

SORÇÃO E DESSORÇÃO DO AMETRYN EM ARGISSOLO VERMELHO-AMARELO E LATOSSOLO VERMELHO-AMARELO COM DIFERENTES VALORES DE pH¹

Ametryn Sorption and Desorption in Red-Yellow Latosol and Red-Yellow Ultisol with Different pH Values

ANDRADE, S.R.B.², SILVA, A.A.³, QUEIROZ, M.E.L.R.⁴, LIMA, C.F.⁴ e D'ANTONINO, L.⁵

RESUMO - Objetivou-se com este trabalho determinar os coeficientes de sorção e dessorção do ametryn num Argissolo Vermelho-Amarelo (PVA) e num Latossolo Vermelho-Amarelo (LVA) com diferentes valores de pH. Para isso, amostras desses solos foram coletadas na profundidade de 0 a 20 cm, em pastagens degradadas sem histórico da utilização de herbicidas da região de Viçosa, MG, e incubadas ou não com calcário por 90 dias. Neste estudo foi utilizado o método "Batch slurry", conduzido em condições controladas de laboratório. O método consistiu na utilização de 10,0 mL de solução com concentrações crescentes do padrão de ametryn, preparadas em solução de CaCl_2 0,01 mol L⁻¹, as quais foram adicionadas a 2,00 g de solo, permanecendo sob agitação rotatória por 12 h. Após centrifugação e filtração, a concentração do sobrenadante foi determinada pela técnica de cromatografia líquida de alta eficiência - CLAE, com detector UV de 245 nm. A dessorção foi avaliada utilizando as amostras contidas nos tubos, após os ensaios de sorção, que continham dose inicial de 25,0 mg L⁻¹ de herbicida. O PVA apresentou o maior coeficiente de adsorção (K_{fa}) quando comparado ao LVA, independentemente dos valores de pH das amostras. Isso foi atribuído ao maior teor de matéria orgânica do PVA em comparação ao LVA. Quando se compararam diferentes valores de pH utilizando apenas o LVA, observou-se que o aumento do pH ocasionou menor valor de K_{fa} . Baixos índices de histerese foram verificados no ametryn nos solos estudados, o que representa risco de lixiviação desse herbicida no perfil desses solos.

Palavras-chave: herbicida, comportamento no solo, cromatografia, isotermas de Freundlich.

ABSTRACT - The objective of this work was to determine the coefficients of ametryn sorption and desorption in Red-Yellow Ultisol (PVA) and Red-Yellow Latosol (LVA) with different pH values. Thus, 0-20 cm depth soil samples were collected from degraded pastures without the use of herbicide in the region of Viçosa-MG, and incubated or not with limestone for 90 days. The Batch slurry method was used under controlled laboratory conditions. The method consisted of using 10.0 mL solution at increasing concentrations of ametryn standard, prepared in 0.01 mol L⁻¹ CaCl₂ solution, added to 2.00 g of soil, and remaining under rotating agitation for 12 h (pre-determined equilibrium time). After centrifugation and filtration, the supernatant concentration was determined by high performance liquid chromatography (HPLC) with UV detector of 245 nm. Desorption was evaluated using the samples contained in the tubes, after the sorption trials, which contained the initial dose of 25 mg L⁻¹ of herbicide. The PVA presented the highest adsorption coefficient (K_{fa}) compared to the LVA, regardless of the pH values of the samples. This was attributed to the higher organic matter content in the PVA, compared to the LVA. When comparing the same soil (LVA) at different pH values, it was observed that pH value increase resulted in a lower K_{fa} value. Low hysteresis indices were observed for ametryn in the soils studied, representing a risk of this herbicide leaching in the profile of these soils.

Keywords: herbicide, soil behavior, chromatography, Freundlich isotherms.

¹ Recebido para publicação em 23.11.2009 e na forma revisada em 12.3.2010.

² Licenciada em Química, M.Sc., <shisleybarcelos@yahoo.com.br>; ³D.Sc., Professor Associado do Dep. de Fitotecnia, Universidade Federal de Viçosa – DFT/UFV, 36570-000 Viçosa-MG; ⁴D.Sc., Professor Associado do Dep. de Química – DEQ/UFV; ⁵ Eng^o-Agr^o, D.Sc. – DFT/UFV.



INTRODUÇÃO

A globalização da economia e o mercado em expansão intensificaram os investimentos em melhorias na produção de cana-de-açúcar, destacando-se os ganhos agrícolas obtidos pela eficiência no controle de plantas daninhas na cultura. Entre os métodos disponíveis, a utilização do controle químico é prática indispensável na agricultura de larga escala, como a atividade canavieira, onde diversos herbicidas são aplicados a cada ano. No Brasil, 42% dos agrotóxicos comercializados são herbicidas (Sindag, 2007).

Apesar dos benefícios alcançados com o seu uso, os herbicidas têm acarretado sérios problemas ambientais, sendo eles apontados como os compostos mais encontrados como contaminantes de águas de superfície e subsuperfície (Carter, 2000; Tanabe et al., 2001). Além disso, efeitos econômicos indiretos são causados pelos custos posteriores de tratamento e descontaminação de mananciais hídricos (Skinner et al., 1977).

Embora existam estudos relativos ao comportamento de herbicidas em solos utilizados na cultura da cana-de-açúcar, a maioria deles se restringe às condições de clima temperado. No Brasil, especialmente em solos tropicais, estudos sobre os processos de distribuição e degradação de herbicidas no ambiente após a sua aplicação são raros (Oliveira Jr. et al., 2001; Inoue et al., 2002).

Recomendado para a cultura da cana-de-açúcar, o ametryn apresenta sorção pelos coloides do solo muito influenciada pelo pH e pelo teor de matéria orgânica. Também pode apresentar sorção negativa (dessorção), ocorrendo liberação para as plantas de moléculas anteriormente inativadas pelos coloides do solo (Silva et al., 2007). O conhecimento do processo de retenção do herbicida no solo é fundamental para se prever o potencial de lixiviação, a degradação e a eficiência no controle das plantas daninhas quando o herbicida for aplicado em pré-emergência (Procópio et al., 2002). No entanto, na maioria das vezes a recomendação de herbicidas no Brasil somente leva em conta a seletividade desses produtos à cultura e à espécie infestante, desconsiderando o seu comportamento no ambiente.

A interação solo-herbicida afeta a disponibilidade do produto na solução do solo e, conseqüentemente, a sua eficácia no controle das plantas daninhas e a permanência de resíduos indesejáveis no ambiente. Sabe-se que tanto o pH quanto as características físicas do solo podem influenciar a disponibilidade do herbicida nesse local, alternando o seu potencial de injúria às plantas. Assim, o efeito será diferenciado de acordo com as características químicas de cada herbicida. O potencial de injúria às culturas é determinado pela persistência do herbicida no solo e pela suscetibilidade da cultura ao produto químico utilizado (Ferri et al., 2000).

Os herbicidas podem apresentar natureza iônica ou não iônica (Silva et al., 2007). O estado de ionização das moléculas dos herbicidas influencia sua sorção aos coloides orgânicos e minerais do solo, que por sua vez afeta a degradação, a persistência e, principalmente, a sua atividade. Isso ocorre porque menor quantidade de herbicida poderá estar disponível para a absorção pelas raízes das plantas (Ferri et al., 2000). Além da sorção, os processos de dissipação – como a degradação biológica, a volatilização, a lixiviação e o transporte por erosão hídrica – também afetam a absorção desses produtos pelas raízes das plantas. Dessa forma, podem ocorrer variações na eficácia de controle de plantas daninhas e o risco de contaminação ambiental. Considerando que os solos são formados por materiais de origens diferentes, formando um complexo argilo-orgânico com características físico-químicas variáveis, as quais interagem com os herbicidas, estudos precisam ser feitos para se recomendar com segurança os herbicidas visando eficiência de controle e redução de impacto ambiental. Assim, objetivou-se com este trabalho determinar os coeficientes de sorção e dessorção do ametryn em Argissolo Vermelho-Amarelo e Latossolo Vermelho-Amarelo com diferentes valores de pH.

MATERIAL E MÉTODOS

Os ensaios foram realizados em laboratórios do Departamento de Fitotecnia e de Química da Universidade Federal de Viçosa. Foram coletadas amostras de Argissolo Vermelho-Amarelo (PVA) e Latossolo Vermelho-Amarelo (LVA), na profundidade de

0 a 20 cm, em pastagens degradadas sem histórico de utilização de herbicidas, na região de Viçosa, MG. Após a coleta, as amostras de solo foram peneiradas em malha de 4 mm e, posteriormente, armazenadas em caixas de polietileno de 1.000 L. As amostras do Latossolo Vermelho-Amarelo foram divididas em três subamostras, sendo duas partes tratadas com calcário dolomítico (PRNT = 80%) e incubadas por 90 dias, em condição de umidade próxima à capacidade de campo. A terceira subamostra não foi tratada com calcário, permanecendo com o pH original (4,4). Posteriormente, todas as amostras foram caracterizadas física e quimicamente (Tabela 1).

O tempo necessário para o equilíbrio da sorção do ametryn nos solos foi avaliado inicialmente pelo método de *batch equilibrium* (OECD, 1993). Para isso, uma solução contendo 10,0 mg L⁻¹, obtida a partir de uma solução-estoque de 1.000 mg L⁻¹ de ametryn (grau técnico), foi preparada em solução de CaCl₂ 0,01 mol L⁻¹. Em seguida, 10,0 mL da solução de CaCl₂, contendo o ametryn, foram adicionados em tubos de polipropileno, os quais continham 2,00 g de solo. Cada tubo, contendo solução e solo devidamente vedado, foi colocado sob agitação em diferentes tempos (0,5; 1,0; 2,0; 3,0; 4,0; 8,0; 12; 16; 20; e 24 horas) na temperatura de 27 ± 2 °C. Após agitação, as amostras foram centrifugadas a 3.000 rpm, por sete minutos. Parte do sobrenadante foi filtrada em filtro Milipore com membrana

PTFE de 0,45 µm, para posterior análise cromatográfica, e o restante, descartado. O tempo de equilíbrio considerado foi aquele no qual a concentração da solução analisada permaneceu constante. Todas as análises foram realizadas em triplicata, e os dados, submetidos à análise de regressão para interpretação dos resultados.

A fim de avaliar a sorção do ametryn no solo, foram preparadas soluções de trabalho a partir da solução-estoque nas concentrações de 0, 5, 10, 25, 50 e 100 mg L⁻¹ do herbicida em CaCl₂ 0,01 mol L⁻¹. Adicionaram-se 10,0 mL dessas soluções em tubos de polipropileno contendo 2,00 g de solo. Em seguida, esses tubos foram colocados sob agitação à temperatura de 27 ± 2 °C pelo tempo de equilíbrio, determinado anteriormente. Após agitação, as amostras foram centrifugadas a 3.000 rpm por sete minutos. O sobrenadante foi retirado e filtrado em filtro Milipore de 0,45 µm, para posterior análise cromatográfica. Os ensaios de dessorção foram realizados adicionando-se o mesmo volume de solução de CaCl₂ 0,01 mol L⁻¹, isenta de herbicida, aos tubos que continham 25,0 mg L⁻¹ de ametryn, antes do ensaio de adsorção. Esses tubos foram submetidos à nova agitação pelo mesmo tempo e temperatura em que foram realizados os ensaios de adsorção. Após agitação, as amostras foram centrifugadas a 3.000 rpm por sete minutos. O sobrenadante foi totalmente retirado, sendo parte filtrada em filtro Milipore de

Tabela 1 - Caracterização física e química e classificação textural das amostras de solo utilizadas no experimento. Viçosa-MG

Análise granulométrica										
Solo	Argila	Silte	Areia fina	Areia grossa	Classificação textural					
LVA	44	15	17	24	Argiloso					
PVA	25	16	22	37	Franco Argilo-arenoso					
Análise química										
Solo	pH	P	K ⁺	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	H + Al	CTC total	V	m	MO
	(H ₂ O)	(cmol _c dm ⁻³)						(%)		(dag kg ⁻¹)
LVA	4,4	1,7	27	0,6	0,2	8,25	2,29	10	63	1,70
LVA	4,9	1,7	27	1,0	0,4	7,26	2,37	15	44	1,70
LVA	5,8	1,7	27	9,2	2,6	0,99	11,87	92	0	1,70
PVA	5,9	5,2	81	2,8	1,4	2,64	4,47	63	0	2,55

Análises realizadas no Laboratório de Análises de Solo Viçosa, segundo a metodologia da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária – Embrapa (1997).



0,45 μm , para posterior análise cromatográfica. O procedimento de dessorção foi repetido por três vezes consecutivas (12, 24 e 36 h), sendo todos os experimentos conduzidos em triplicata. 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 , fez-se uso da equação de Freundlich ($C_s = K_f C_e^{1/n}$) para obtenção dos coeficientes de adsorção, em que K_f e $1/n$ são constantes empíricas que representam a capacidade e intensidade de sorção, respectivamente. As isotermas de Freundlich são utilizadas nesse tipo de ensaio para interpretação do processo sortivo. O índice de histerese (H), que representa a capacidade do composto de permanecer adsorvido, também foi calculado utilizando-se a equação $H = n_a/n_d$, sendo n_a e n_d as curvaturas das curvas representadas nos gráficos de sorção e dessorção, respectivamente.

A quantificação do ametryn foi realizada pela técnica de cromatografia líquida de alta eficiência – CLAE, no Laboratório de Síntese de Agroquímicos (LASA) do Departamento de Química da UFV. O equipamento utilizado foi um cromatógrafo líquido de alta eficiência Shimadzu SPD 2A, equipado com detector UV a 245 nm e coluna Varian de fase reversa C18 (250 x 4 mm) e 5 μm de espessura de poro. O volume de injeção foi de 20,0 μL , e a fase móvel, composta por água e acetonitrila na proporção de 52:48% (v:v) e acidificada com 0,1% de ácido fosfórico concentrado para se obter $\text{pH} \approx 2,0$. O fluxo utilizado foi de 1,2 mL min^{-1} , sendo a metodologia usada nas extrações otimizada por De Paula (2007). A solução-estoque do herbicida foi preparada a partir do padrão, com 98,3% de pureza, solubilidade de 200 mg L^{-1} (22 °C), pK_a de 4,1 e $\log K_{ow}$ de 2,63, na concentração de 1.000 $\mu\text{g mL}^{-1}$ em acetonitrila; as soluções de trabalho foram preparadas em solução aquosa de CaCl_2 0,01 mol L^{-1} , em concentrações crescentes, a partir da diluição da solução-estoque. A quantificação foi feita por meio da comparação das áreas obtidas nos cromatogramas para cada ensaio pelo método de calibração externa (padrão externo), e a identificação, pelo tempo de retenção.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

O tempo de equilíbrio de sorção do ametryn nos solos foi de 12 horas de contato (Figura 1). A partir desse tempo não houve mais variação da concentração do herbicida na solução sobrenadante. Na solução do solo, as moléculas tendem a atingir o equilíbrio entre a fase sorvida e a que permanece em solução. A absorção do herbicida pelas plantas, a sua eficácia no controle das plantas daninhas e o transporte dele no solo dependem em grande parte do equilíbrio entre os processos de sorção e dessorção. Geralmente, a eficiência e mobilidade dos herbicidas decrescem com o aumento da sua sorção pelos colóides do solo (Oliveira et al., 2005).

A curva-padrão obtida pela injeção dos padrões e o cromatograma do ametryn e seu respectivo tempo de retenção (13 minutos) estão representados nas Figuras 2 e 3, respectivamente.

Comparando os efeitos das características químicas dos solos (Tabela 1) na sorção do ametryn, foram verificados, para o mesmo tipo de solo, valores inversos entre pH e coeficiente de sorção (Figuras 4 e 5). Todavia, quando se compara o coeficiente de sorção entre os solos com valores de pH próximos (5,8 e 5,9), observa-se que maior sorção do ametryn ocorreu no Argissolo Vermelho-Amarelo em comparação ao Latossolo Vermelho-Amarelo. Verifica-se

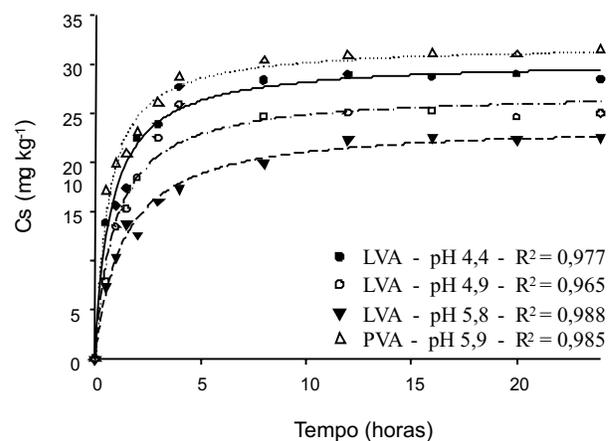


Figura 1 - Sorção do ametryn em LVA pH 4,4 ($\hat{Y} = 30,3796x / (0,7937+x)$), LVA pH 4,9 ($\hat{Y} = 27,1800x / (0,9542+x)$) LVA pH 5,8 ($\hat{Y} = 23,8904x / (1,3619+x)$) e em PVA pH 5,9 ($\hat{Y} = 31,9598x / (0,6008+x)$), em função do tempo de agitação, em horas.

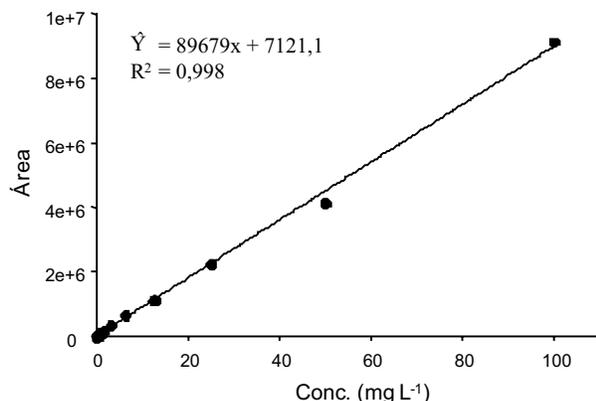


Figura 2 - Curva-padrão do ametryn em solução de CaCl_2 $0,01 \text{ mol L}^{-1}$.

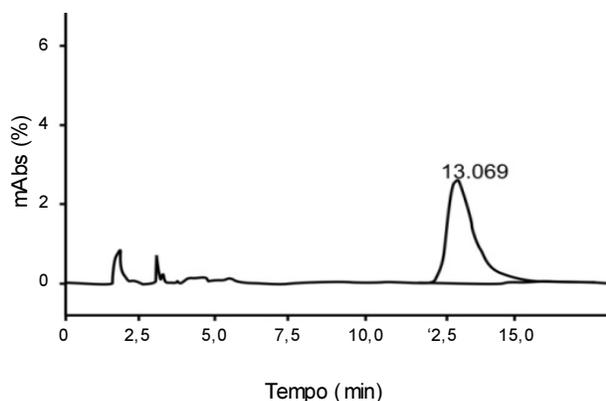


Figura 3 - Cromatograma de um padrão do ametryn ($5,0 \text{ mg L}^{-1}$), em solução de CaCl_2 $0,01 \text{ mol L}^{-1}$, com o respectivo tempo de retenção (13 min).

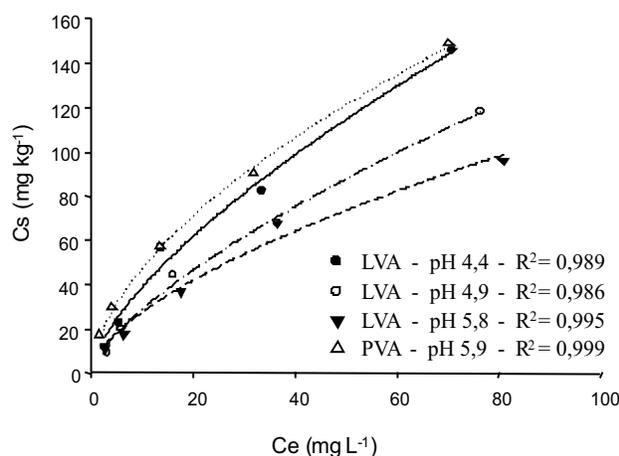


Figura 4 - Estimativa das isotermas de adsorção do ametryn em LVA pH 4,4 ($\hat{Y} = 8,1188 \text{ Ce}^{0,6766}$), LVA pH 4,9 ($\hat{Y} = 6,6460 \text{ Ce}^{0,6143}$), LVA pH 5,8 ($\hat{Y} = 5,8366 \text{ Ce}^{0,6929}$) e em PVA pH 5,9 ($\hat{Y} = 12,5151 \text{ Ce}^{0,5807}$), em função da concentração em equilíbrio (Ce).

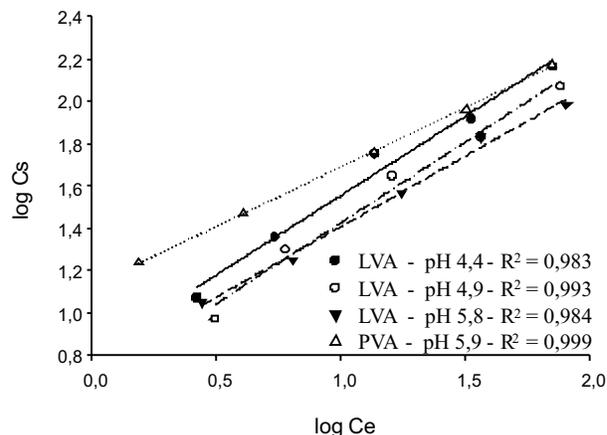


Figura 5 - Estimativa das isotermas de adsorção do ametryn em LVA pH 4,4 ($\hat{Y} = 0,8026 + 0,7501 \log \text{Ce}$), LVA pH 4,9 ($\hat{Y} = 0,7397 + 0,6660 \log \text{Ce}$), LVA pH 5,8 ($\hat{Y} = 0,6600 + 0,7645 \log \text{Ce}$) e em PVA pH 5,9 ($\hat{Y} = 1,1283 + 0,5596 \log \text{Ce}$), em função do logaritmo da concentração em equilíbrio (Ce). As curvas representam o modelo linearizado de Freundlich.

também (Tabela 1) que o Latossolo apresenta maior teor de argila que o Argissolo, e este, maior teor de matéria orgânica do que o Latossolo. Isso evidencia que nessas condições de pH a matéria orgânica foi muito mais importante do que a argila na sorção do ametryn. Esse fenômeno pode ser explicado pela teoria de Brusseau & Rao (1989), segundo a qual a matéria orgânica é o principal material adsorvente do solo. A matéria orgânica possui sítios tridimensionais que atuam na retenção dos compostos iônicos e não iônicos. Nos herbicidas com valores de coeficiente de sorção (K_d) entre 1 e 10 mL g^{-1} , pequenas mudanças na sorção podem acarretar grandes variações na quantidade de produto na solução do solo e, conseqüentemente, na sua lixiviação.

Observa-se na Figura 4 que o coeficiente de adsorção do ametryn foi diferente em cada solo e pH avaliados. Atribuiu-se esse fato às interações entre os sítios sortivos, seja da matéria orgânica ou dos minerais da argila, e as moléculas do herbicida, que são variáveis no solo sob diferentes condições de pH. Essas interações podem ocorrer por ligações de hidrogênio e/ou por interações entre as moléculas do herbicida com os íons na superfície dos colóides (Oliveira et al., 2005).

As isotermas de Freundlich estimadas neste trabalho, as quais descrevem a sorção

do ametryn nos solos estudados (Figura 4), configuram-se do tipo L (alta afinidade do material adsorvente e curvatura inicial convexa). Esse comportamento das curvas deve-se ao fato de que o parâmetro n da equação de Freundlich foi $< 1,0$ (Giles et al., 1960). Esse resultado vem confirmar os relatos na literatura, citados por Silva et al. (2007), os quais afirmam que herbicidas cuja sorção no solo é muito dependente da matéria orgânica geralmente apresentam isoterma tipo L.

Na comparação de valores dos coeficientes de determinação das isotermas de Freundlich que descrevem a sorção do ametryn nos solos, nas formas não linearizada e linearizada (Figuras 4 e 5, respectivamente), verifica-se que ambas foram satisfatórias na descrição desse comportamento. Observa-se que os resultados tiveram boa coincidência com os valores obtidos experimentalmente de K_d (Tabela 2). Segundo Barizon et al. (2005), quando se adota a linearidade, assume-se que a sorção do ametryn ocorre com baixa dependência da concentração do herbicida na solução do solo.

O processo dessortivo no LVA apresentou diferentes coeficientes de dessorção, em função do pH do meio (Figuras 6 e 7). Acredita-se que é na solução do solo que se inicia grande parte dos processos e reações que irão ditar o destino de pesticidas no ambiente, como a lixiviação, a retenção e a degradação dessas moléculas. Entre as reações que determinam essa disponibilidade, a dessorção é de fundamental importância (Barizon et al., 2005). Assim, acredita-se que uma simples calagem do solo pode vir a alterar de modo significativo a disponibilidade do ametryn no solo, influenciando diretamente a sua eficiência de

controle das plantas daninhas, persistência e potencial de acumulação em águas subterâneas. Isso fica evidenciado na Tabela 2, onde se observa que no LVA com pH 5,8 ocorreu menor sorção desse herbicida em comparação aos valores de pH 4,4 e 4,9 nesse mesmo solo. Silva et al. (2007) afirmam que com o aumento do pH do meio ocorre diminuição da quantidade do ametryn que se encontra na forma protonada, reduzindo assim as possibilidades de sorção do herbicida pelos colóides do solo. Tomando como base os coeficientes K_f , n_a , K_f_d , n_d e H (Tabela 2), observa-se que a ordem crescente de adsorção do ametryn nos solos estudados foi LVA pH 5,8 $<$ LVA pH 4,9 $<$ LVA pH 4,4 $<$ PVA pH 5,9.

Observa-se também que os coeficientes de dessorção foram superiores aos de sorção, e que o oposto foi verificado no parâmetro N . Esse fato, também observado por outros autores (Selim & Zhu, 2005; Vivian et al., 2007), caracteriza o fenômeno de histerese. Na Tabela 2, observa-se ainda que todos os valores de n_a encontrados estão abaixo de 0,80, evidenciando pequena dependência da sorção do herbicida com a concentração.

No Latossolo Vermelho-Amarelo, maior sorção do ametryn no solo foi observada em pH (4,4) ou valor mais próximo ao pKa (4,1) do herbicida. De acordo com Mersie & Foy (1985) e Oliveira et al. (2005), a sorção máxima de vários herbicidas tem ocorrido em valores de pH próximos de seu pKa. Todavia, quando se elevou o pH do Latossolo Vermelho-Amarelo de 4,4 para 4,9, aumentou-se de forma significativa o índice de histerese do ametryn (Tabela 2). Isso significa que neste pH a quantidade de herbicida que tende a retornar à solução do solo diminui, uma vez que, quanto

Tabela 2 - Valor experimental encontrado para K_d e valores estimativas dos coeficientes de adsorção ($\log K_f$ e N_a), dessorção ($\log K_f_d$ e N_d), segundo a equação de Freundlich, e índice de histerese (H) do ametryn em Latossolo Vermelho-Amarelo (LVA) com diferentes valores de pH e em Argissolo Vermelho-Amarelo (PVA)

Tipo de solo	Sorção				Dessorção			H (n_a/n_d)
	K_d	K_f_a	N_a	R^2	K_f_d	N_d	R^2	
LVA - pH 4.4	6,35	8,12	0,6766	0,989	31,31	0,1783	0,983	3,79
LVA - pH 4.9	5,49	6,64	0,6143	0,986	24,65	0,1093	0,991	5,62
LVA - pH 5.8	4,57	5,83	0,6929	0,995	20,76	0,3180	0,941	2,18
PVA - pH 5.9	13,44	12,51	0,5807	0,999	43,90	0,1149	0,930	5,05

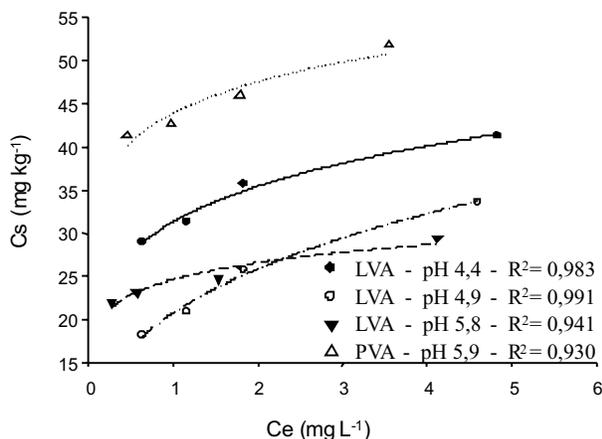


Figura 6 - Estimativa das isotermas de dessorção do ametryn em LVA pH 4,4 ($\hat{Y} = 31,3075 Ce^{0,1783}$), LVA pH 4,9 ($\hat{Y} = 24,6475 Ce^{0,1093}$), LVA pH 5,8 ($\hat{Y} = 20,7614 Ce^{0,3180}$) e em PVA pH 5,9 ($\hat{Y} = 43,8998 Ce^{0,1149}$), em função da concentração em equilíbrio (Ce).

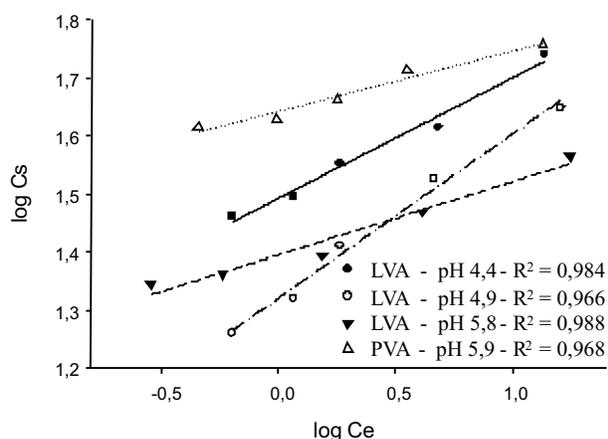


Figura 7 - Estimativa das isotermas de dessorção do ametryn em LVA pH 4,4 ($\hat{Y} = 1,4927 + 0,2078 \log Ce$), LVA pH 4,9 ($\hat{Y} = 1,3951 + 0,1264 \log Ce$), LVA pH 5,8 ($\hat{Y} = 1,3206 + 0,2834 \log Ce$) e em PVA pH 5,9 ($\hat{Y} = 1,6430 + 0,1041 \log Ce$), em função do logaritmo da concentração em equilíbrio (Ce). As curvas representam o modelo linearizado de Freundlich.

maior o índice de histerese (H), menor a capacidade dessorativa do herbicida, ou seja, mais dificilmente este herbicida estará novamente disponível para as plantas. Pode-se observar também que o mesmo solo, com pH 5,8, foi o que apresentou o menor índice de histerese (H).

Os valores encontrados dos índices de histerese indicam que os mecanismos atuantes

nos processos de sorção são distintos em diferentes valores de pH, uma vez que a menor capacidade dessorativa não correspondeu à ordem decrescente de sorção do ametryn. A ordem crescente do índice de histerese do herbicida nos solos estudados foi LVA pH 5,8 < LVA pH 4,4 < LVA pH 4,9 < PVA pH 5,9 (Tabela 2). Vivian et al. (2007), trabalhando com ametryn em diferentes solos, também observaram que os índices de histerese desse herbicida não correspondiam à ordem decrescente de sua adsorção. Esses autores atribuíram o ocorrido ao fato de que a compreensão do processo de dessorção não depende somente do coeficiente de sorção, e sim da forma como esse herbicida interage na superfície adsorvente. A maior interação do ametryn pelos colóides do solo no ensaio de dessorção ocorre por meio de interações de superfície, como ligações de hidrogênio e interações de Van der Waals. Todavia, esses autores afirmam que interações hidrofóbicas também podem contribuir com o fenômeno de histerese positiva.

Pode-se concluir que a sorção do ametryn é muito influenciada pelo pH e pelo teor de matéria orgânica do solo. No LVA, aumentos no seu pH proporcionaram reduções da sorção do ametryn. O solo com maior teor de matéria orgânica (PVA pH 5,9) apresentou maior sorção quando comparado àquele com menor teor de matéria orgânica (LVA pH 5,8). Quanto à dessorção, conclui-se que o ametryn apresentou essa característica em ambos os solos estudados, sendo esta influenciada pelo pH e teor de matéria orgânica do solo. O índice de histerese do ametryn verificado nos solos estudados não seguiu a ordem decrescente de adsorção do herbicida.

LITERATURA CITADA

- BARIZON, R. R. M. et al. Sorção e dessorção do imazaquin em solos com diferentes características granulométricas, químicas e mineralógicas. **R. Bras. Ci. Solo**, v. 29, n. 5, p. 695-703, 2005.
- BRUSSEAU, M. L.; RAO, P. S. C. The influence of sorbate-organic matter interactions on sorption nonequilibrium. **Chemosphere**, v. 18, n. 9/10, p. 1691-1706, 1989.
- CARTER, A. D. Herbicide movement in soils: principles, pathways and processes. **Weed Res.**, v. 40, p. 113-122, 2000.



- DE PAULA, R. T. **Mobilidade de atrazine e ametryn em Latossolo Vermelho-Amarelo**. 2007. 105 f. Dissertação (Mestrado em Agroquímica) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 2007.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Manual de métodos de análise de solo**. 2.ed. Rio de Janeiro: 1997. 212 p.
- FERRI, M. V. W. et al. Atividade dos herbicidas flumetsulam e trifluralin em diferentes valores de pH e densidade do solo. **Ci. Rural**, v. 30, n. 1, p. 11-15, 2000.
- GILES, C. H. et al. Studies in adsorption: part XI. A system of classification of solution adsorption isotherms, and its use in diagnosis of adsorption mechanism and in measurement of specific surface areas of solids. **J. Chem. Soc.**, v. 111, p. 3973-3993, 1960.
- INOUE, M. H. et al. Calagem e o potencial de lixiviação de imazaquin em colunas de solo. **Planta Daninha**, v. 20, n. 1, p. 125-132, 2002.
- MERSIE, W.; FOY, C. L. Phytotoxicity and adsorption of chlorsulfuron as affected by soil properties. **Weed Sci.**, v. 33, n. 4, p. 564-568, 1985.
- ORGANIZATION FOR ECONOMIC CO-OPERATION AND DEVELOPMENT – OECD. **OECD guidelines for testing of chemicals**, adsorption, 106. OECD. Paris: 1993.
- OLIVEIRA, M. F. et al. Sorção e hidrólise do herbicida flazasulfuron. **Planta Daninha**, v. 23, n. 1, p. 101-113, 2005.
- OLIVEIRA JR., R. S. et al. Sorption and leaching potential of herbicides in Brazilian soils. **Weed Res.**, v. 41, n. 1, p. 97-110, 2001.
- PROCÓPIO, S. O. et al. Influência da matéria orgânica do solo na atividade de herbicidas. **B. Inf. SBCS**, n. 2, p. 13-15, 2002.
- SELIM, H. M.; ZHU, H. Atrazine sorption-desorption by sugarcane mulch residue. **J. Environ. Quality**, v. 34, p. 325-335, 2005.
- SILVA, A. A. et al. Herbicidas: classificação e mecanismo de ação. In: SILVA, A. A.; SILVA, J. F. (Eds.). **Tópicos em manejo de plantas daninhas**. Viçosa, MG: Universidade Federal de Viçosa, 2007. p. 189-248.
- SKINNER, J. A. et al. An overview of the environmental impact of agriculture in the U.K. **J. Environ. Manag.**, v. 50, n. 2, p. 111-128, 1997.
- SINDICATO NACIONAL DA INDÚSTRIA DE PRODUTOS PARA DEFESA AGRÍCOLA - SINDAG. Disponível em: <<http://www.sindag.com.br/upload/compimp>>. Acesso em: 10 de fev. de 2007.
- 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, n. 6, p. 3847-3852, 2001.
- 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.