

EFEITO DA CALAGEM NA MINERALIZAÇÃO DE ¹⁴C-GLIFOSATO EM SOLOS

Effect of liming on the mineralization of ¹⁴C-glyphosate in soils

Sayonara Andrade do Couto Moreno Arantes¹, Arquimedes Lavorenti², Valdemar Luiz Tornisielo³

RESUMO

A calagem é uma prática de manejo da fertilidade muito utilizada e considerada essencial em solos tropicais. Essa prática, por influenciar as propriedades físicas, químicas e biológicas dos solos, pode também alterar o comportamento de moléculas orgânicas. Objetivou-se, neste estudo, avaliar o efeito da calagem na mineralização do herbicida glifosato em um Latossolo Vermelho (LE) e em um Neossolo Quartzarênico (RQ) e também na atividade microbiana dos mesmos solos. Os experimentos foram conduzidos em delineamento inteiramente casualizado em esquema fatorial 2 x 2, correspondendo a dois solos e a duas condições de manejo (com e sem calagem). Para o ensaio de mineralização, técnicas radiométricas foram utilizadas para avaliar a evolução do ¹⁴CO₂ a intervalos de 7 dias, durante 70 dias. O estudo de atividade microbiana foi conduzido paralelamente ao experimento de mineralização, usando a metodologia de glicose radiomarcada (¹⁴C-glicose), a qual foi avaliada a intervalos de quatorze dias, durante 70 dias. Pelos resultados, foi possível verificar que nos dois solos estudados, a calagem aumentou significativamente a mineralização do ¹⁴C-glifosato e a atividade da microbiota.

Termos para indexação: Latossolo Vermelho, neossolo quartzarênico, radiometria.

ABSTRACT

Liming is a widely used soil fertility management practice and essential in tropical soils. This practice, by influencing physical, chemical and biological features of soils, may alter the behavior of organic molecules in soils. In this context, the objective of the present study was to evaluate the effect of liming on the mineralization of glyphosate in Red Latosol (LE) and Quartzarenic Neosol (RQ) soils and also on the microbial activity. The experiments were conducted in completely randomized design blocks in a 2 x 2 factorial scheme, corresponding to two soils and two management conditions (with and without liming). The radiometric technique was used to evaluate the evolution of ¹⁴CO₂ at intervals of 7 days, during 70 days. The study of microbial activity was conducted using the methodology of radiolabelled glucose (¹⁴C-glucose), which was measured at intervals of fourteen days, during 70 days. Results show that the liming increased significantly the ¹⁴C-glyphosate mineralization and the microbial activity.

Index terms: Red Latosol (LE), quartzarenic neosol (RQ), radiometry.

(Recebido em 23 de outubro de 2007 e aprovado em 27 de maio de 2010)

INTRODUÇÃO

A degradação de moléculas orgânicas em compostos mais simples como água, CO₂, NH₃ etc. pela microbiota do solo (fungos, bactérias e outros microrganismos) tem sido o principal fator a determinar a persistência dessas moléculas. O glifosato é um importante herbicida utilizado no Brasil, sendo que uma grande quantidade desta molécula pode alcançar o solo após sua aplicação, no entanto, ocorre uma rápida inativação da molécula, devido a sua degradação pela microbiota do solo e a sorção da molécula às partículas do solo, conforme relata Sprankle et al. (1975). Em geral, o processo de sorção de qualquer molécula no solo é devido principalmente a fração coloidal encontrados na fração argila (Broggi et al., 2011).

O herbicida glifosato é uma molécula que possui em sua estrutura carbono, nitrogênio, fósforo, oxigênio e

hidrogênio, o que a torna fonte de nutrientes e energia para a microbiota do solo, conforme relatado por Araújo et al. (2003).

A degradação do glifosato pode seguir duas rotas, conforme relatam Amarante Júnior et al. (2002). A primeira consiste na transformação do glifosato em sarcosina, por ação da bactéria *Agrobacterium radiobacter* ou da *Enterobacter aeroneges* (enzima C-P liase). Esta rota, no entanto, é pouco citada na literatura. A segunda rota é considerada a principal via de biodegradação do glifosato, a qual envolve a clivagem da molécula, produzindo o ácido aminometilfosfônico, AMPA. A transformação do glifosato para AMPA é feita pela ação da bactéria *Anthrobacter atrocyaneus* and *Flavobacterium sp.*

Como relatado por Silva et al. (2003), a biodegradação do glifosato pelos microrganismos dos solos resulta em produtos da metabolização cujo comportamento ambiental e efeitos tóxicos são ainda pouco conhecidos.

Vários fatores afetam a degradação de pesticidas pela microbiota do solo (fungos, bactérias e protozoários),

¹Universidade Federal de Mato Grosso/UFMT – Instituto de Ciências Agrárias e Ambientais/ICAA – Avenida Alexandre Ferronato – 1200 – Reserva 35 – Bairro Setor Industrial – 78557-267 – Sinop, MT – sayocm@zipmail.com.br

²Universidade de São Paulo/USP – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz/ESALQ – Departamento de Ciências Exatas – Piracicaba, SP

³Universidade de São Paulo/USP – Centro de Energia Nuclear na Agricultura – Piracicaba, SP

como exemplo, a sorção e dessorção, o pH, o teor de matéria orgânica e nutrientes, a umidade do solo etc. (Moreira & Siqueira, 2002). De forma geral, tem sido verificado que a adição de compostos que contribuem para a melhoria das condições de fertilidade do solo, acelera a degradação de compostos orgânicos. Prata et al. (2000) avaliaram o efeito da vinhaça na degradação do herbicida diuron em dois solos e observaram que a vinhaça, por aumentar a atividade e biomassa microbiana, aumentou a mineralização da molécula em um dos solos estudados.

Um importante aspecto a se considerar nos estudos de degradação de compostos orgânicos em solos é a atividade microbiana. Normalmente, solos com maior atividade microbiana possuem maior capacidade de degradar compostos orgânicos. Prata et al. (2005) compararam a mineralização do glifosato em um Latossolo sob sistema de plantio direto e convencional e observaram maior degradação da molécula no plantio direto. Explicaram o resultado com base na maior atividade microbiana encontrada para essa condição de manejo do solo.

A prática da calagem, muito utilizada em solos tropicais, promove uma série de mudanças nos atributos físicos, químicos e biológicos dos solos, uma vez que ela afeta o pH do solo, a dispersão de partículas, altera o balanço de cargas, fornece nutrientes ao solo e pode causar a dissolução da matéria orgânica. Dessa forma, pode-se esperar que tal prática, ao alterar os atributos dos solos, afete também o comportamento de pesticidas.

Com o intuito de contribuir com a melhor compreensão da dinâmica do glifosato, frente a práticas de manejo dos solos, foram realizados ensaios laboratoriais que avaliaram o efeito da calagem na

mineralização do ^{14}C -glifosato e na atividade da microbiota, em um Latossolo Vermelho (LE) e em um Neossolo Quartzarênico (RQ).

MATERIAL E MÉTODOS

Coleta e caracterização das amostras de solos

As amostras de um Latossolo Vermelho (LE) e de um Neossolo Quartzarênico (RQ) foram coletadas na região de Piracicaba/SP, na profundidade de 0 – 20 cm. Para a caracterização, foram realizadas análises físicas, químicas e mineralógicas. Para a análise física dos solos, foi avaliada a granulometria, sendo a areia total fracionada em conjunto de peneiras, conforme metodologia proposta em Camargo et al. (1986) (Tabela 1).

Os atributos químicos analisados foram os íons do complexo sortivo, conforme metodologia proposta pela Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária - Embrapa (1997). O enxofre (S) e o nitrogênio (N) foram determinados pelo analisador elementar da marca Thermo. Também foram obtidos os valores de pH em água e em cloreto de potássio dos solos, os quais foram utilizados para calcular os valores de DpH (Mekaru & Uehara, 1972), o teor de matéria orgânica presente nos solos, expressa na forma de carbono orgânico, a qual foi determinada utilizando o método de Walkley-Black (Embrapa, 1997) (Tabelas 2 e 3).

Para determinar os teores dos óxidos presentes nos solos, foram realizados os ataques sulfúrico e alcalino, conforme Embrapa (1997) (Tabela 4).

A determinação dos minerais presentes nos solos foi feita utilizando-se a difratometria de raios-X (DRX). Pela análise térmica diferencial (ATD) foram quantificados os minerais caulinita e gibbsita (Tabela 5).

Tabela 1 – Caracterização física das amostras do Latossolo Vermelho (LE) e do Neossolo Quartzarênico (RQ).

| Solo | Argila | Silte | Areia | | | | | Classe Textural |
|-------------------------------|--------|-------|--------------|--------|-------|------|------------|-----------------|
| | | | Muito Grossa | Grossa | Média | Fina | Muito Fina | |
| -----g kg ⁻¹ ----- | | | | | | | | |
| LE | 669 | 77 | 1 | 32 | 50 | 130 | 41 | Muito argilosa |
| RQ | 100 | 20 | 6 | 260 | 332 | 255 | 27 | Arenosa |

Tabela 2 – Caracterização química das amostras do Latossolo Vermelho (LE) e do Neossolo Quartzarênico (RQ).

| Solo | pH _{H2O} | pH _{KCl} | ΔpH | P | K ⁺ | Ca ²⁺ | Mg ²⁺ | Al ³⁺ | S | N |
|------|-------------------|-------------------|-------|---------------------|-----------------------------------|------------------|------------------|------------------|------|------|
| | | | | mg dm ⁻³ | -----mmolc dm ⁻³ ----- | | | ----%---- | | |
| LE | 4,26 | 3,77 | -0,49 | 4,20 | 2,07 | 1,00 | 2,00 | 21,80 | 0,02 | 0,22 |
| RQ | 4,32 | 3,85 | -0,47 | 3,70 | 0,84 | 1,00 | 1,00 | 7,10 | 0,00 | 0,06 |

Tabela 3 – Caracterização química das amostras do Latossolo Vermelho (LE) e do Neossolo Quartzarênico (RQ).

| Solo | S ⁽¹⁾ | t ⁽²⁾ | T ⁽³⁾ | H+Al | V ⁽⁴⁾ | M ⁽⁵⁾ | CO ⁽⁶⁾ |
|------|-----------------------------------|------------------|------------------|-------------|------------------|--------------------|-------------------|
| | -----mmolc dm ⁻³ ----- | | | -----%----- | | g kg ⁻¹ | |
| LE | 5,07 | 26,87 | 140,07 | 135,00 | 3,62 | 81,13 | 23,30 |
| RQ | 2,84 | 9,94 | 50,44 | 47,60 | 5,63 | 71,43 | 12,90 |

⁽¹⁾S = soma de bases trocáveis; ⁽²⁾t = CTC efetiva; ⁽³⁾T = CTC a pH 7,0; ⁽⁴⁾V = índice de saturação de bases; ⁽⁵⁾M = índice de saturação de alumínio; ⁽⁶⁾CO = carbono orgânico.

Tabela 4 – Teores de óxidos e índices de intemperismo (Kr e Ki) das amostras do Latossolo Vermelho (LE) e do Neossolo Quartzarênico (RQ).

| Solo | SiO ₂ | Al ₂ O ₃ | Fe ₂ O ₃ | MnO | TiO ₂ | Ki | Kr |
|------|-------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|------|------------------|------|------|
| | -----g kg ⁻¹ ----- | | | | | | |
| LE | 122,50 | 195,05 | 81,70 | 0,30 | 11,60 | 1,07 | 0,84 |
| RQ | 14,00 | 23,40 | 5,50 | 0,10 | 0,85 | 1,02 | 0,88 |

Tabela 5 – Mineralogia e proporção de caulinita e gibbsita das amostras do Latossolo Vermelho (LE) e do Neossolo Quartzarênico (RQ).

| Solo | Fração | | | Caulinita | Gibbsita |
|------|-------------------|-----------------------|--|-----------------------|----------|
| | Areia | Silte | Argila | | |
| LE | Qz ⁽¹⁾ | Qz, Ct ⁽²⁾ | Ct, Gb ⁽³⁾ , Gt ⁽⁴⁾ , Hm ⁽⁵⁾ , VHE ⁽⁶⁾ | +++++(⁷) | ++ |
| RQ | Qz | Qz | Ct, Gt, VHE | + | |

⁽¹⁾Quartzo; ⁽²⁾Caulinita; ⁽³⁾Gibbsita; ⁽⁴⁾Goethita; ⁽⁵⁾Hematita; ⁽⁶⁾Vermiculita com hidróxi-alumínio entrecamadas; ⁽⁷⁾Proporção do mineral.

Incubação dos solos com calcário

Amostras dos solos foram incubadas com calcário dolomítico, até o pH se tornar constante. A dose de calcário aplicada nos solos foi determinada pela curva de incubação para estimativa da quantidade necessária para se elevar o pH dos solos a aproximadamente 6,0. Após a incubação com calcário, realizou-se análise química, para avaliar as mudanças nos atributos dos solos (Tabelas 6 e 7).

Ensaio de mineralização e atividade microbiana

Para o estudo de mineralização do glifosato, 50 g de solo (base seca) foram acondicionados em frascos de Bartha, em quatro repetições. Foram adicionados em cada frasco, 400 µL de solução de glifosato na concentração de 0,3 kg ia L⁻¹.

A solução de glifosato foi preparada em CaCl₂H₂O (0,01 mol L⁻¹), utilizando-se o produto técnico mais o radioativo, na concentração total de 2,4 µg g⁻¹ de solo. A pureza do glifosato técnico foi de 95,6% e a do radioativo (glifosato (¹⁴C-fosfonometil)) de 91%. A radioatividade do glifosato ¹⁴C-fosfonometil foi de 11,65 kBq 50 g⁻¹ de solo e a atividade específica do produto de 85,74 µCi mg⁻¹. Após a

aplicação da solução, elevou-se a umidade dos solos para 60% da capacidade de campo. Os frascos foram incubados por um período de 70 dias em sala climatizada, no escuro, a 25 ± 2° C.

Na lateral do frasco de Bartha foram colocados 10 mL de solução de NaOH 0,2 mol L⁻¹, o qual foi trocado semanalmente para a determinação do ¹⁴CO₂ desprendido. As trocas foram realizadas nos dias 7, 14, 21, 28, 35, 42, 49, 56, 63 e 70 dias, quando se retirava todo o NaOH do frasco e transferiam 2 alíquotas de 1 mL cada, para frascos contendo 10 mL de solução cintiladora. Esses frascos foram levados para leitura em Espectrometria de Cintilação Líquida (ECL). Após o período de 70 dias, procederam-se às extrações do glifosato nos solos, as quais foram realizadas com CaCl₂H₂O (0,01 mol L⁻¹). Os extratos foram concentrados em rota-evaporador a 40° C. Após, foi feita a placa de cromatografia de camada delgada (TLC) para a verificação da presença de metabólitos formados no Automatic TLC-Linear Analyser Berthold. Após as extrações, a quantidade de resíduo que ainda permaneceu ligado foi determinada por combustão de 0,4 g de cada solo em triplicata, a 900° C com fluxo de 270 cm³ min⁻¹ de O₂ por 3 minutos, em oxidador biológico (Harvey Instrument, OX 500).

Tabela 6 – Caracterização química do Latossolo Vermelho (LE) e do Neossolo Quartzarênico (RQ), após incubação com calcário.

| Solo | pH _{H2O} | pH _{KCl} | ΔpH | Al ³⁺ | K ⁺ | Ca ²⁺ | Mg ²⁺ | P | S | N |
|------|-------------------|-------------------|-------|-----------------------------------|----------------|------------------|------------------|---------------------|---------|------|
| | | | | -----mmolc dm ⁻³ ----- | | | | mg dm ⁻³ | ---%--- | |
| LE | 5,87 | 5,13 | -0,74 | 1,27 | 2,22 | 45,00 | 43,00 | 5,60 | 0,01 | 0,22 |
| RQ | 5,71 | 5,20 | -0,51 | 1,17 | 0,81 | 15,00 | 13,00 | 5,25 | 0,01 | 0,06 |

Tabela 7 – Caracterização química do Latossolo Vermelho (LE) e do Neossolo Quartzarênico (RQ), após incubação com calcário.

| Solo | S ⁽¹⁾ | t ⁽²⁾ | T ⁽³⁾ | H+Al | V ⁽⁴⁾ | M ⁽⁵⁾ |
|------|------------------|-----------------------------------|------------------|-------|------------------|------------------|
| | | -----mmolc dm ⁻³ ----- | | | -----%----- | |
| LE | 90,22 | 91,49 | 141,89 | 51,67 | 63,58 | 1,39 |
| RQ | 28,81 | 29,98 | 56,21 | 27,40 | 51,25 | 3,90 |

⁽¹⁾S = soma de bases trocáveis; ⁽²⁾t = CTC efetiva; ⁽³⁾T = CTC a pH 7,0; ⁽⁴⁾V = índice de saturação de bases; ⁽⁵⁾M = índice de saturação de alumínio.

Paralelamente ao ensaio de mineralização, monitorou-se a atividade microbiana, em ensaio idêntico ao utilizado com o produto radiomarcado (mesmos tratamentos e concentração do herbicida), porém, aplicando-se somente o produto frio. O método adotado foi descrito por Freitas et al. (1979). As avaliações da atividade microbiana foram feitas nos dias 0, 14, 28, 42, 56 e 70 dias.

Os dois ensaios foram conduzidos em delineamento inteiramente casualizado (DIC) em esquema fatorial 2 x 2, considerando duas classes de solos (LE e RQ) e duas condições de manejo dos solos (com e sem calagem). Para os resultados obtidos foi realizada análise de variância e as médias comparadas através do teste de Tukey, a 5% de significância.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Figura 1 apresenta-se a liberação de ¹⁴CO₂ resultante da mineralização do herbicida glifosato durante o período de incubação, nos solos tratados ou não com calagem. Em todos os tratamentos houve uma maior degradação nos primeiros dias de incubação, seguida por uma redução gradual até próximo aos 35 – 40 dias. Após este período, a taxa de degradação se tornou constante até o final do experimento, o que ocorreu aos 70 dias.

Esse padrão de degradação do glifosato foi o mesmo encontrado por outros autores, como Andréa et al. (2003) e Prata et al. (2005). Esse comportamento pode ser explicado pelo glifosato inicialmente livre e ao glifosato adsorvido com o passar do tempo. Cheah et al. (1998)

estudaram a degradação do glifosato em um solo arenoso e em um solo orgânico da Malásia e observaram que a taxa de degradação do herbicida foi dependente do seu grau de adsorção aos solos. O padrão de degradação foi o mesmo observado neste trabalho e os autores atribuíram isso à ação microbiana sobre o glifosato livre, na fase inicial e na posterior ao glifosato adsorvido.

O calcário adicionado aos solos aumentou significativamente (P<0,05) o desprendimento de ¹⁴CO₂ no LE e no RQ (Figura 2). A quantidade de ¹⁴CO₂ acumulado durante os 70 dias de condução do experimento foi de 6,72% para o LESC; 11,16% para o LECC; 7,22% para o RQSC e de 12,78% para o RQCC. Valores semelhantes de evolução de ¹⁴CO₂ foram observados por Prata et al. (2005), os quais avaliaram a mineralização do glifosato durante 63 dias em um Latossolo Vermelho distroférico, sob plantio direto e convencional e encontram resultados de 10,8 e 5,6%, respectivamente.

A prática da calagem também apresentou efeito positivo na atividade microbiana dos dois solos estudados, como pode ser visto na Figura 3. A atividade da microbiota foi significativamente maior no LECC e no RQCC e entre esses tratamentos, o LECC apresentou maior atividade. Após a realização da calagem, foi observado um aumento do pH dos solos, assim como maior disponibilidade dos nutrientes (Tabelas 6 e 7). Isso provavelmente foi a causa do maior crescimento e desenvolvimento da microbiota dos solos, representado pela maior respiração dos mesmos, como observado nos resultados de atividade microbiana. A atividade microbiana dos solos é de grande importância

na degradação do glifosato em solos. Araújo et al. (2003) relatam que há relação direta entre atividade microbiana dos solos e a degradação do glifosato, fato também observado neste estudo.

A principal rota de mineralização do glifosato em solos é a que consiste na transformação do glifosato em ácido aminometilfosfônico (AMPA) (Amarante Júnior et al., 2002), e finalmente a produção de água, CO₂ e fosfato. Na condução deste experimento, foi utilizado o glifosato radiomarcado no carbono fosfometil, o qual se encontra também na molécula do AMPA, considerado o principal

metabólito do glifosato. Dessa forma, o ¹⁴CO₂ detectado foi formado da degradação do glifosato para o AMPA e desse para a completa metabolização da molécula. Assim, o ¹⁴CO₂ expressa a mineralização da molécula do glifosato.

A partir das curvas de degradação que relacionaram a concentração do glifosato remanescente nos solos pelo tempo, foram obtidas equações que definiram os valores de meia-vida de mineralização do glifosato (Tabela 8). As equações que melhor se ajustaram aos dados foram do tipo potencial, no entanto, em trabalho realizado por Araújo et al. (2003), a equação exponencial foi a mais adequada.

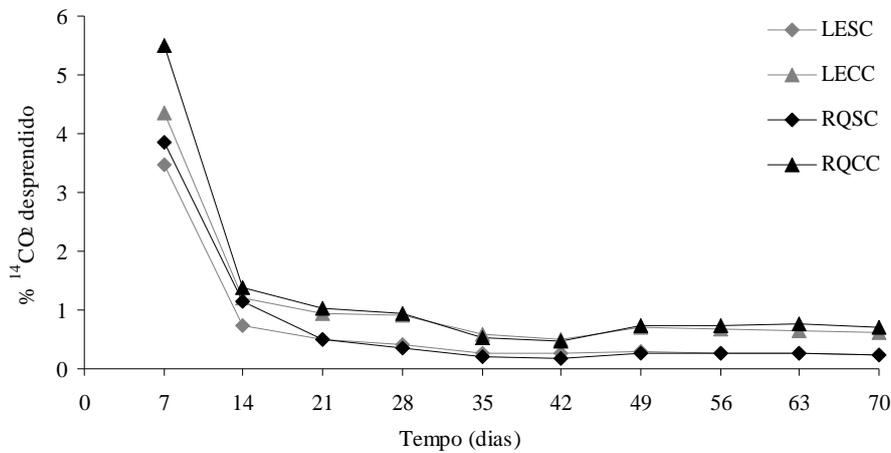


Figura 1 – Evolução semanal do ¹⁴CO₂ no Latossolo Vermelho sem calagem (LESC), Latossolo Vermelho com calagem (LECC), Neossolo Quartzarênico sem calagem (RQSC) e Neossolo Quartzarênico com calagem (RQCC), durante período de 70 dias.

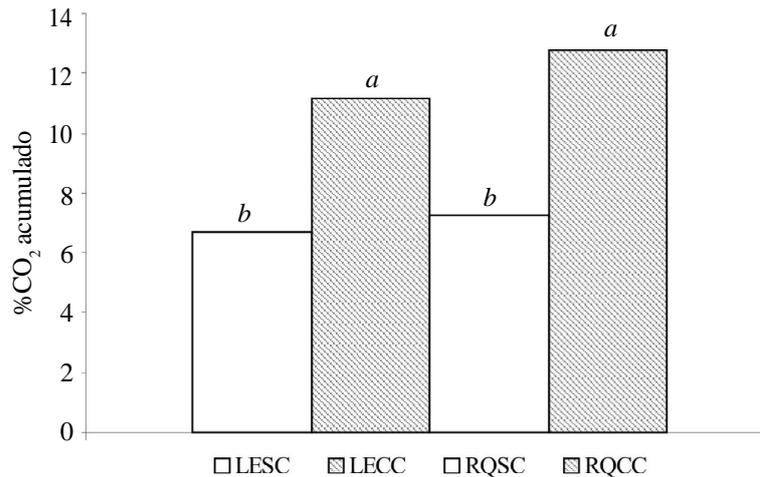


Figura 2 – Liberação de ¹⁴CO₂ acumulado nas amostras do Latossolo Vermelho sem calagem (LESC), com calagem (LECC), Neossolo Quartzarênico sem calagem (RQSC) e com calagem (RQCC), durante período de incubação de 70 dias. Letras minúsculas acima das barras comparam a porcentagem de ¹⁴CO₂ média, entre os tratamentos, pelo teste de Tukey, a 5%.

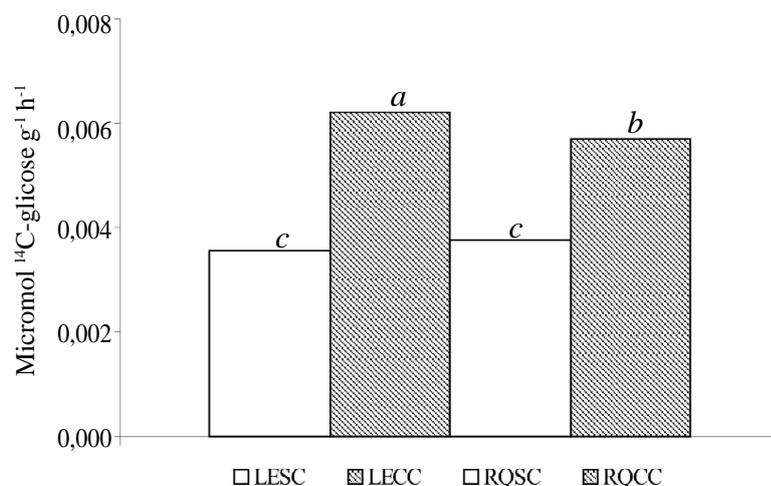


Figura 3 – Atividade microbiana média do Latossolo Vermelho sem calagem (LESC) e com calagem (LECC) e do Neossolo Quartzarênico sem calagem (RQSC) e com calagem (RQCC). Letras minúsculas acima das barras comparam o efeito da calagem nos solos, pelo teste de Tukey, a 5%.

Tabela 8 – Valores de meia-vida de mineralização do herbicida glifosato em Latossolo Vermelho sem calagem (LESC); com calagem (LECC); Neossolo Quartzarênico sem calagem (RQSC) e com calagem (RQCC).

| Solos | Equação ⁽¹⁾ | R ² | Meia-vida (anos) ⁽²⁾ |
|-------|-----------------------------------|----------------|---------------------------------|
| LESC | $y = 17402,59 + (-128,37)x^{0,5}$ | 0,94 | 12,38 a |
| LECC | $y = 17410,24 + (-180,24)x^{0,5}$ | 0,96 | 4,17 b |
| RQSC | $y = 17346,27 + (-135,55)x^{0,5}$ | 0,91 | 11,04 a |
| RQCC | $y = 17395,42 + (-248,73)x^{0,5}$ | 0,98 | 3,47 b |

⁽¹⁾y = concentração remanescente do glifosato (dpm g⁻¹ solo); x = tempo de incubação em dias.

⁽²⁾Valores seguidos da mesma letra, não diferem entre si, pelo teste de Tukey, a 5%.

O uso de calcário nos solos reduziu significativamente a meia-vida de mineralização do glifosato, tanto no LE quanto no RQ. Nomura & Hilton (1977) encontraram valores de meia-vida de mineralização de 11,2 e 22,7 anos para o glifosato em solos orgânicos. Prata et al. (2005) encontraram valores de 1,2 e de 2,14 anos para um Latossolo Vermelho sob plantio direto e convencional, respectivamente. Neste mesmo estudo foram calculadas a meia-vida de dissipação e os valores foram de 19,3 dias para o plantio direto e 25,8 dias para o convencional. Esses resultados evidenciam a diferença existente entre a meia-vida de dissipação e a de mineralização para o glifosato. Isso ocorre porque a de dissipação envolve os processos de degradação, da formação de resíduos ligados, absorção e transporte e a de mineralização, porém, envolve somente a quebra total da molécula a CO₂, água e sais minerais. O cálculo da meia-vida de mineralização do glifosato é de maior relevância, uma vez que a de dissipação considera a

formação de metabólitos que, no caso do glifosato, é a formação do ácido aminometilfosfônico (AMPA) e a formação de resíduos ligados, principalmente. Os efeitos tóxicos e o comportamento ambiental do AMPA são pouco conhecidos (Silva et al., 2003), e isso ocorre também para os resíduos ligados do glifosato nos solos.

Por cromatografia de camada delgada, foram analisados os extratos do solo RQ com e sem calagem. No solo LE, tanto na presença quanto na ausência da calagem não foi possível a realização da análise, pois a quantidade de radioatividade presente nos extratos não foi suficiente para alcançar o limite máximo de detecção do aparelho, mesmo após a concentração. Nas placas de TLC do RQSC e do RQCC, não foi detectada a presença de qualquer metabólito do glifosato. Isso pode ser em razão do ácido aminometilfosfônico (AMPA) ser tão adsorvido às partículas do solo quanto o glifosato (Gerritse et al., 1996), portanto, não passível de ser extraído.

Pelos resultados de oxidação, verificamos que a maior parte do glifosato aplicado permaneceu na forma de resíduo ligado. É relatado na literatura que o principal destino desse herbicida em solos tropicais é a formação de resíduo-ligado (Mattos et al., 2002; Prata et al., 2003). Assim, a principal fração do glifosato formada nos solos são os resíduos ligados, os quais merecem especial atenção, uma vez que não se conhece a consequência ambiental da formação desses resíduos.

CONCLUSÕES

A calagem aumentou significativamente a mineralização do herbicida glifosato, reduzindo sua meia-vida, tanto no LE quanto no RQ. Esse mesmo efeito da calagem foi observado para a atividade microbiana dos dois solos.

AGRADECIMENTOS

A Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo - FAPESP, pelo suporte financeiro e à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – CAPES, pela concessão da bolsa de doutorado ao primeiro autor.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AMARANTE JÚNIOR, O.P.; SANTOS, T.C.R.; BRITO, N.M.; RIBEIRO, M.L. Glifosato: propriedades, toxicidade, uso e legislação. **Química Nova**, São Paulo, v.25, n.4, p.589-593, 2002.
- ANDRÉA, M.M. de; PEREZ, T.B.; LUCHINI, L.C.; BAZARIN, S.; PAPINI, S.; MATALLO, M.B.; SAVOY, V.L.T. Influence of repeated applications of glyphosate on its persistence and soil bioactivity. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.38, n.11, p.1329-1335, 2003.
- ARAÚJO, A.S.F. de; MONTEIRO, R.T.R.; ABAKERLI, R.B. Effect of glyphosate on the microbial activity of two Brazilian soils. **Chemosphere**, Oxford, v.52, p.799-804, 2003.
- BROGGI, F.; OLIVEIRA, A.C. de; FREIRE, F.J.; FREIRE, M.B.G. dos S.; NASCIMENTO, C.W.A. do. Fator capacidade de fósforo em solos de Pernambuco mineralogicamente diferentes e influência do pH na capacidade máxima de adsorção. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v.35, n.1, p.77-83, jan./fev., 2011.
- CAMARGO, O.A.; MONIZ, A.C.; JORGE, J.A.; VALADARES, J.M. **Métodos de análise química, mineralógica e física de solos do Instituto Agronômico de Campinas**. Campinas: IAC, 1986. 94p. (IAC Boletim Técnico, 106).
- CHEAH, U.B.; KIRKWOOD, R.C.; LUM, K.Y. Degradation of four commonly used pesticides in Malasyan agricultural soils. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, Washington, v.46, n.3, p.1217-1223, 1998.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Manual de métodos de análises de solo**. 2.ed. Rio de Janeiro, 1997. 212p.
- FREITAS, J.R.; NASCIMENTO FILHO, V.; VOSE, P.B.; RUSCHEL, A.P. Estimativa da atividade da microflora heterotrófica em um solo de terra roxa estruturada usando respirometria com glicose ¹⁴C. **Energia Nuclear e Agricultura**, Piracicaba, v.1, p.123-130, 1979.
- GERRITSE, R.G.; BELTRAN, J.; HERNANDEZ, F. Adsorption of atrazine, simazine and glyphosate in soils of the Gngangara Mound. **Australian Journal of Soil Research**, Collingwood, v.34, p.599-607, 1996.
- MATTOS, M.L.T.; PERALBA, M.C.R.; DIAS, S.L.P.; PRATA, F.P.; CAMARGO, L. Monitoramento ambiental do glifosato e do seu metabólito (ácido aminometilfosfônico) na água de lavoura de arroz irrigado. **Pesticidas: Revista Ecotoxicologia e Meio Ambiente**, Curitiba, v.12, p.145-154, 2002.
- MEKARU, T.; UEHARA, G. Anion adsorption in ferruginous tropical soils. **Soil Science of America Proceedings**, Madison, v.36, n.2, p.296-300, 1972.
- MOREIRA, F.M.S. de; SIQUEIRA, J.O. **Microbiologia e bioquímica do solo**. Lavras: UFLA, 2002. 626p.
- NOMURA, N.S.; HILTON, H.W. The adsorption and degradation of glyphosate in five Hawaiian sugarcane soils. **Weed Research**, Oxford, v.17, p.113-121, 1977.
- PRATA, F.; CARDINALI, V.C.B.; LAVORENTI, A.; TORNISIELO, V.L.; REGITANO, J.B. Glyphosate sorption and desorption in soils with distinct phosphorus levels. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v.60, n.1, p.175-180, 2003.

PRATA, F.; LAVORENTI, A.; REGITANO, J.B.;
TORNISIELO, V.L. Degradação e adsorção de diuron em
solos tratados com vinhaça. **Revista Brasileira de
Ciência do Solo**, Viçosa, v.24, p.217-223, 2000.

PRATA, F.; LAVORENTI, A.; REGITANO, J.B.;
VEREECKEN, H.; TORNISIELO, V.L.; PELISSARI, A.
Glyphosate behavior in a Rhodic Oxisol under no-till and
conventional agricultural systems. **Revista Brasileira de
Ciência do Solo**, Viçosa, v.29, n.1, p.61-69, 2005.

SILVA, M.D. da; PERALBA, M.C.R.; MATTOS, M.L.T.
Determinação de glifosato e ácido aminometilfosfônico
em águas superficiais do Arroio Passo do Pilão.
Pesticidas: Revista Ecotoxicologia e Meio Ambiente,
Curitiba, v.13, p.19-28, 2003.

SPRANKLE, P.; MEGGIT, W.F.; PENNER, D.
Adsorption, mobility and microbial degradation of
glyphosate in the soil. **Weed Science**, Oxford, v.23,
p.229-234, 1975.