

DEGRADAÇÃO DO CARBARIL-¹⁴C EM SOLOS MODIFICADOS POR OXIDAÇÃO DA MATÉRIA ORGÂNICA E ADIÇÃO DE GLICOSE¹

RODOBIKO HIRATA² e ELZA FLORES RÜEGG³

RESUMO - Estudou-se, durante oito semanas, o comportamento do carbaril, por meio de técnicas radiométricas em amostras de solos Brunizem e Latossolo Vermelho-Escuro do Estado do Paraná, com o objetivo de definir o papel que a oxidação dos seus componentes orgânicos e o enriquecimento com glicose têm na degradação do inseticida. Grupos de solos autoclavados, oxidados e sem tratamento prévio, com e sem adição de glicose, foram incubados com carbaril-¹⁴C e analisados durante oito semanas. Constatou-se que a oxidação proporcionou, em ambos os solos, um incremento acentuado na degradação desse defensivo agrícola, ao passo que a adição de glicose teve pouca influência nos processos degradativos. Foram detectados três metabólitos com R_f 0,23, 0,40 e 0,70.

Termos para indexação: solo, técnicas radiométricas.

DEGRADATION OF ¹⁴C-CARBARYL IN SOILS MODIFIED BY ORGANIC MATTER OXIDATION AND GLUCOSE ADDITION

ABSTRACT - The behaviour of the insecticide carbaryl was studied during eight weeks by means of radiometric techniques in samples of Brunizem and Dark-Red Latosol soils from Paraná, Brazil. Groups of oxidized, sterilized and untreated soils with and without glucose additions were incubated with ¹⁴C-carbaryl and analyzed. In both soils, results showed an increase in the degradation rate of carbaryl in oxidized samples whereas adding glucose did not influence its degradation rate. Three metabolites having R_f 0.23, 0.40 and 0.70 were detected.

Index terms: soil, radiometric techniques.

INTRODUÇÃO

O carbaril (1-naftil N-metilcarbamat) é um inseticida de contato, de baixa toxicidade para mamíferos e com ampla faixa de utilização nos mais variados tipos de cultura (Kuhr & Dorough 1976). É o único representante da classe dos carbamatos, largamente empregado no Brasil para controle de pragas agrícolas. Embora não seja um inseticida sistêmico, por causa da sua baixa solubilidade em água, quantidades consideráveis desse inseticida podem chegar ao solo, em virtude do seu crescente uso agrícola e da restrição aos derivados clorados mais persistentes que os carbamatos (Edwards 1973, Kuhr & Dorough 1976).

Recentemente, os autores deste trabalho inves-

tigaram a influência da adição de várias fontes de carbono na persistência do carbaril em solos com diferentes conteúdos de matéria orgânica (Hirata et al. 1982). Em continuação a esses estudos, no presente trabalho acompanhamos o comportamento desse inseticida, em dois solos, objetivando obter informações do papel desempenhado pela fração orgânica no processo degradativo do carbaril-¹⁴C e determinar a influência de uma fonte de carbono facilmente biodegradável como a glicose na taxa de transformação do inseticida. Os resultados descritos neste artigo fazem parte de investigação sistemática do estudo dos pesticidas em solos brasileiros por meio de técnicas radiométricas.

MATERIAL E MÉTODOS

Solos

Utilizaram-se duas amostragens de solos de horizonte superficial do Estado do Paraná, coletados nas regiões de Londrina e Bela Vista do Paraíso. Na Tabela 1, constam algumas características desses solos, que foram classificados, respectivamente, como Brunizem e Latossolo Vermelho-Escuro. Antes do uso, os solos, secados ao ar livre, foram passados por peneira com malhas de 2 mm, a fim de homogeneizar as amostras.

¹ Aceito para publicação em 27 de setembro de 1984.

Trabalho realizado no Centro de Radioisótopos do Instituto Biológico de São Paulo. Parcialmente financiado pela SUBIN/Brasília, AIEA/Viena, Austria e CNPq/Brasília.

² Químico, M.Sc., Centro de Radioisótopos do Instituto Biológico de São Paulo, Caixa Postal 7119, CEP 04014 São Paulo, SP. Bolsista do CNPq.

³ Biologista, Ph.D., Centro de Radioisótopos do Inst. Biol. de São Paulo.

Inseticida

O carbaril- ^{14}C (1-naftil N-metil ^{14}C -carbamato), marcado no grupo carbonila, foi adquirido no Centro de Radioquímica, Amersham, Inglaterra, em solução benzênica, com pureza radioquímica de 99% e atividade específica de 57mCi/mmol. Para os ensaios, preparou-se uma solução aquosa de carbaril grau técnico de concentração 20 $\mu\text{g/ml}$, à qual adicionou-se o composto radioativo, resultando solução com cerca de 145.000 dpm/ml. O inseticida foi adicionado aos solos à taxa de 2 ppm.

Fonte de carbono

Para o enriquecimento dos solos, utilizou-se glicose da Hoechst.

Tratamento dos solos

Lotes de solos com e sem glicose (0,01 g de glicose/g de solo) foram esterilizados em autoclave FABBE, a 15 psi e 120 $^{\circ}\text{C}$, durante uma hora, por três dias consecutivos. Para determinar os efeitos da matéria orgânica no comportamento do carbaril, os solos foram parcialmente oxidados com peróxido de hidrogênio 15%, como descrito por Robinson (1927). A oxidação foi feita em béquer de 2.000 ml, adicionando-se para cada 1 g de solo 20 ml do oxidante e aquecendo-se em estufa a 60 $^{\circ}\text{C}$ até não se observar mais o desprendimento de bolhas do sistema. A ausência de H_2O_2 , após esse tratamento, foi constatada pelo teste com permanganato de potássio (Kolthoff & Sandell 1965). Deixou-se em seguida o sistema em repouso e separou-se o sobrenadante por decantação. Os solos foram secados ao ar livre e novamente passados numa peneira com malhas de 2 mm. Foram determinados os conteúdos de carbono orgânico residual após a oxidação e constatou-se que cerca de 85% e 74% da matéria orgânica, respectivamente dos solos Brunizem e Latossolo Vermelho-Escuro, foram transformados em CO_2 . Os ensaios de degradação do carbaril- ^{14}C foram realizados com 10 g de solo colocados em frascos de 250 ml, com rolhas de vidro esmerilhadas, e distribuídos em seis lotes, como segue:

1. 10 g de solo (controle)
2. 10 g de solo + 0,1 g de glicose
3. 10 g de solo esterilizado
4. (10 g de solo + 0,1 g de glicose) esterilizado
5. 10 g de solo oxidado
6. 10 g de solo oxidado + 0,1 g de glicose

Em seguida, adicionaram-se às amostras de solos Brunizem e Latossolo Vermelho-Escuro, respectivamente, 2,3 ml e 1,2 ml de água destilada, que foi previamente autoclavada no caso dos lotes de solos esterilizados. A adição final de 1,0 ml da solução aquosa do carbaril- ^{14}C elevou a umidade dos solos para 2/3 da capacidade de campo. Triplicata de cada tratamento foram extraídas e analisadas em diversos intervalos de tempo.

Extração dos solos

Extraíram-se cada 10 g de solo por agitação com 20 ml de diclorometano, durante duas horas. Deixou-se a mistura em repouso e separou-se o solvente por decantação. O solo remanescente foi extraído mais duas vezes com porções de 20 ml de solvente, os extratos combinados e o volume ajustado para 50 ml em balão volumétrico. Uma alíquota de 5,0 ml de extrato foi evaporada até a secura em frascos de cintilação, adicionando-se, em seguida, 10 ml de solução cintiladora e quantificando-se a amostra. A recuperação do carbaril- ^{14}C por este método foi de 97,32 \pm 2,0% para o solo Brunizem e 90,45 \pm 1,6% para o Latossolo Vermelho-Escuro.

Cromatografia em camada delgada (TLC)

Uma alíquota de 5,0 ml de extrato de solo, secada com sulfato de sódio anidro, foi concentrada a 1,0 ml para análise por cromatografia em camada delgada desenvolvida em cromatofolha de alumínio 20 cm x 20 cm, revestida com silicagel 60 F₂₅₄ (Merck). O sistema de solvente, utilizado no desenvolvimento, foi clorofórmio-metanol (49:1, v/v) no qual o carbaril apresentou R_f 0,60. O cromatograma foi exposto a um filme de raios X e revelado após dois meses. As regiões da placa correspondente às impressões na auto-radiografia foram raspadas para frascos de contagem de cintilação líquida e quantificadas.

Combustão úmida do solo

Após a extração, o radiocarbono remanescente nos solos foi determinado por combustão úmida a $^{14}\text{CO}_2$, usando-se o procedimento de Smith et al. (1964). O $^{14}\text{CO}_2$, resultante da combustão de alíquotas de 2,0 g de solo, foi absorvido em 2,0 ml de etanolamina dissolvida em 20 ml de coquetel de cintilação de composição: 5,5 g de PPO (2,5-difeniloxazol), 666 ml de tolueno e 333 ml de éter glicolmonometílico. Em seguida, quantificaram-se as amostras por cintilação em líquido.

Captura de $^{14}\text{CO}_2$.

O $^{14}\text{CO}_2$ evoluído dos solos foi coletado em frascos de cintilação contendo 1,0 ml de etanolamina. Esses frascos de captura, colocados juntamente com os solos, eram trocados periodicamente, e a atividade foi determinada por cintilação em líquido, utilizando-se como coquetel de cintilação a solução composta de 5,5 g de PPO, 666 ml de tolueno, 333 ml de éter glicolmonometílico e 429 ml de metanol. O acréscimo de metanol tem como finalidade evitar a formação de um sistema bifásico por causa da água absorvida pela etanolamina.

Determinação de radioatividade

As medidas radiométricas foram realizadas em espectrômetro de cintilação em líquido da Nuclear Chicago modelo Mark I. As amostras foram contadas durante dez minutos e os resultados corrigidos em função da radiação de fundo e do "quench" que foi estimado usando-se o méto-

do da razão de canal com fonte externa. Excluindo-se as medidas de ¹⁴CO₂, todas as outras contagens foram feitas utilizando-se como coquetel de cintilação uma solução de 200 mg de POPOP (2,2' - parafenileno bis-5-feniloxazol), 4 g de PPO, 500 ml de Renex-95 (nonilfenolpolietoxilado) e 500 ml de tolueno.

Determinação de pH dos solos oxidados e não-oxidados

A variação na acidez dos solos, após tratamento com peróxido de hidrogênio, foi feita determinando-se os valores de pH dos solos oxidados e não-oxidados, no sistema solo/água (1:2,5, m/v), utilizando-se um potenciômetro Corning modelo digital 109, equipado com um eletrodo combinado de vidro e prata/cloreto de prata Corning.

Sorção do carbaril pelos solos oxidados e não-oxidados

As amostras de 10 g dos solos Brunizem e Latossolo Vermelho-Escuro oxidadas e não-oxidadas adicionaram-se 100 ml de uma solução de carbaril-¹⁴C, com atividade específica 57 mCi/mmol e concentração de 1 µg/ml do composto não-radioativo. O sistema foi agitado periodicamente por seis horas e deixado em repouso durante vinte e quatro horas. Após esse período, determinou-se a concentração de carbaril-¹⁴C na fase aquosa, quantificando-se diretamente a atividade por contagem de cintilação em líquido. O coeficiente de distribuição (K) do pesticida entre o solo e a solução foi calculado através da razão entre a quantidade adsorvida ao solo e a remanescente na solução após o equilíbrio (Guenzi 1974).

Assim:

$$K = \frac{\mu\text{g de pesticida adsorvido/g de solo}}{\mu\text{g de pesticida remanescente/ml de solução}}$$

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A recuperação total do carbono-14 (Fig. 1 e 2) variou de 65% a 100% aproximadamente, e é possível que a perda de radiocarbono tenha como um dos fatores a transformação do carbaril-¹⁴C em algum metabólito volátil diferente do ¹⁴CO₂ (Katan et al. 1976, Lichtenstein et al. 1977). Para corroborar esta hipótese, podemos observar na auto-radiografia da Fig. 3 (A₃ e A₄) que os metabólitos de R_f 0,23 e 0,40, encontrados no solo Brunizem na segunda semana de incubação do pesticida, praticamente desaparecem na quinta semana do experimento (Fig. 4, A₃ e A₄). Esses metabólitos podem ter-se volatilizado com o passar do tempo ou terem-se transformado em outros

metabólitos radioativos, também voláteis, ou ainda degradados em liberação de ¹⁴CO₂. É bem provável que esta última possibilidade não tenha ocorrido, pois, o ¹⁴CO₂ teria sido então capturado nas armadilhas de etanolamina. Por outro lado, as duas primeiras hipóteses podem explicar os menores valores de recuperação total da radioatividade verificada no solo Brunizem, tratado e não com glicose, após oito semanas de incubação com carbaril-¹⁴C (Fig. 1, C e D).

Nas amostras esterilizadas dos solos Brunizem e Latossolo Vermelho-Escuro (Fig. 1 e 2, A e B), não se observou nenhum processo degradativo com liberação de ¹⁴CO₂, pois a soma da radioatividade recuperada, por extração e combustão úmida é, praticamente, igual à atividade inicial adicionada aos solos. As auto-radiografias dos cromatogramas dos extratos dos solos esterilizados, enriquecidos e não com glicose (Fig. 3 e 4: A₁, A₂ e B₁, B₂), mostram que, praticamente, toda atividade extraída de ambos os solos autoclavados foi devida ao carbaril-¹⁴C, pois, os metabólitos radioativos de R_f 0,70, detectados após duas e cinco semanas de incubação do inseticida, estão em concentrações extremamente baixas.

A acentuada diferença na degradação do carbaril-¹⁴C entre as amostras do solo-controle e as amostras do solo esterilizado de ambos os solos (Fig. 1 e 2) indica que os microorganismos do solo têm, certamente, uma participação ativa no destino do inseticida nesse meio (Goring & Hamaker 1972, Greenland & Hayes 1981). De fato, comparando-se o metabolismo do carbaril-¹⁴C nos lotes do solo controle e solo + glicose dos dois solos (Fig. 1 e 2, C e D), verifica-se que ele é mais acentuado para o solo Brunizem, que, possuindo maior conteúdo de matéria orgânica, manteria maior população microbológica. A maior atividade dos microorganismos utilizando o inseticida como substrato, é expressa na maior formação de ¹⁴CO₂ no solo Brunizem em relação ao Latossolo Vermelho-Escuro.

A oxidação dos solos, com a destruição dos seus componentes orgânicos, causou uma diminuição na adsorção do inseticida (Tabela 2), sendo esse decréscimo mais evidente para o solo Brunizem, rico em matéria orgânica e uma das frações do solo de grande poder de adsorção (Felsot & Dahm 1979,

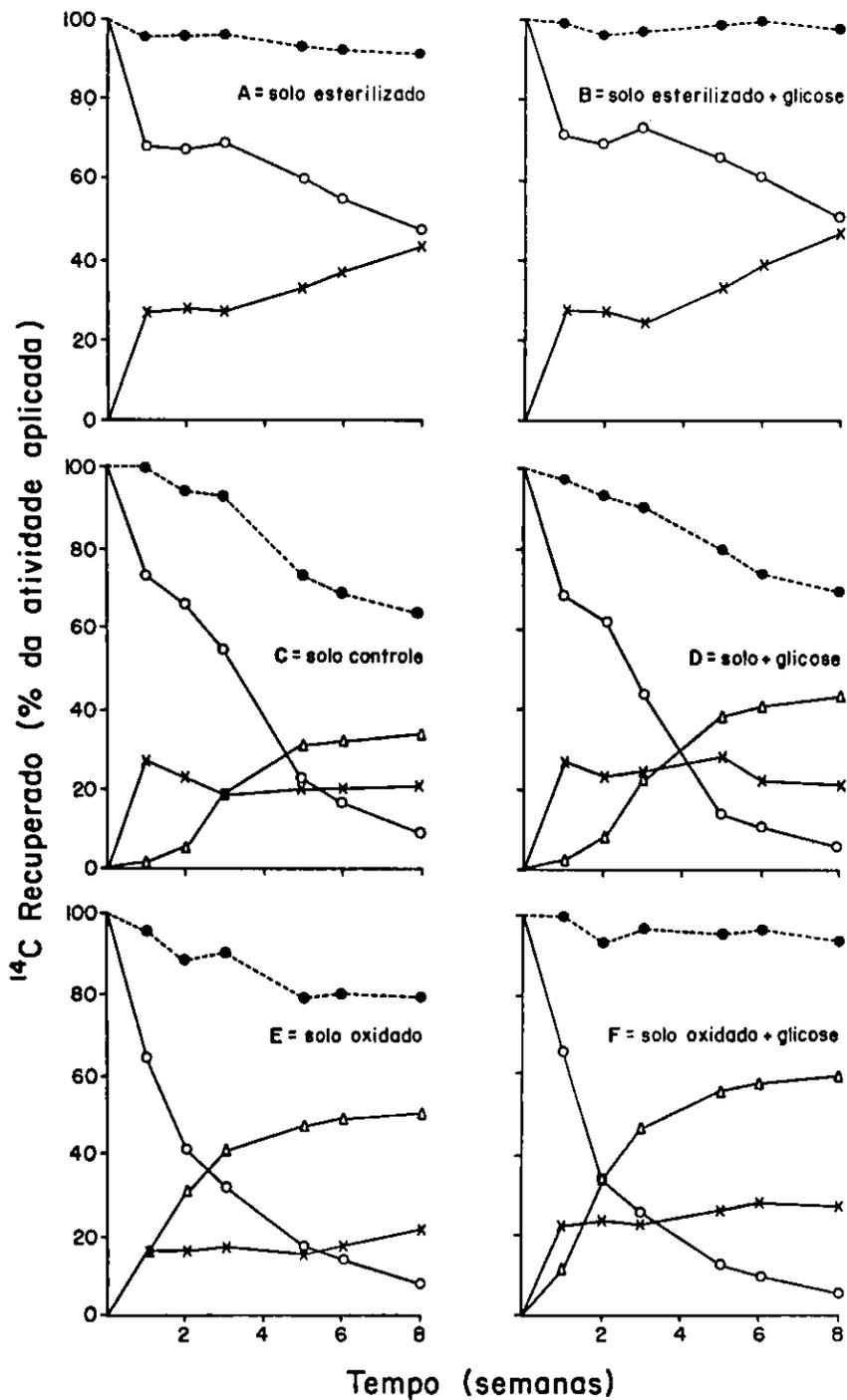


FIG. 1. Recuperação do carbono - 14 durante oito semanas de incubação do carbaril- ^{14}C em amostras do solo Brunizem Δ — $\Delta^{14}\text{CO}_2$; \circ — $\circ^{14}\text{C}$ extraído; \times — $\times^{14}\text{C}$ ligado ao solo; \bullet — $\bullet^{14}\text{C}$ total.

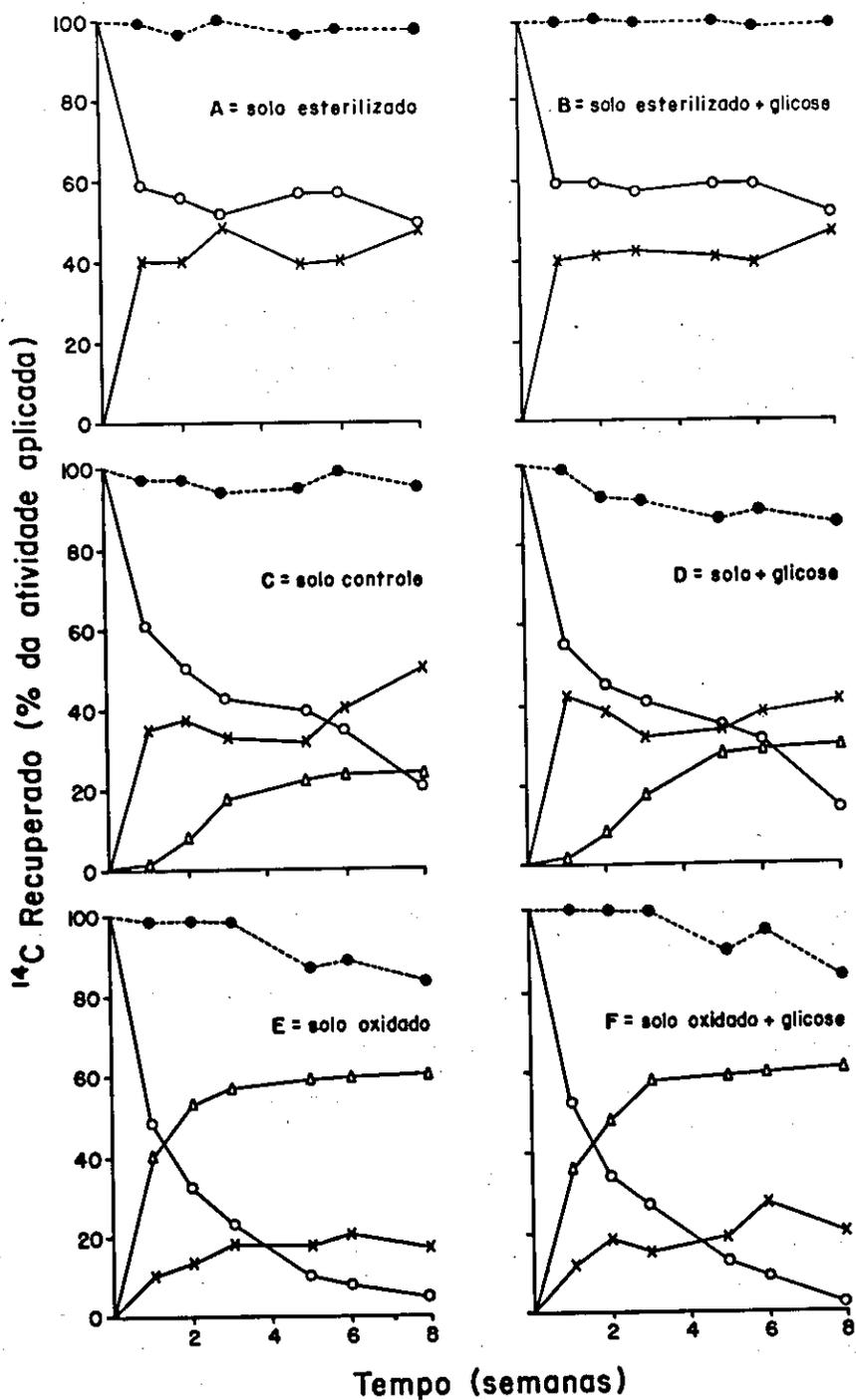


FIG. 2. Recuperação do carbono - 14 durante oito semanas de incubação do carbaril-¹⁴C em amostras do solo Latossolo Vermelho-Escuro Δ — $\Delta^{14}\text{CO}_2$; \circ — $\circ^{14}\text{C}$ extrafatorial; $\text{X}-\text{X}^{14}\text{C}$ ligado ao solo; \bullet — $\bullet^{14}\text{C}$ total.

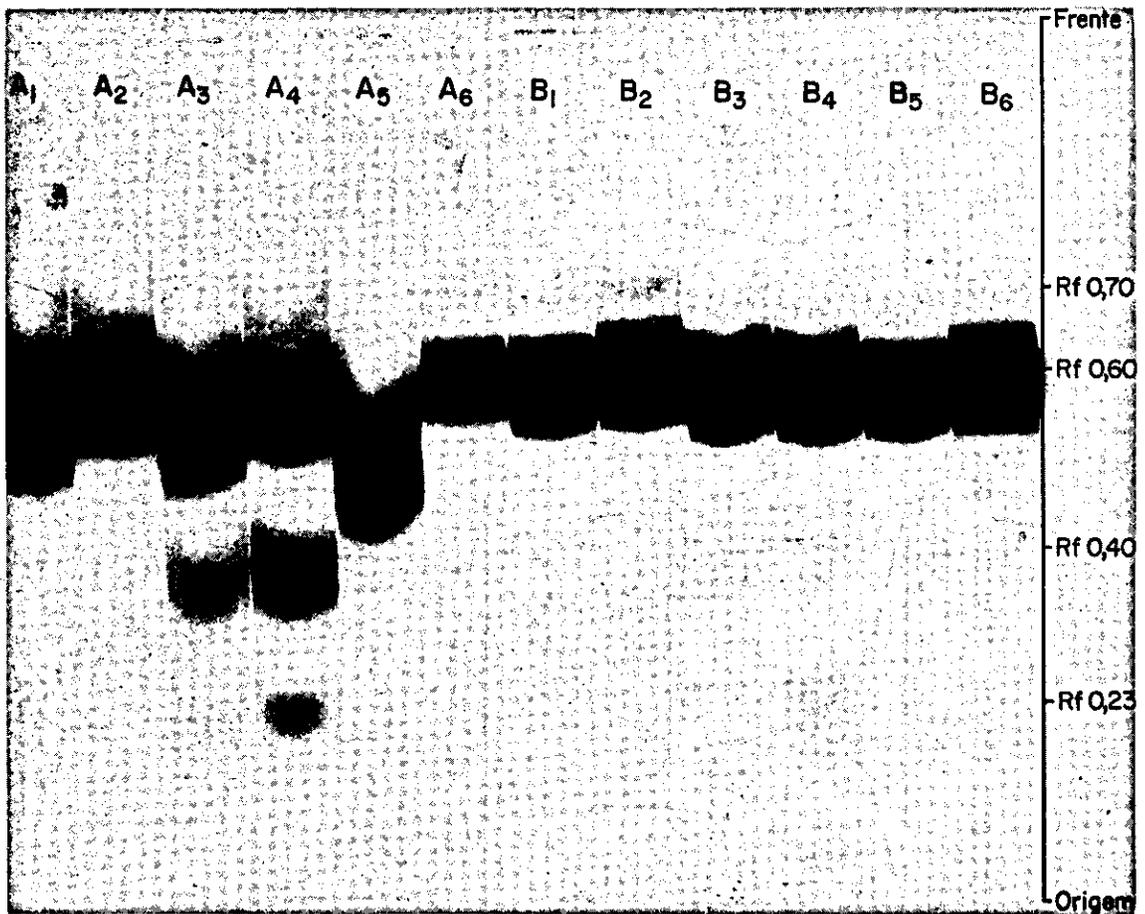


FIG. 3. Auto-radiografia do cromatograma dos extratos dos solos Brunizem e Latossolo Vermelho-Escuro após duas semanas de incubação com carbaril- ^{14}C .*

- | | |
|--|---|
| A ₁ . Brunizem esterilizado | B ₁ . Latossolo Vermelho-Escuro esterilizado |
| A ₂ . Brunizem esterilizado + glicose | B ₂ . Latossolo Vermelho-Escuro esterilizado + glicose |
| A ₃ . Brunizem controle | B ₃ . Latossolo Vermelho-Escuro controle |
| A ₄ . Brunizem + glicose | B ₄ . Latossolo Vermelho-Escuro + glicose |
| A ₅ . Brunizem oxidado | B ₅ . Latossolo Vermelho-Escuro oxidado |
| A ₆ . Brunizem oxidado + glicose | B ₆ . Latossolo Vermelho-Escuro oxidado + glicose |

* O R_f do carbaril padrão encontra-se na Fig. 4.

Leenheer & Ahlrichs 1971). A água oxigenada, ao remover os colóides orgânicos do solo, facilita a dispersão da argila, modificando o seu estado de agregação. Então, a oxidação dos solos influi na adsorção do inseticida, refletindo, conseqüentemente, na sua taxa de degradação em virtude de uma variação na disponibilidade do inseticida aos processos degradativos no solo.

Outro fator que contribuiu para aumentar a velocidade de degradação do carbaril foi a variação no pH dos solos após a oxidação (Tabela 2). A diminuição na concentração hidrogeniônica foi cerca de treze vezes para o solo Brunizem e de cinquenta e duas para o Latossolo Vermelho-Escuro. É bem provável que este decréscimo na concentração dos íons H⁺ seja responsável, em grande parte,

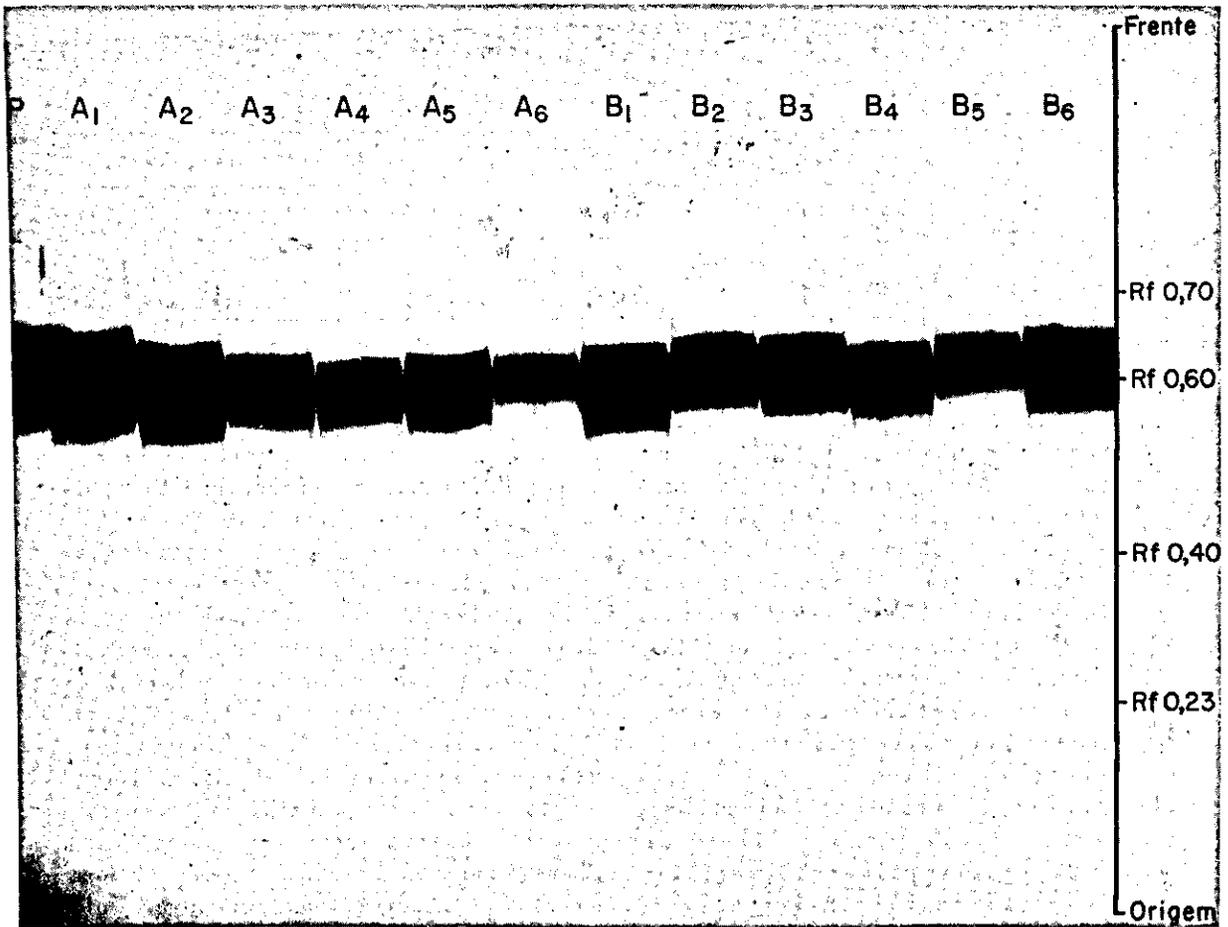


FIG. 4. Auto-radiografia do cromatograma dos extratos dos solos Brunizem e Latossolo Vermelho-Escuro após cinco semanas de incubação com carbaril-¹⁴C.

- P. Carbaril padrão
- A₁. Brunizem esterilizado
- A₂. Brunizem esterilizado + glicose
- A₃. Brunizem controle
- A₄. Brunizem + glicose
- A₅. Brunizem oxidado
- A₆. Brunizem oxidado + glicose
- B₁. Latossolo Vermelho-Escuro esterilizado
- B₂. Latossolo Vermelho-Escuro esterilizado + glicose
- B₃. Latossolo Vermelho-Escuro controle
- B₄. Latossolo Vermelho-Escuro + glicose
- B₅. Latossolo Vermelho-Escuro oxidado
- B₆. Latossolo Vermelho-Escuro oxidado + glicose

TABELA 1. Características dos solos*.

Solo	%				pH (água)
	Areia	Limo	Argila	Matéria orgânica	
Brunizem	15,5	60,1	24,4	3,82	5,6
Latossolo Vermelho-Escuro	77,7	6,40	15,9	0,77	5,9

* Determinadas pelo Departamento de Solos, Geologia e Fertilizantes da Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Piracicaba, SP.

TABELA 2. Coeficiente de distribuição (K) e valores de pH em amostras oxidadas e não-oxidadas dos solos Brunizem e Latossolo Vermelho-Escuro.

	Brunizem		Latossolo Vermelho-Escuro	
	Não-oxidado	Oxidado	Não-oxidado	Oxidado
K	9,6	2,3	2,9	1,7
pH (H ₂ O)	5,6	6,7	5,9	7,6

pelo aumento na degradação do carbaril-¹⁴C nos solos oxidados e, ainda, que a reação de hidrólise desse inseticida, com evolução de ¹⁴CO₂, seja um importante caminho degradativo, pois esse processo hidrolítico aumenta de velocidade com a elevação da alcalinidade do meio (Kuhr & Dorrough 1976). A influência da oxidação dos solos na degradação do carbaril-¹⁴C pode ser observada nas Fig. 1 e 2, comparando-se a evolução de ¹⁴CO₂ nas amostras de solos oxidadas com aquelas do solo-testemunha e constatando-se a diferença marcante entre seus valores que apresentam grande incremento nos lotes oxidados.

Outra consequência da oxidação foi a mudança na rota mecanística de degradação do inseticida, em ambos os solos, que pode ser observada na Fig. 3, pela presença de metabólitos radioativos nos extratos do solo controle e solo + glicose (A₃, A₄ e B₄), mas que não aparecem nos extratos dos solos oxidados (A₅, A₆ e B₅ e B₆). Enquanto, nos solos oxidados, uma reação hidrolítica do carbaril-¹⁴C levando à formação de ¹⁴CO₂ é o provável mecanismo, nas amostras do solo controle e solo com glicose, além dessa reação, podem ocorrer processos oxidativos, resultando em derivados hidroxilados radioativos, visto essas duas reações se constituírem nos mecanismos de transformação química mais comuns envolvendo inseticidas da classe dos carbamatos (Kuhr & Dorrough 1976, Raymond 1972).

No presente estudo, a adição de glicose em ambos os solos não trouxe nenhum incremento substancial no processo de degradação do carbaril (Fig. 1 e 2). Entretanto, foi constatado, experimentalmente, que o enriquecimento do solo com glicose acelerou a velocidade de degradação da atrazina, do diuron, do metanoarsonato dissódico

e do paration introduzidos nesse meio (Goring & Hamaker 1972). É possível que, em nossos estudos, nos solos autoclavados, a glicose tenha se incorporado à matéria orgânica na ausência de microorganismos (Sparling et al. 1981).

Em ambos os solos, a pouca influência da glicose na degradação do carbaril nas amostras solo + glicose e solo oxidado + glicose pode ser observada pela pequena diferença percentual na evolução de ¹⁴CO₂, quando comparados com lotes de solos sem adição do nutriente (Fig. 1 e 2; C, D e E, F). É provável que a população de microorganismos que metabolizam o carbaril, em face da competição com outras espécies do solo, não tenha conseguido aumentar suficientemente utilizando a glicose como substrato, e com isso, proporcionar uma taxa de degradação significativa do inseticida.

Observa-se, também, que as percentagens de evolução de ¹⁴CO₂, radioatividade extraída, radiocarbono ligado ao solo e carbono-14 total são, praticamente, as mesmas para as amostras oxidadas do Latossolo Vermelho-Escuro com e sem adição de glicose (Fig. 2, E e F). Essa igualdade de comportamento do carbaril-¹⁴C, em presença e não de glicose, e o fato de que a oxidação da matéria orgânica deste solo, já pobre nesta fração, dificulta o desenvolvimento adequado dos microorganismos que concorreriam para uma degradação do inseticida, fortalecem a tese de que os processos degradativos nestas amostras de solo tenham ocorrido predominantemente por uma via não-biológica.

REFERÊNCIAS

- EDWARDS, C.A. Persistence pesticides in the environment. Cleveland, CRC Press, 1973. 170p.
- FELSOT, A. & DAHM, P.A. Sorption of organophosphorus and carbamate insecticides by soil. *J. Agric. Food Chem.*, 27(3):557-63, 1979.

- GORING, C.A.I. & HAMAKER, J.W. Organic chemicals in the soil environment. New York, M. Dekker, 1972. 440p.
- GREENLAND, D.J. & HAYES, M.H.B. The chemistry of soil processes. s.l., J. Wiley, 1981. 714p.
- GUENZI, W.D. Pesticides in soil & water. Madison, Wis., Soil Sci. Soc. Am., 1974. 562p.
- HIRATA, R.; LUCHINI, L.C.; MESQUITA, T.B. & RÜEGG, E.F. Influência de nutrientes orgânicos na persistência do carbaril em solos. Turrialba, 32(4): 441-5, 1982.
- KATAN, J.; FUHREMAN, T.W. & LICHTENSTEIN, E.P. Binding of ¹⁴C-parathion in soil; a reassessment of pesticide persistence. Science, 193:891-4, 1976.
- KOLTHOFF, I.M. & SANDELL, E.B. Tratado de química analítica cuantitativa. Buenos Aires, Nigar, 1965. 917p.
- KUHR, R.J. & DOROUGH, M.W. Carbamate insecticides; chemistry, biochemistry and toxicology. Cleveland, CRC Press, 1976. 310p.
- LEENHEER, J.A. & AHLRICH, J.L. A kinetic and equilibrium study of the adsorption of carbaryl and parathion upon soil organic matter surfaces. Soil Sci. Soc. Am. Proc., 35:700-5, 1971.
- LICHTENSTEIN, E.P.; KATAN, J. & ANDEREGG, B.N. Binding of persistent and nonpersistent ¹⁴C-labelled insecticides in an agricultural soil. J. Agric. Food Chem., 25(1):43-7, 1977.
- RAYMOND, K.L. Thin-layer chromatography of 1-naphthyl N-hydroxy, N-methylcarbamate and its application in two *in vitro* studies involving carbaryl. J. Agric. Food Chem., 20(5):1078-80, 1972.
- ROBINSON, W.O. The determination of organic matter in soil by means of hydrogen peroxide. J. Agric. Res., 34(4):339-56, 1927.
- SMITH, G.N.; LUDWIG, P.D.; WRIGHT, K.C. & BURIEDL, W.R. Simple apparatus for combustion of samples containing ¹⁴C-labelled pesticides for residue analysis. J. Agric. Food Chem., 12(2): 172-5, 1964.
- SPARLING, G.P.; CHESHIRE, M.V.; MUNDIE, C.M. & MURAYAMA, S. The transformation of ¹⁴C-labelled glucose in sterilized soil inoculated with selected microorganisms. Rev. Ecol. Biol. Sol, 18(4):447-57, 1981.