografia líquida de alta eficiência CLAE.

A determinação do sulfentrazone foi realizada utilizando-se um sistema de cromatografia a líquido de alta eficiência, modelo Varian

ProStar 325, detector UV-Vis, coluna de aço inox (Varian Microsorb 100 - 3 C18, 100 mm x 4,6 mm d.i.).

As condições cromatográficas para a análise foram fase móvel: água e acetonitrila na proporção 50:50 (v/v), respectivamente, e acidificada com 0,01% de ácido fosfórico, respectivamente; fluxo: 1,2 mL min⁻¹; volume de injeção: 20 µL; temperatura da coluna: 30°C; comprimento de onda: 214 nm.

A solução estoque do herbicida foi preparada a partir do padrão com 98,3% de pureza, na concentração de 1.000 µg mL⁻¹ em acetonitrila e as soluções de trabalho preparadas a partir desta. A quantificação foi realizada por meio da comparação das áreas obtidas nos cromatogramas pelo método de calibração externa.

Para interpretação dos resultados, os dados obtidos no bioensaio e na análise cromatográfica foram submetidos à análise de variância e de regressão. Na escolha dos modelos, foram levados em consideração a resposta biológica, a significância dos coeficientes de regressão e os coeficientes de determinação.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 VALIDAÇÃO DO MÉTODO

É essencial que os estudos de validação sejam representativos e conduzidos de modo que a variação da faixa de concentração e os tipos de amostras sejam adequados. Os principais parâmetros avaliados no processo de validação do método foram: Seletividade, Linearidade, Limites de detecção (LD) e Limite de quantificação (LQ) de acordo com ANVISA (2003); INMETRO (2003).

A seletividade foi avaliada comparando os cromatogramas de extratos de matrizes isentas de sulfentrazone com os cromatogramas de extratos dos solos fortificados com o herbicida na concentração de 5 mg kg^{-1} . Por meio dessa comparação, é possível afirmar que o pico presente no tempo de retenção de aproximadamente 2,5 minutos refere-se ao sulfentrazone, tornando essa técnica seletiva.

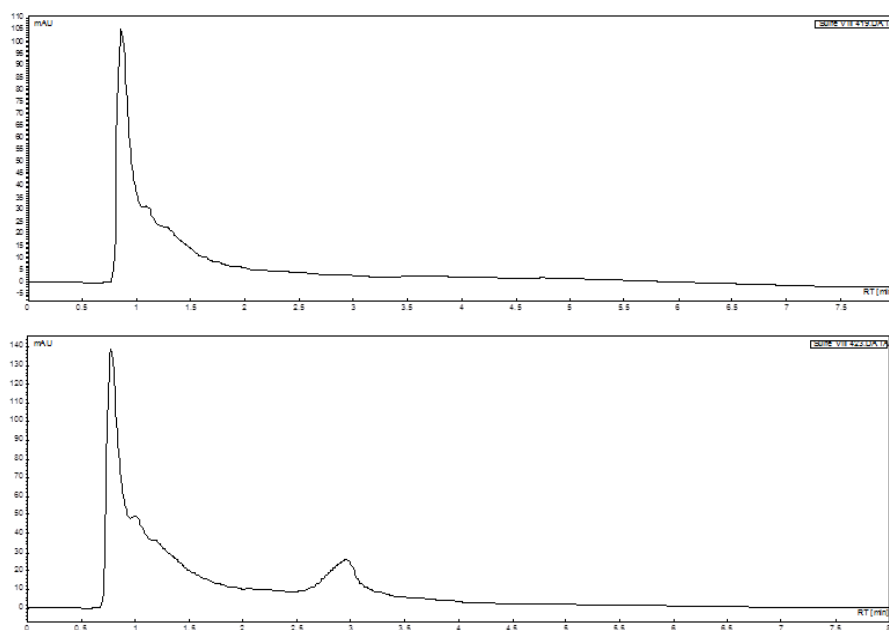


Figura 1. Cromatogramas de extratos do Argissolo Vermelho-Amarelo isento e fortificado com Sulfentrazone ($5,0 \text{ mg kg}^{-1}$), respectivamente, tempo de retenção de aproximadamente 2,5 min. Mossoró-RN, UFERSA, 2014.

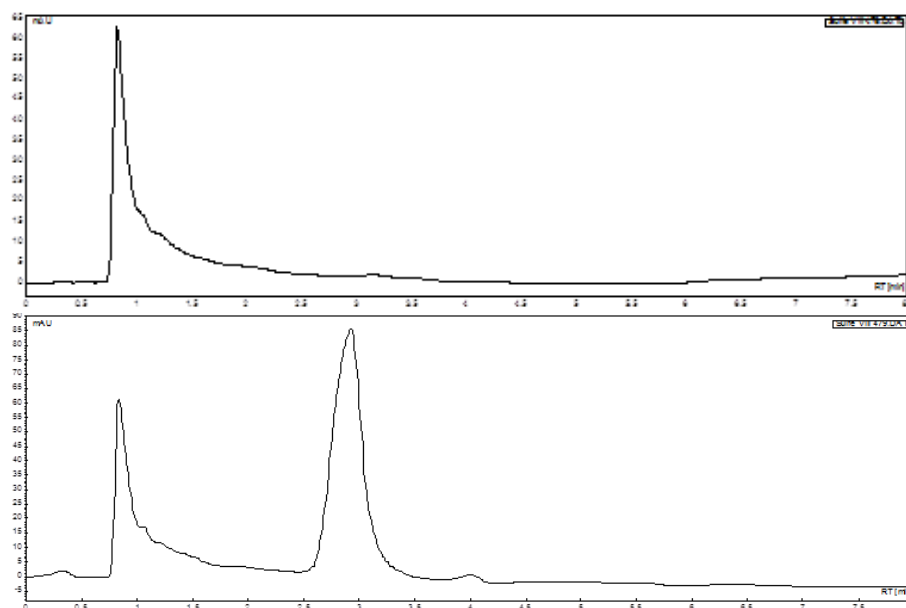


Figura 2. Cromatogramas de extratos do Cambissolo Háplico isento e fortificado com Sulfentrazone ($5,0 \text{ mg kg}^{-1}$), respectivamente, tempo de retenção de aproximadamente 2,5 min. Mossoró-RN, UFERSA, 2014.

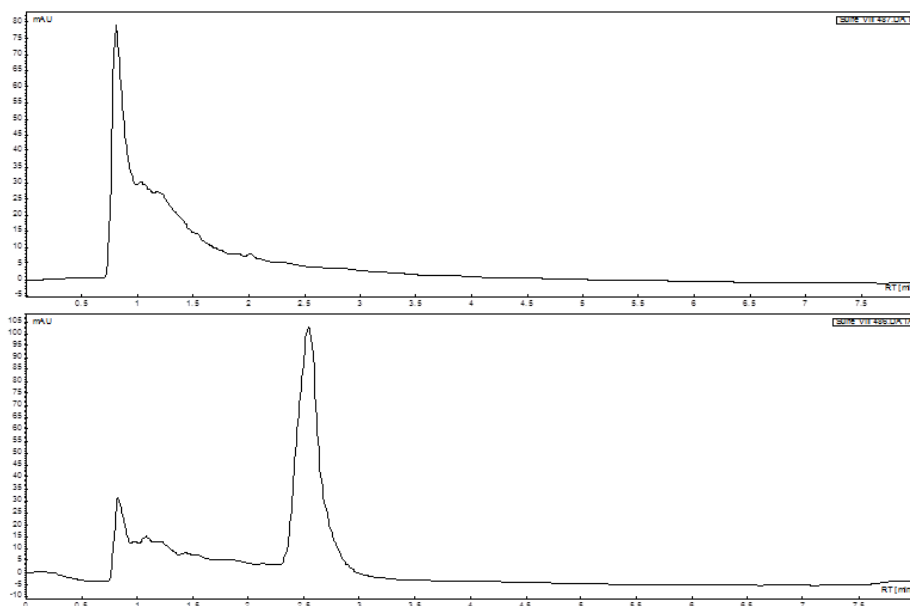


Figura 3. Cromatogramas de extratos do Latossolo Vermelho-Amarelo isento e fortificado com Sulfentrazone ($5,0 \text{ mg kg}^{-1}$), respectivamente, tempo de retenção de aproximadamente 2,5 min. Mossoró-RN, UFERSA, 2014.

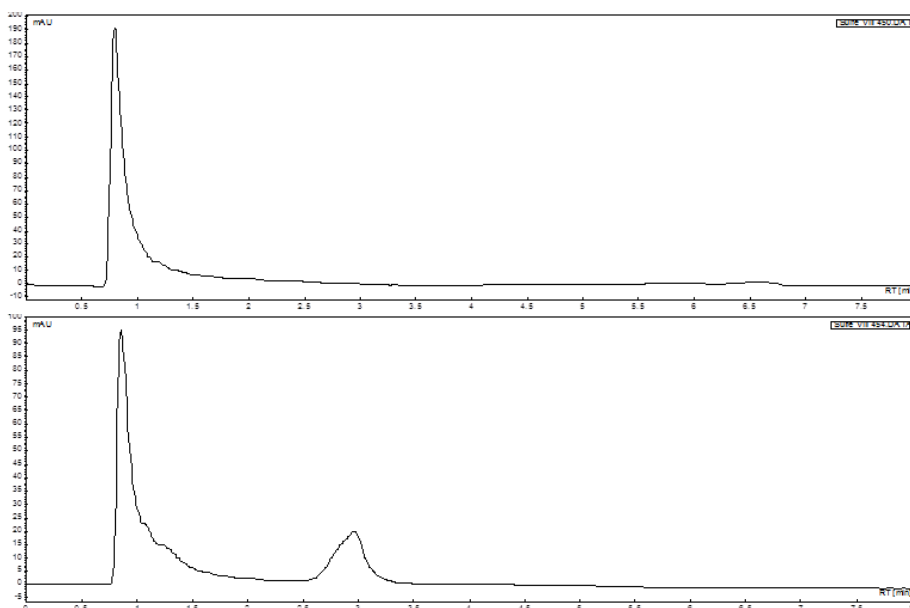


Figura 4. Cromatogramas de extratos do Neossolo Quartzarênico isento e fortificado com Sulfentrazone ($5,0 \text{ mg kg}^{-1}$), respectivamente, tempo de retenção de aproximadamente 2,5 min. Mossoró-RN, UFERSA, 2014.

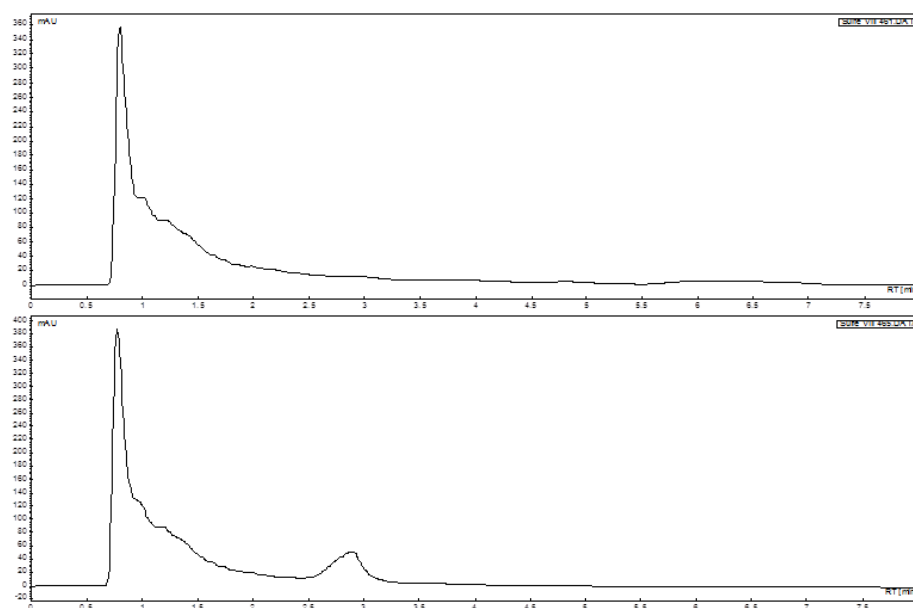


Figura 5. Cromatogramas de extratos do Gleissolo Háplico isento e fortificado com Sulfentrazone ($5,0 \text{ mg kg}^{-1}$), respectivamente, tempo de retenção de aproximadamente 2,5 min. Mossoró-RN, UFERSA, 2014.

A linearidade é a capacidade de o método fornecer resultados diretamente proporcionais à concentração do composto em análise, dentro da faixa de estudo (RIBANI et al., 2004). Avaliou-se a linearidade do aparelho injetando-se soluções padrão do sulfentrazone nas concentrações de $0,2$ a 100 mg L^{-1} e construiu-se a curva analítica na qual se obteve o coeficiente de determinação de $0,99$.

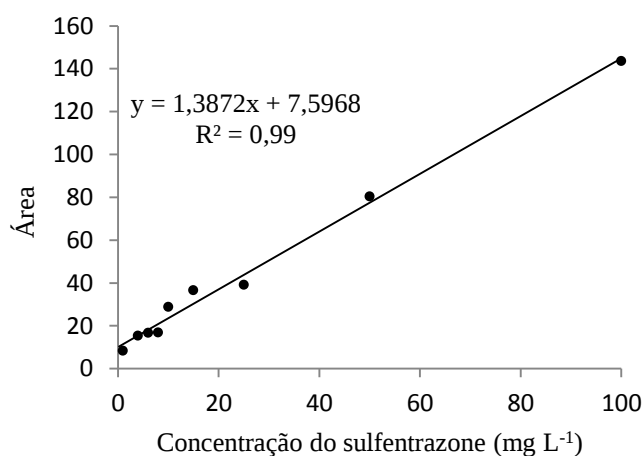


Figura 6. Curva analítica do sulfentrazone. Mossoró-RN, UFERSA, 2014.

Para avaliação da linearidade do método, a faixa de trabalho foi construída para as concentrações de 0,5 a 50 mg kg⁻¹ em acetonitrila. Todos os solos foram fortificados com o sulfentrazone em diferentes concentrações (0,08 a 8,30 mg L⁻¹) e submetidos às etapas de extração e analisadas por CLAE para construção de suas respectivas curvas analíticas. Na tabela 4 encontram-se as equações das curvas analíticas para os solos estudados, onde os valores dos coeficientes de determinação foram maiores do que 0,99, indicando um ajuste ideal de acordo com IMETRO (2003).

Tabela 4. Equações da curvas analíticas e coeficiente de determinação (r^2) nos solos estudados.

Solos	Equações	Coefficiente de determinação (r^2)
PVA	$\hat{Y} = 1,1362x - 0,2568$	0,997
CX	$\hat{Y} = 1,0406x - 0,2242$	0,995
LVA	$\hat{Y} = 1,3014x - 0,6886$	0,998
RQ	$\hat{Y} = 1,5867x + 0,848$	0,994
GX	$\hat{Y} = 1,6186x - 1,4587$	0,994

. Os limites de detecção (LD) e quantificação (LQ) foram calculados pelo método da relação sinal-ruído, em que LD foi a concentração que apresentou um sinal três vezes superior ao ruído do aparelho e o LQ, um sinal dez vezes superior ao ruído (Tabela 5).

Tabela 5. Limites de detecção e quantificação do sulfentrazone para os solos avaliados em mg L^{-1} e mg kg^{-1} .

Solos	Limite de detecção (mg L^{-1})	Limite de quantificação (mg L^{-1})	Limite de detecção (mg kg^{-1})	Limite de quantificação (mg kg^{-1})
PVA	0,0083	0,0416	0,05	0,25
CX	0,0083	0,0416	0,05	0,25
LVA	0,0083	0,0416	0,05	0,25
RQ	0,0033	0,0166	0,02	0,10
GX	0,0166	0,0500	0,10	0,30

3.2 LIXIVIAÇÃO DO SULFENTRAZONE

A maior mobilidade do sulfentrazone foi verificada no RQ, tendo sido detectado pelas plantas indicadoras até a profundidade de 45 cm, indicando elevado potencial de lixiviação do herbicida neste solo (Figuras 7D e 8D e 7F), o que resultou na redução da concentração do herbicida nos primeiros 10 cm das colunas, evidenciada pelo menor índice de intoxicação e maior acúmulo de massa seca nas plantas indicadoras em relação à profundidade de 15 a 35 cm, onde os sintomas foram mais evidenciados. O carreamento do herbicida no solo, com menor concentração nas camadas superficiais, compromete sua eficácia no controle das plantas daninhas, haja vista que praticamente todas as sementes de plantas infestantes que germinam estão localizadas próximo à superfície do solo, especialmente nos primeiros cinco centímetros de profundidade.

O elevado potencial de lixiviação nesse se deve à textura arenosa e ao baixo teor de matéria orgânica (Tabelas 1 e 2). Segundo Liu et al. (2010), em solos com pouca matéria orgânica e pouca argila, a percolação de herbicidas pode ocorrer, facilitando sua disponibilização na solução do solo, tornando-o passível ao transporte até o lençol freático.

Rossi et al. (2003), trabalhando com colunas utilizando um Neossolo Quartziaênico desestruturado, detectaram intoxicação por sulfentrazone nas plantas indicadoras até 22,5 e 30 cm de profundidade, respectivamente, para lâminas de água 60 e 90 mm. Diante disso, presume-se que se, neste trabalho, se fosse aplicada lâmina superior a 60 mm, a mobilidade do herbicida seria ainda maior.

A mobilidade do herbicida também foi elevada no LVA, com sintomas de intoxicação e redução no acúmulo de matéria seca nas plantas indicadoras observados até a profundidade de 35 cm (Figuras 7C e 8C).

A intensa percolação do herbicida no perfil deste solo tem relação com a composição da fração argila, com predominância da caulinita (Ct), além de outros minerais, como Gibbsita (Gb), Goethita (Gt) e Hematita (Hm) (Tabela 3). Os óxidos de ferro (hematita e goethita) e alumínio (principalmente gibbsita) possuem comportamento semelhante aos argilominerais 1:1, que têm baixa CTC. Segundo Procópio et al. (2001), nas condições tropicais em que os solos são altamente intemperizados, predominam óxidos e hidróxidos de Fe e Al e argilas silicatadas 1:1, de baixa reatividade (caulinita); desse modo, a matéria orgânica é o principal contribuinte para a CTC desses solos. E conforme se observa na Tabela 1, o baixo teor de matéria orgânica desse solo também não favorece a retenção do herbicida.

Segundo Silva et al. (2007), em diversos casos, não há correlações entre a sorção do herbicida e os teores de argila. Isso ocorre porque as características químicas das argilas dependem do material de origem do solo e do grau de intemperismo deste, o que varia muito em condições tropicais (LINDSAY, 2001).

No PVA, no CX e no GX, o sulfentrazone causou intoxicação nas plantas indicadoras até 20 cm de profundidade (Figuras 7A, 7B e 7E), embora com sintomas mais pronunciados até 15 cm, indicando maior concentração do herbicida até essa profundidade, o que é reforçado pela redução no acúmulo de matéria seca, detectada para os respectivos solos até 15 cm (Figuras 8A, 8B e 8E) e na ilustração na Figura 7F. Freitas et al. (2012) também verificaram maior eficiência da avaliação visual da intoxicação de plantas indicadoras em relação ao acúmulo de matéria seca. A menor mobilidade do sulfentrazone parece estar relacionada ao maior teor de matéria orgânica para o PVA e GX e de argila para o CX, aumentando a sorção do herbicida.

Vivian et al. (2006), estudando sulfentrazone por meio de bioensaios em Argissolo Vermelho-Amarelo coletadas em campo após a aplicação de sulfentrazone, detectaram o herbicida até 20 cm de profundidade no perfil do solo coletado.

Freitas et al. (2012), trabalhando com ametryn em solos de diferentes regiões (inclusive do Nordeste brasileiro), verificaram lixiviação deste herbicida até 20 cm de profundidade em um Cambissolo (Apodi/RN) e até 25 cm no Argissolo Vermelho-Amarelo distrófico latossólico (Mossoró/RN), ao passo que em um Latossolo Vermelho-Amarelo (Viçosa/MG) a movimentação deste herbicida foi até 5 cm de profundidade. Os referidos autores afirmaram que a maior mobilidade em solos do Nordeste foi influenciada pelas características físicas e químicas do solo, como textura, teor de argila, matéria orgânica, podendo ser potencializada em solos com pH elevado.

A técnica de cromatografia líquida permite quantificar o teor do herbicida ao longo da coluna de solo, mostrando seu deslocamento nos diferentes seguimentos (SILVA et al., 2012). Na Figura 9, apresentou-se a concentração do sulfentrazone nos diferentes solos em cada segmento da coluna, onde se observa que a detecção do sulfentrazone por meio do método cromatográfico foi ligeiramente inferior à avaliação visual de intoxicação no bioensaio (Figuras 7 e 8), apresentando, no entanto, a vantagem de determinar a concentração herbicida no perfil do solo.

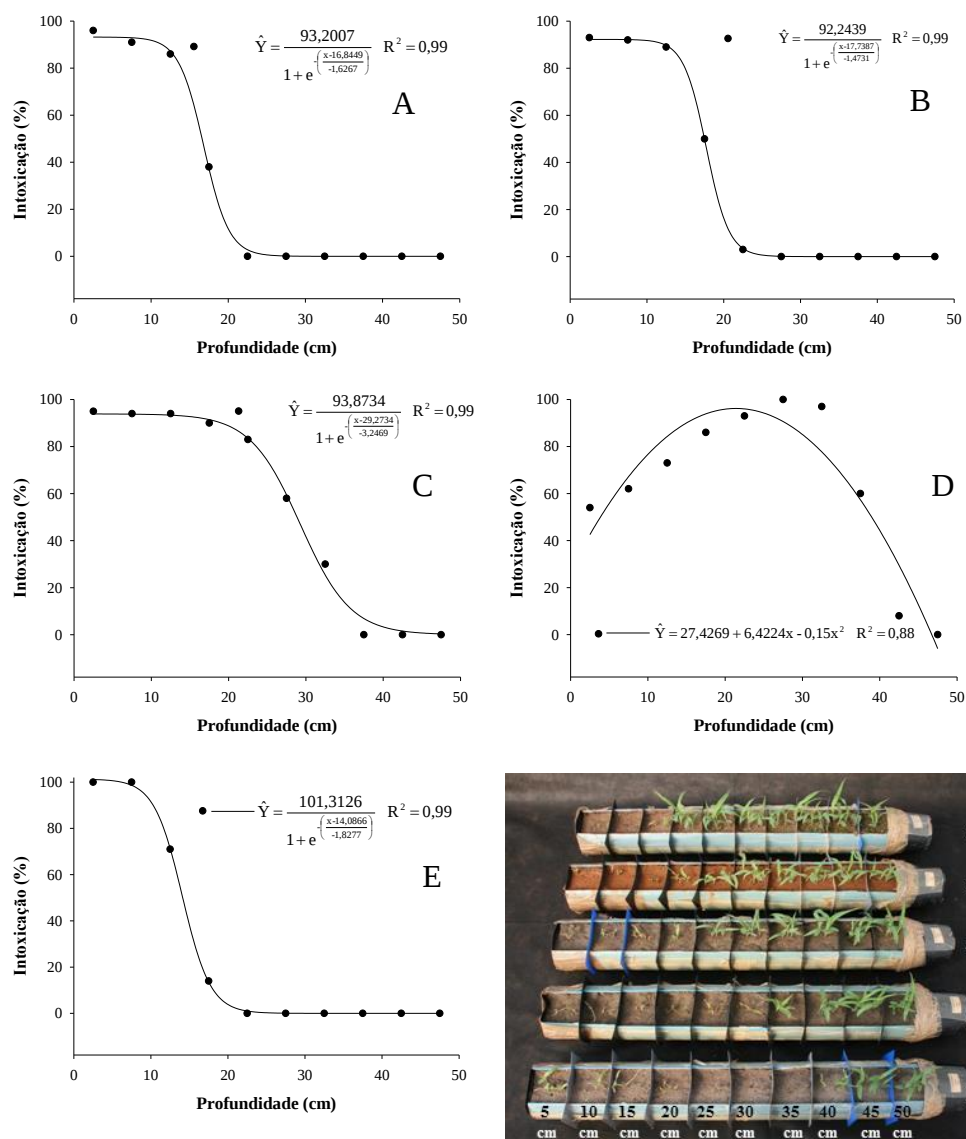


Figura 7. Intoxicação das plantas de sorgo nos solos do Nordeste brasileiro: Argissolo (A), Cambissolo (B), Latossolo (C), Neossolo (D) e Gleissolo (E), nas diferentes profundidades da coluna, após a aplicação do sulfentrazone e simulação de 60 mm de precipitação pluviométrica e sintomas visuais de intoxicação de sulfentrazone em plantas de sorgo, em diferentes profundidades das colunas (cm), nos respectivos solos. Mossoró-RN, UFERSA, 2013.

Todavia, quando o herbicida se distribui no perfil do solo, pequenas variações podem resultar em dificuldade no ajuste de modelos que expliquem o fenômeno, conforme observado nas Figura 9D, onde no método cromatográfico não se ajustou nenhum modelo para o Neossolo Quartzarênico.

A cromatografia requer laboratórios sofisticados, mão-de-obra altamente qualificada e consome grande quantidade de solventes e outros produtos químicos, que podem contaminar o meio ambiente, ao passo que a detecção por meio do ensaio biológico é um processo muito mais simples e barato, sem requerer estruturas, corroborando com Melo et al. (2010) e Freitas et al. (2012), que afirmam que o bioensaio alia baixo custo ao bom resultado prático. Todavia, quando se alia os dois métodos, os resultados são bem mais claros, com a maior sensibilidade de detecção para o bioensaio e a quantificação da substância por meio da cromatografia, têm-se a possibilidade de obter melhor entendimento dos eventos ocorridos.

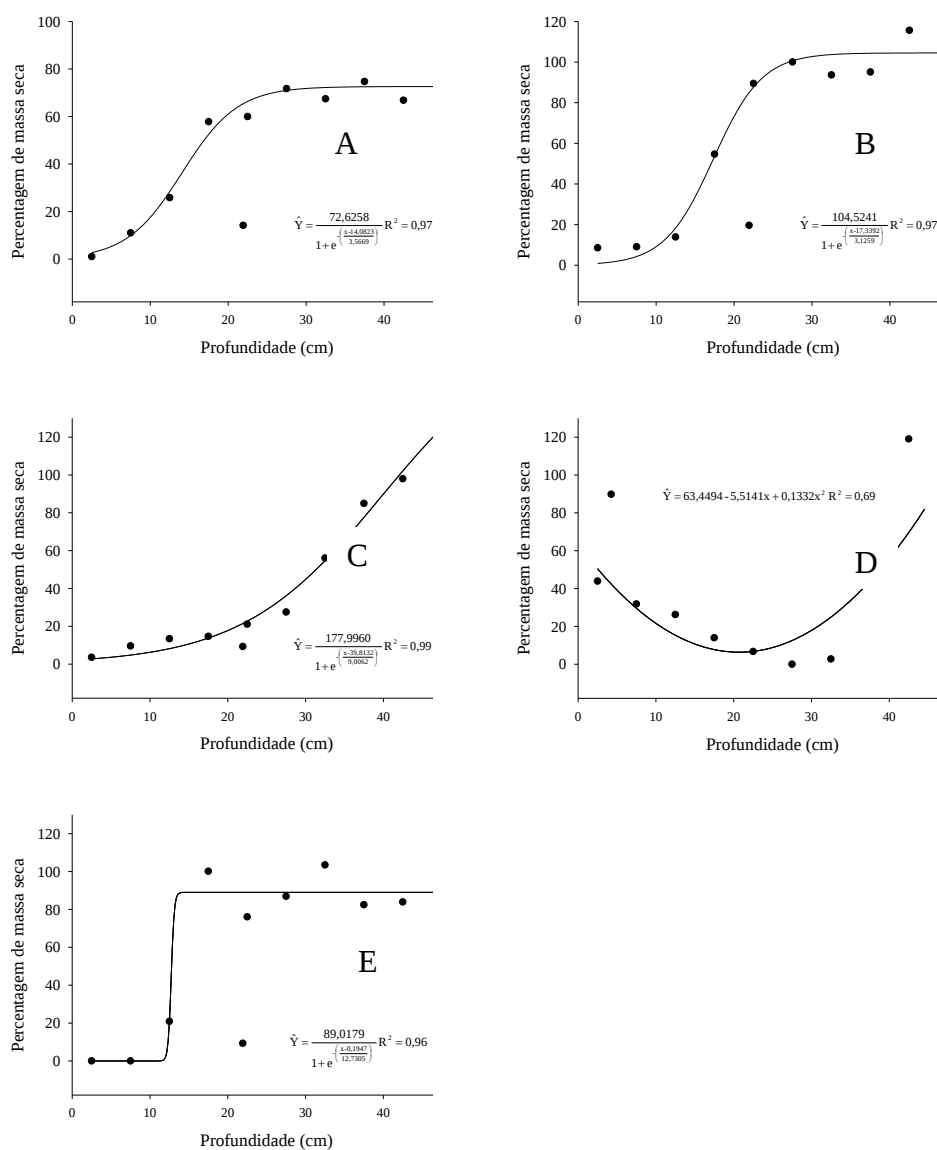


Figura 8. Percentagem da massa seca de sorgo em relação à testemunha em diferentes profundidades das colunas, nos cinco solos: Argissolo (A); Cambissolo (B); Latossolo (C); Neossolo (D) e Gleissolo (E), após a aplicação de sulfentrazone e simulação de precipitação pluviométrica de 60 mm. Mossoró-RN, UFERSA, 2013.

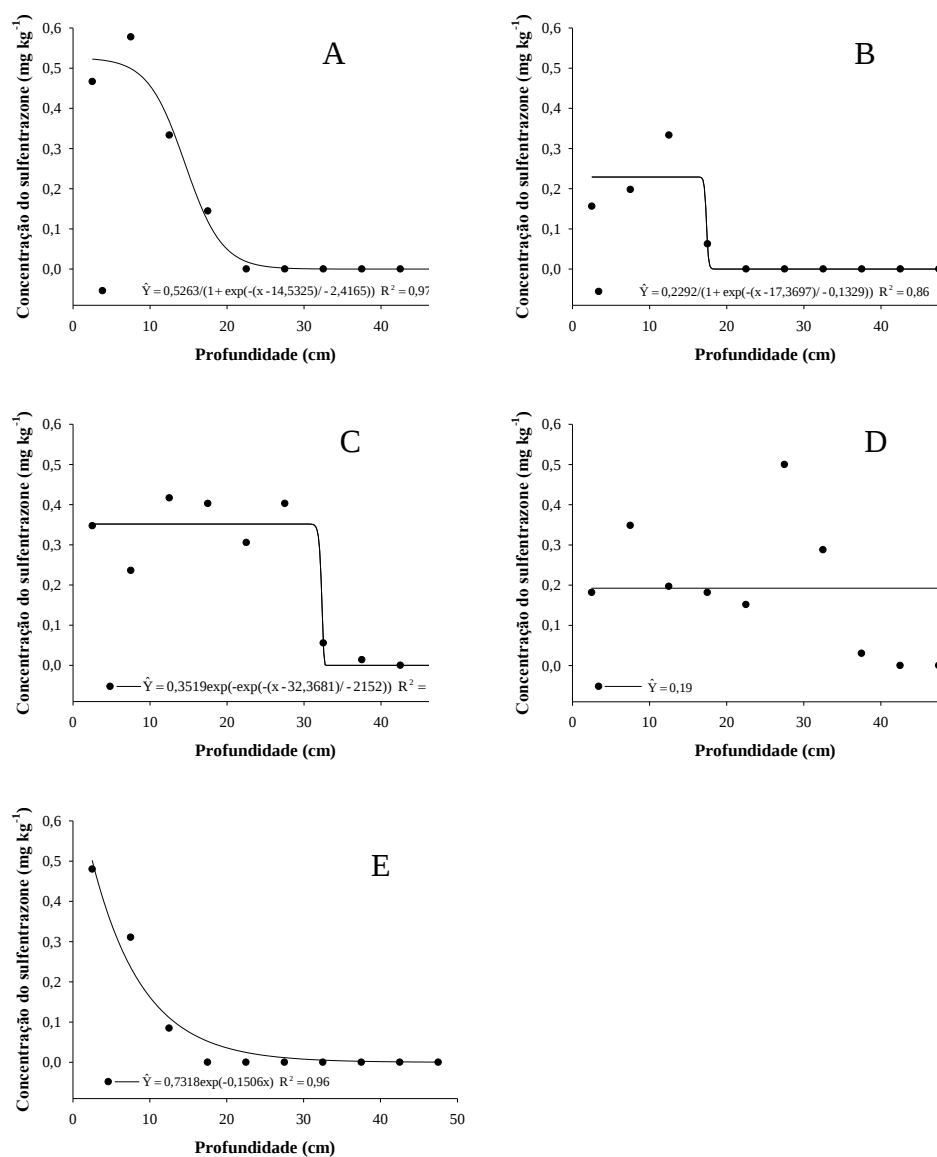


Figura 9. Concentrações de sulfentrazone em diferentes profundidades das colunas, nos cinco solos: Argissolo(A); Cambissolo (B); Latossolo (C); Neossolo (D) e Gleissolo (E), após a aplicação de sulfentrazone e simulação de precipitação pluviométrica de 60 mm. Mossoró-RN, UFERSA, 2014.

A mobilidade do herbicida no perfil do solo pode ser benéfica para herbicidas que exercem seu efeito sobre sementes ou plântulas durante a germinação ou emergência, mas em excesso pode acarretar redução da eficácia pela percolação do composto no perfil do solo, além da possibilidade de contaminação do lençol freático.

Passos et al. (2011), trabalhando com sulfentrazone em solos coletados em áreas de reflorestamento, verificaram que o Argissolo Vermelho, com maior teor de argila, foi o que reteve nas primeiras profundidades (0-15 cm) a maior concentração do herbicida, ao passo que para o Planossolo Háplico, com o menor teor de argila e matéria orgânica, a concentração do sulfentrazone encontrada foi praticamente homogênea em todas as secções da coluna. Este resultado evidencia a grande influência do teor de argila e de matéria orgânica na mobilidade do sulfentrazone, condizendo com Grey et al. (1997) e Melo et al. (2010).

Os resultados deste trabalho estão de acordo com Freitas et al. (2014), que verificaram efeitos das características físico-químicas dos solos sobre o comportamento do sulfentrazone. Segundo este autor, para se fazer recomendação desse herbicida, no intuito de garantir eficiência técnica e sustentabilidade ambiental, é necessário conhecer as características químicas e físicas dos solos, pois a sorção deste herbicida é muito influenciada pela textura, teor de matéria orgânica e pH dos solos.

4 CONCLUSÕES

- Foram encontrados sintomas de intoxicação do sulfentrazone até 45cm no Neossolo Quartzarênico, 35cm no Latossolo Vermelho-Amarelo, 20 cm no Argissolo Vermelho-Amarelo, 20 cm no Cambissolo Háplico e 20 cm Gleissolo Háplico.
- Houve perda de eficiência do sulfentrazone no Neossolo Quartzarênico, pois os sintomas de intoxicação foram mais elevados entre 15 cm e 35 cm de profundidade.

REFERÊNCIAS

- ANDRADE, S. R. B. et al. Lixiviação do ametryn em Argissolo Vermelho-Amarelo e Latossolo Vermelho-Amarelo, com diferentes valores de pH. **Planta Daninha**, Viçosa-MG, v. 28, n. 3, p. 655-663, 2010.
- ANVISA – Agência Nacional de Vigilância Sanitária. **Resolução - RE nº 899**, de 29 de maio de 2003. Disponível em: <http://www.anvisa.gov.br/legis/resol/2003/re/899_03re.htm>. Acesso em: 20 nov. 2014.
- CARTER, A. D. Herbicide movement in soils: principles, pathways and processes. **Weed Res.**, v. 40, n. 1, p. 113-122, 2000.
- CHEN, P. Y. **Table of key lines in X-ray powder diffraction patterns of minerals in clays and associated rocks**: Geological Survey Occasional Paper 21. Bloomington: Indiana Geological Survey Report., 1977. 67p.
- DE PAULA, R. T. **Mobilidade de atrazine e ametryn em Latossolo Vermelho-Amarelo**. 2007. 105f. Dissertação (Mestrado em Agroquímica) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 2007.
- EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Manual de métodos de análise de solo**. 2.ed. Rio de Janeiro, 1997. 212 p.
- FMC Crop. **Technical bulletin of sulfentrazone**. Philadelphia: 1995. 6p.
- FREITAS, M. A. M. et al. Sorção do sulfentrazone em diferentes tipos de solo determinada por bioensaios. **Planta Daninha**, Viçosa-MG, v. 32, p. 385-392, 2014.
- FREITAS, F. C. L. et al. Mobilidade do ametryn em solos da região semiárida do Rio Grande do Norte. **Planta Daninha**, Viçosa-MG, v. 30, n. 3, p. 641-648, 2012.
- GOULART, S. M. et al. Low-temperature clean-up method for the determination of pyrethroids in milk using gas chromatography with electron capture detection. **Talanta**, v. 75, p. 1320-1323, 2008.
- GREY, T. L.; WALKER, R. H.; WEHTJE, G. R.; HANCOCK, H. G. Sulfentrazone adsorption and mobility as affected by soil and pH. **Weed Science**, v.45, p.733-738, 1997.

INMETRO – Instituto Nacional de Metrologia, Normatização e Qualidade Industrial. **Orientações sobre validação de métodos de ensaios químicos. DOQ-CGCRE-008.** 2003. 36p.

LINDSAY, W. L. **Chemical equilibria in soils.** New Jersey: Blackburn, 2001. 449p.

LIU, Y.; et al. Adsorption and desorption behavior of herbicide diuron on various Chinese cultivated soils. **Journal of Hazardous Materials**, v. 178, n. 1-3, p. 462–468, 2010.

MELO, C. A. D. et al. Lixiviação de sulfentrazone, isoxaflutole e oxyfluorfen no perfil de três solos. **Planta Daninha**, Viçosa-MG, v. 28, n. 2, p. 385-392, 2010.

PASSOS, A. B. R. J. **Sorção, dessorção e lixiviação do sulfentrazone em diferentes solos brasileiros.** 48p. Dissertação (Mestrado em Agroquímica) Universidade Federal de Viçosa, 2011. Departamento de Química.

PASSOS, A. B. R. J.; FREITAS, M. A. M. ; TORRES, L. G. ; SILVA, A. A. ; QUEIROZ, M. E.L.R. ; LIMA, C. F. Sorption and desorption of sulfentrazone in Brazilian soils. **Journal of Environmental Science and Health. Part B. Pesticides, Food Contaminants, and Agricultural Wastes**, v. 48, p. 646-650, 2013.

PROCÓPIO, S. O. et al. Sorção do herbicida atrazine em complexos organominerais. **Planta Daninha**, Viçosa-MG, v. 19, n. 3, p. 391-400, 2001.

RIBANI, M. et al. Validação em métodos cromatográficos e eletroforéticos. **Química Nova**, v.27, n.5, p.771-780, 2004.

ROCHA, P.R. R, et al. Dinâmica de herbicidas em solos do Nordeste In: COSTA, A. G. F., FREITAS, F. C. L, SOFIATTI, V. **Desafios, avanços e soluções no manejo de plantas daninhas: palestras apresentadas no II Simpósio sobre manejo de plantas daninhas no Nordeste.** 1ºed. Brasília: EMBRAPA, 2013, p. 37-50.

RODRIGUES, B. N.; ALMEIDA, F. S. **Guia de herbicidas.** 6.ed. Londrina, PR, 2011. 697 p.

ROSSI, C. V. S. et al. Mobilidade do sulfentrazone em Nitossolo Vermelho e em Neossolo Quartzarênico. **Planta Daninha**, Viçosa-MG, v. 21, n. 1, p. 111-120, 2003.

SILVA, A. A. et al. Herbicidas: comportamento no solo. In: SILVA, A. A.; SILVA, J. F. (Ed.). **Tópicos em manejo de plantas daninhas**. Viçosa, MG: Universidade Federal de Viçosa, 2007. p. 189-248.

SILVA, L. O. C. et al. Mobilidade do ametryn em Latossolos brasileiros. **Planta daninha**, Viçosa-MG, v. 30, n. 4, p. 883-890, 2012.

SOUTHWICK, L. M. et al. Potential influence of sugarcane cultivation on estuarine water quality of Louisiana's gulf coast. **J. Agric. Food Chem.**, v. 50, p. 4393-4399, 2002.

TANABE, A. et al. Seasonal and special studies on pesticides residues in surface waters of the Shinano river in Japan. **J. Agric. Food Chem.**, v. 49, p. 3847-3852, 2001.

VELINI, E. D. Comportamento de herbicidas no solo. In: SIMPÓSIO NACIONAL SOBRE MANEJO DE PLANTAS DANINHAS EM HORTALIÇAS, 1992, Botucatu. **Resumos...** Botucatu: 1992. p. 44-64.

VIEIRA, H. P. et al. Otimização e validação da técnica de extração líquido-líquido com partição em baixa temperatura (ELL-PBT) para piretróides em água e análise por CG. **Química Nova**, v. 30, n. 3, p. 535-540, 2007.

VIVIAN, R. et al. Persistência de sulfentrazone em Argissolo Vermelho-Amarelo cultivado com cana-de-açúcar. **Planta daninha**, Viçosa-MG, v. 24, p. 741-750, 2006.

VIVIAN, R. et al. Persistência e lixiviação de ametryn e trifloxysulfuron-sodium em solo cultivado com cana-de-açúcar. **Planta Daninha**, Viçosa-MG, v. 25, n. 1, p. 111-124, 2007.