

# MINERALIZAÇÃO DO NITROGÊNIO DA PALHADA DE MILHETO DESSECADO COM HERBICIDAS<sup>(1)</sup>

Virginia Damin<sup>(2)</sup>, Paulo César Ocheuze Trivelin<sup>(3)</sup> & Tiago de Godoy Barbosa<sup>(4)</sup>

## RESUMO

Pesquisas recentes verificaram que a utilização de glyphosate ou amônio glufosinate para dessecação de culturas de cobertura em sistemas conservacionistas podem reduzir o conteúdo de nitrogênio na palha formada. Neste contexto. O objetivo deste trabalho foi avaliar a mineralização do N da palhada de milho em função da utilização dos herbicidas glyphosate e glufosinato de amônio e o aproveitamento do N pela cultura do milho. Utilizou-se o delineamento inteiramente casualizado, com seis tratamentos e cinco repetições, em esquema fatorial 3 x 2, sendo avaliados os fatores: manejo da cultura de cobertura (testemunha sem aplicação de herbicida, dessecação com glyphosate ou glufosinato de amônio) e tipo de solo (Neossolo Quartzarênico órtico típico - NQ e Latossolo Vermelho distrófico típico - LV). A massa de palha seca remanescente nos solos foi maior quando o milho foi dessecado quimicamente em relação à testemunha. O N-mineral do solo proveniente da palha de milho, o C-biomassa microbiana e a nitrificação nos tratamentos em que o milho foi dessecado com herbicidas foram inferiores aos da testemunha. A utilização de dessecantes no milho não afetou a produção de massa de palha seca e o N-total do milho, embora o conteúdo de N proveniente da palha no milho tenha sido reduzido pela dessecação do milho com o herbicida glufosinato. A mineralização do N proveniente da palha foi reduzida pela dessecação do milho com os herbicidas glyphosate e glufosinato de amônio.

**Termos de indexação:** decomposição, *Pennisetum glaucum*, glyphosate, glufosinato de amônio.

---

<sup>(1)</sup> Recebido para publicação em dezembro de 2008 e aprovado em maio de 2009.

<sup>(2)</sup> Doutoranda em Solos e Nutrição de Plantas da Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz" – ESALQ/USP. Caixa Postal 9, Av. Pádua Dias 11, CEP 13418-900 Piracicaba (SP). E-mail: virginia@esalq.usp.br

<sup>(3)</sup> Professor Associado do Centro de Energia Nuclear na Agricultura, Universidade de São Paulo – CENA/USP. Caixa Postal 96, CEP 13400-970 Piracicaba (SP). E-mail: pcotrive@cena.usp.br

<sup>(4)</sup> Estagiário do Laboratório de Isótopos Estáveis, CENA/USP. E-mail: tbarbosa@cena.usp.br

**SUMMARY: NITROGEN MINERALIZATION IN STRAW FROM HERBICIDE-DESICCATED MILLET**

*Currently research verified that glyphosate or ammonium glufosinate herbicides use for cover crop desiccation in conservationist systems may reduce N amount in straw. The aim of this study was to evaluate nitrogen mineralization in millet straw after glyphosate or ammonium glufosinate application and the N uptake by corn plants. A complete randomized design was used with six treatments and five replications, in a 3 x 2 factorial scheme: cover crop management (without herbicide application, glyphosate or ammonium glufosinate desiccation) and soil type (Typic Quartzipsamment and Red Oxisol). The residual millet straw dry matter on the soil surface was higher after herbicide desiccation than in the control. The soil mineral N, originated from millet straw, the microbial biomass C and nitrification were lower in herbicide-desiccated millet than in the control. Chemical millet desiccation did not affect the dry matter production and total N of the following corn crop, although the corn nitrogen content, derived from the straw, was reduced by millet desiccation with glufosinate herbicide. The nitrogen mineralization of millet straw was reduced by herbicide desiccation with glyphosate or glufosinate.*

*Index terms: decomposition, Pennisetum glaucum, glyphosate, ammonium glufosinato.*

## INTRODUÇÃO

O sistema de semeadura direta (plantio direto) prevê a rotação de culturas, o cultivo em solo sem revolvimento e a manutenção de resíduos vegetais sobre o solo. No entanto, em ecossistemas tropicais como o Cerrado, a deficiência nutricional dos solos dificulta a produção de massa da cultura de cobertura, enquanto as condições climáticas favorecem a decomposição dos restos vegetais, resultando em reduzida cobertura do solo (Landers, 1996). Nesse sentido, diversas pesquisas no país vêm sendo desenvolvidas a fim de selecionar espécies vegetais e práticas de manejo adequadas às diferentes condições edafoclimáticas.

No Cerrado, o milheto é uma das principais espécies utilizadas como cultura de cobertura, devido à elevada resistência ao déficit hídrico, alto acúmulo de massa e macronutrientes e baixo custo de sementes (Oliveira et al., 2002; Braz et al., 2004). Em adição, o milheto possui relação C:N elevada, o que favorece a decomposição lenta de seus resíduos, garantindo melhor cobertura do solo (Lara Cabezas et al., 2004). É amplamente aceito que resíduos culturais com relação C:N maior que 30 têm decomposição lenta no solo e favorecem a imobilização em detrimento da mineralização, enquanto aqueles com relação C:N inferior a 30 apresentam rápida mineralização, aumentando, conseqüentemente, a disponibilidade de N (Trinsoutrot et al., 2000; Moreira & Siqueira, 2006).

Além da espécie utilizada, o manejo da cultura de cobertura também pode interferir no aporte e manutenção de palhada sobre o solo, com implicações na produtividade das culturas subsequentes. Argenta et al. (2001) observaram aumento da relação C:N na parte aérea de aveia preta, após 16 dias da aplicação dos herbicidas glyphosate, glufosinato e paraquat. No milheto, Damin et al. (2009) observaram redução de

até 25 % do N proveniente do fertilizante no tecido vegetal, após a aplicação dos herbicidas glyphosate e glufosinato de amônio. A redução do N eleva a relação C:N do resíduo, podendo reduzir a taxa de mineralização. No entanto, a redução no conteúdo de N, proporcionada pela utilização destes herbicidas, pode alterar a produtividade da cultura subsequente.

Além de reduzir o N da palha, os herbicidas podem alterar as taxas de decomposição de resíduos vegetais devido ao maior destacamento de folhas e raízes causado pela senescência. Dessa forma, eles podem ter um efeito físico favorável à mineralização da palhada (Snapp & Borner, 2005). Por outro lado, essas moléculas podem alterar a comunidade microbiana do solo e ocasionar tanto aumento como diminuição da mineralização, dependendo das populações de microrganismos afetadas.

Nesse contexto, o objetivo deste trabalho foi avaliar as taxas de mineralização do N proveniente da palha de milheto, após dessecação com os herbicidas glyphosate e glufosinato de amônio, bem como a absorção do N mineralizado da palha tratada com esses herbicidas pela cultura do milho.

## MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi desenvolvido no Centro de Energia Nuclear na Agricultura-CENA/USP, Piracicaba, SP, Brasil, no período de julho a novembro de 2007. Com o intuito de reduzir as perdas de N do sistema, o que dificultaria a contabilização do N mineralizado da palha, o experimento foi desenvolvido em casa de vegetação, utilizando-se vasos (7 L) com fundo fechado. Para quantificar a mineralização do N da palha de milheto, foi utilizada palha marcada com <sup>15</sup>N, obtida como descrito a seguir.

### Obtenção e caracterização da palha de milho

O experimento para produção de palhada foi realizado em vasos, preenchidos com 7 kg/vaso de terra proveniente de um Neossolo Quartzarênico órtico típico (NQ) (Quadro 1). A acidez e a fertilidade do solo foram corrigidas antes do plantio de milho (*Pennisetum glaucum* var. ADR500). A quantidade aplicada de calcário foi determinada pelo método da saturação por bases e correspondeu a 3,5 g/vaso (dose correspondente a 1,4 t ha<sup>-1</sup>) de calcário dolomítico (PRNT = 100 %). O corretivo foi aplicado juntamente com 100 mg kg<sup>-1</sup> de P (dose correspondente a 45,5 kg ha<sup>-1</sup>) na forma de superfosfato simples (8,7 g/vaso), procedendo-se a mistura dos insumos com a terra dos vasos. Posteriormente, foram aplicados 100 mL/vaso de solução contendo 800 mg de K (cloreto de potássio p.a.), 0,12 mg de Zn (sulfato de zinco p.a.), 0,06 mg de B (ácido bórico p.a.) e 0,08 mg de Cu (sulfato de cobre p.a.). Após as correções de acidez e fertilidade do solo, foram adicionados 500 mL de água destilada em cada vaso (70 % da capacidade máxima de retenção de água) e incubados nessa umidade por um período de 15 dias.

Após o período de incubação, foi semeado o milho, mantendo-se duas plantas por vaso. A adubação nitrogenada foi realizada em cobertura, na dose de 900 mg/vaso de N, cuja fonte foi o sulfato de amônio enriquecido 7 % em átomos de <sup>15</sup>N. Os herbicidas foram aplicados no início do florescimento da cultura, em dose equivalente a 4 L ha<sup>-1</sup>, 360 g L<sup>-1</sup> de e.a. no produto comercial Roundup® para o glyphosate, e 2 L ha<sup>-1</sup>, 400 g ha<sup>-1</sup> de i.a. no produto comercial Finale® para o glufosinato de amônio. Foram destinados 10 vasos para cada herbicida e 10 vasos foram colhidos sem aplicação de herbicidas, totalizando 30 vasos. Os vasos que não receberam aplicação de

herbicidas foram colhidos na mesma data em que os produtos foram aplicados. Nos vasos restantes, a colheita foi realizada após a morte das plantas. O material vegetal foi separado em parte aérea e raiz e seco em estufa a 65 °C até massa constante. Foram determinados o N-total, <sup>15</sup>N e C na palha em espectrômetro de massas, contendo analisador automático de N e C, modelo ANCA-SL, 20–20 da PDZ Europa (Krewe, UK) (Quadro 2).

### Mineralização da palha de milho dessecado com herbicidas

Foi utilizado o delineamento inteiramente casualizado com cinco repetições. Os tratamentos foram resultados de combinação fatorial entre três condições de palhada de milho (testemunha – milho cultivado sobre palha de milho colhido sem aplicação de herbicida; milho cultivado sobre palha de milho dessecado com o herbicida glyphosate; e milho cultivado sobre palha de milho dessecado com o herbicida glufosinato de amônio) e dois tipos de solo: Neossolo Quartzarênico órtico típico (NQ) e Latossolo Vermelho distrófico típico (LV) (Embrapa, 2006).

Os vasos foram preenchidos com 5 dm<sup>3</sup> (7 kg de NQ e 6 kg de LV) de terra fina seca ao ar (TFSA), retirada da camada de 0–20 cm dos solos. As análises químicas dos solos foram realizadas segundo Raij et al. (2001) (Quadro 1).

Antes do plantio do milho (*Zea mays*), híbrido simples Pioneer 30F80, a acidez e a fertilidade do solo foram corrigidas. A quantidade aplicada de calcário foi determinada pelo método da saturação por bases e correspondeu a 3,5 e 14,7 g/vaso (dose correspondente a 1,4 e 5,8 t ha<sup>-1</sup>, respectivamente) de calcário dolomítico (PRNT = 100 %), para os solos NQ e LV, respectivamente. O corretivo foi aplicado juntamente

**Quadro 1. Caracterização química e composição granulométrica do Neossolo Quartzarênico órtico típico (NQ) e do Latossolo Vermelho distrófico típico (LV)**

Solo	Caracterização química dos solos											
	pH <sub>CaCl2</sub>	MO	P	S	K	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Al <sup>3+</sup>	H + Al	T	V	m
		g kg <sup>-1</sup>	— mg kg <sup>-1</sup> —			mmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>					— % —	
NQ	4,1	4	1	7	0,3	5	2	8	25	32	21,8	25
LV	4,2	25	9	20	0,6	11	8	12	98	118	17,0	38
	Composição granulométrica dos solos											
	Argila	Silte	Areia total	Areia grossa	Areia fina	Classe textural						
	g kg <sup>-1</sup>											
NQ	122	8	870	630	240	arenosa						
LV	490	140	370	190	180	argilosa						

MO: matéria orgânica; T: capacidade de troca de cátions (CTC) em pH 7,0; V: saturação por bases; m: saturação por alumínio.

**Quadro 2. Caracterização química da palha de milheto (*Pennisetum glaucum*) relacionado ao manejo com herbicidas**

Tipo de palha	Caracterização química da palha					
	Parte aérea		Raiz		Planta inteira	
	C	N	C:N	N	N	<sup>15</sup> N %
	g/vaso	mg/vaso	mg/vaso			
Sem herbicida	7,6	347,2	22,0	89,8	437,1	5,42
Glyphosate	6,9	308,8	22,4	83,0	392,8	5,34
Glufosinato	7,3	303,2	24,0	87,7	389,5	5,45

com 100 e 200 mg kg<sup>-1</sup> de P (dose correspondente a 45,5 e 91 kg ha<sup>-1</sup> de P, respectivamente) na forma de superfosfato simples, respectivamente, nos solos NQ e LV, procedendo-se a mistura dos insumos com a terra dos vasos. Posteriormente, foram aplicados 100 mL/vaso de solução contendo 1600 mg de K (cloreto de potássio p.a.), 0,24 mg de Zn (sulfato de zinco p.a.), 0,12 mg de B (ácido bórico p.a.) e 0,16 mg de Cu (sulfato de cobre p.a.). Após a aplicação dos nutrientes, a umidade foi elevada a 70 % da capacidade máxima de retenção de água do solo (CMRA), e os solos foram incubados por 15 dias.

Após o período de incubação, as palhas de milheto marcadas com <sup>15</sup>N, obtidas em experimento prévio descrito anteriormente, foram adicionadas ao solo. O resíduo vegetal foi aplicado em dose equivalente a 10 Mg ha<sup>-1</sup> de resíduo seco. Para o cálculo da quantidade de palha, consideraram-se densidade do solo 1,2 g cm<sup>-3</sup> e profundidade de 0,2 m, o que resultou na aplicação de 30 g/vaso de palhada, sendo 11 g de folhas, 8 g de colmos e 11 g de raízes. Todo material vegetal foi cortado em pedaços de, aproximadamente, 3 cm. As raízes de milheto foram incorporadas ao solo, e a parte aérea da cultura foi depositada na superfície. Durante todo o período experimental a umidade do solo foi mantida a 60 % da CMRA.

O milho foi semeado em 5/08/2007 (cinco sementes/vaso) e, após 25 dias, procedeu-se o desbaste, mantendo-se uma planta por vaso. A adubação nitrogenada de cobertura foi aplicada na dose de 1.800 mg/vaso de N, na forma de sulfato de amônio. As plantas de milho removidas foram cortadas rente à superfície do solo, e o material vegetal colhido foi seco em estufa a 65 °C até massa constante. Para determinação da extração de N proveniente da palha, as amostras foram trituradas e submetidas à análise em espectrômetro de massas para determinação da abundância de <sup>15</sup>N e N-total.

Em 15/11/2007, 90 dias após a semeadura, realizou-se a colheita das plantas de milho. As plantas foram cortadas rente à superfície do solo. A parte aérea foi dividida em folha, colmo, inflorescência e espiga. A palhada de milheto remanescente na superfície do solo foi coletada e as raízes de milho foram

separadas do solo por peneiramento (malha de 2 mm). As raízes e a palha remanescente nas parcelas foram lavadas em água corrente, sendo a última lavagem realizada com água desionizada. Todo material vegetal foi seco em estufa a 65 °C, até massa constante para obtenção da massa do material seco (MS).

Foi obtida a massa de solo úmido de cada parcela e quatro subamostras retiradas para determinação: da umidade em estufa a 105 °C por 48 h; do N-total e <sup>15</sup>N proveniente da palha; do C da biomassa microbiana (C-BM); e do N mineral no solo.

Para as determinações de <sup>15</sup>N, N-total e C, o material vegetal foi triturado em moinho tipo Wiley e o solo (TFSA) processado em moinho de bola. As amostras foram submetidas à análise em espectrômetro de massas, contendo analisador automático de N e C, modelo ANCA-SL, 20–20 da PDZ Europa (Krewe, UK). As amostras para determinação do C-BM foram armazenadas em câmara fria (5 °C) por 48 h. O C-BM foi determinado pelo método da fumigação-extração, descrito por Vance et al. (1987). Para a determinação do N-mineral, 30 g de terra (amostra úmida conservada a -10 °C) receberam 60 mL de KCl 2 mol L<sup>-1</sup>. A suspensão foi agitada e filtrada, procedendo-se a destilação dos extratos com MgO e liga de Devarda para obtenção do N-NH<sub>4</sub><sup>+</sup> e N-NO<sub>3</sub><sup>-</sup> do solo, segundo Bremner & Keeney (1966). As análises de <sup>15</sup>N-NH<sub>4</sub><sup>+</sup> e <sup>15</sup>N-NO<sub>3</sub><sup>-</sup> nos destilados foram realizadas por espectrometria de massas segundo Trivelin et al. (1973).

A recuperação do N na planta e no solo proveniente do resíduo vegetal foi calculada pela expressão (1):

$$N_{ppfm} = \frac{a-c}{b-c} \cdot N_{total} \quad (1)$$

em que Nppfm: N na planta ou solo proveniente da fonte <sup>15</sup>N-resíduo vegetal (mg/vaso); a: abundância de <sup>15</sup>N (% em átomos) na planta ou solo; b: abundância de <sup>15</sup>N-resíduo vegetal (% em átomos de <sup>15</sup>N); c: abundância natural de <sup>15</sup>N; N total: conteúdo de N na planta ou no solo (mg/vaso).

A recuperação percentual do N do resíduo vegetal foi calculada pela expressão (2):

$$\%R = \frac{N_{ppfm}}{D} 100 \quad (2)$$

em que D é a dose de N aplicada.

A mineralização líquida (ML) foi obtida pela expressão (3):

$$ML = \left( \frac{A}{B} C \right) + \left( \frac{D}{B} E \right) \quad (3)$$

em que A: é a abundância de  $^{15}\text{N}$  (% em átomos excesso) na cultura; B: abundância de  $^{15}\text{N}$  (% em átomos excesso) no resíduo vegetal utilizado; C: conteúdo de N na planta de milho; D: abundância de  $^{15}\text{N}$  (% de  $^{15}\text{N}$  em átomos em excesso) no N-mineral do solo; E: conteúdo de N-mineral no solo.

Os resultados obtidos foram submetidos à análise da variância e, quando o teste F foi significativo, procedeu-se a comparação das médias de tratamentos pelo teste de Tukey ( $\alpha = 0,05$ ).

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

A MS e o N-total da palha de milho, remanescente na superfície, foram maiores nos tratamentos glyphosate e glufosinato comparativamente à testemunha (Quadro 3). Do total de palha aplicada na superfície (19 g/vaso), 60 % da MS foi reduzida na testemunha, enquanto nos tratamentos glyphosate e glufosinato essa redução foi de 53 e 46 %, respectivamente. O mesmo efeito verificado na MS foi observado para o conteúdo de N na palha remanescente (Quadro 3). O tipo de solo não alterou a MS e o N-total da palha, o que pode ser atribuído ao período reduzido de permanência da palha no solo. A relação C:N da palha diferiu entre os tratamentos, sendo observada interação dos fatores manejo de palha e tipo de solo (Quadro 3). No solo NQ, a redução da

relação C:N nos tratamentos glyphosate e glufosinato, pode ser justificada pelo maior conteúdo de N na palha remanescente nestes tratamentos em relação à testemunha, visto que o conteúdo de carbono (C) não diferiu entre os tratamentos.

Aos 25 dias após a semeadura (DAS), quando as plantas estavam no estágio V8 (Fancelli, 1986), somente 2 % do N da palha havia sido absorvido pelas plantas de milho, não sendo observadas diferenças de MS, N-total e N do milho proveniente da palha de milho nos fatores avaliados (Quadro 4). Bôer et al. (2007) observaram que somente 7 % do N da palha do milho havia sido liberado 30 dias após o manejo da cultura de cobertura do solo.

A dessecação do milho com os herbicidas glyphosate e glufosinato de amônio não alterou o conteúdo de  $\text{N-NH}_4^+$ , N-mineral e N-total dos solos (Quadro 5). No entanto, o conteúdo de  $\text{N-NO}_3^-$  diferiu entre os tratamentos, sendo observada interação dos fatores manejo da cultura de cobertura e tipo de solo. Somente no NQ, houve diferença entre os tratamentos com e sem herbicidas, sendo o conteúdo de  $\text{N-NO}_3^-$  maior na testemunha em relação aos tratamentos glyphosate e glufosinato. Na testemunha e no tratamento glufosinato, o conteúdo de  $\text{N-NO}_3^-$  foi maior no NQ em relação ao LV. No tratamento glyphosate, o conteúdo de  $\text{N-NO}_3^-$  não diferiu entre os solos.

O menor conteúdo de  $\text{N-NO}_3^-$  nos tratamentos glyphosate e glufosinato, no NQ, pode ser atribuído à redução das taxas de nitrificação. A este respeito duas considerações devem ser feitas: (1) a nitrificação é mediada por microrganismos quimiolitotrófico ou quimiorganotrófico. No entanto, os quimiolitotróficos são os principais responsáveis por este processo no solo (Moreira & Siqueira, 2006). Esses microrganismos sintetizam seus aminoácidos e, portanto, podem apresentar rotas metabólicas que são bloqueadas pelos herbicidas glyphosate e glufosinato de amônio. O

**Quadro 3. Massa de material seco (MS), nitrogênio, carbono e relação C:N da palha remanescente de milho (parte aérea) dessecada com herbicidas após 90 dias de permanência nos solos NQ e LV, sob cultivo de milho**

Tratamento	MS			N			C			C:N		
	NQ	LV	Média	NQ	LV	Média	NQ	LV	Média	NQ	LV	Média
	g/vaso						mg/vaso					
Testemunha	7,4	7,7	7,5 c	121,2	137,9	129,5 b	2,3	2,2	2,3	19,2 aA	16,2 aB	17,7
Glyphosate	8,9	8,9	8,9 b	149,9	147,3	148,6 a	2,0	2,2	2,1	13,2 bA	14,9 aA	14,0
Glufosinato	10,4	10,0	10,2 a	154,5	156,9	155,7 a	2,4	2,4	2,4	15,8 bA	15,8 aA	15,8
Média	8,9	8,9	CV=7,9%	141,9	147,4	CV=11,5%	2,2	2,3	CV=11,9%	16,1	15,7	CV=11,7%
F dos fatores	$F_{\text{herb}}=36,13^{**}$		$F_{\text{solo}}=0,06^{\text{ns}}$	$F_{\text{herb}}=6,66^{**}$		$F_{\text{solo}}=0,82^{\text{ns}}$	$F_{\text{herb}}=2,68^{\text{ns}}$		$F_{\text{solo}}=0,16^{\text{ns}}$	$F_{\text{herb}}=9,8215^{**}$		$F_{\text{solo}}=0,43^{\text{ns}}$
F da interação	0,71 <sup>ns</sup>			0,92 <sup>ns</sup>			0,8707 <sup>ns</sup>			4,1290*		

Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey ( $p = 0,05$ ). \*\*: teste F significativo a 5 %. \*: teste F significativo a 1 %. Ns: teste F não significativo.

**Quadro 4. Massa de material seco (MS), N total e N proveniente da fonte marcada (Nppfm) na cultura do milho após 25 dias de residência da palha de milho no solo e carbono da biomassa microbiana no solo em função da dessecação do milho com herbicidas**

Tratamento	Parte aérea (25 DAS)											
	MS			N-total			Nppfm			C - BM (90 DAS)		
	NQ	LV	Média	NQ	LV	Média	NQ	LV	Média	NQ	LV	Média
	g/vaso						mg/planta			µg g <sup>-1</sup>		
Testemunha	8,6	8,1	8,2	194,9	318,5	256,7	38,6	32,8	35,7	0,19 aA	0,21 aA	0,20
Glyphosate	6,9	8,0	7,5	186,1	326,2	256,1	22,9	32,7	27,8	0,17 aA	0,12 bB	0,14
Glufosinato	7,8	7,7	7,7	187,8	255,0	221,4	35,2	32,2	33,7	0,09 bA	0,11 bA	0,10
Média	7,7	7,9	CV= 14,5%	189,6 b	299,4 a	CV=16,3%	32,2	32,6	CV=39,3%	0,15	0,15	CV=21,4%
F dos fatores	F <sub>herb</sub> = 1,20 <sup>ns</sup>		F <sub>solo</sub> = 0,43 <sup>ns</sup>	F <sub>herb</sub> = 2,58 <sup>ns</sup>		F <sub>solo</sub> = 57,5 <sup>**</sup>	F <sub>herb</sub> = 1,03 <sup>ns</sup>		F <sub>solo</sub> = 0,01 <sup>ns</sup>	F <sub>herb</sub> = 24,00 <sup>**</sup>		F <sub>solo</sub> = 0,01 <sup>ns</sup>
F da interação	0,91 <sup>ns</sup>			2,30 <sup>ns</sup>			1,06 <sup>ns</sup>			3,97*		

Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey ( $p = 0,05$ ). \*\*: teste F significativo a 5 %. \*\*: teste F significativo a 1 %. ns: teste F não significativo.

**Quadro 5. Conteúdo de N mineral e N total no solo e N-mineral e N-total no solo proveniente da palha após dessecação do milho com herbicidas**

Tratamento	N-NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>			N-NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>			N- mineral			N-total		
	NQ	LV	Média	NQ	LV	Média	NQ	LV	Média	NQ	LV	Média
		mg/vaso									g/vaso	
Testemunha	229,7	297,7	263,7	117,2 aA	31,5 aB	74,4	347,0	329,2	338,1	2,4	7,0	4,7
Glyphosate	197,7	331,6	264,5	59,3 bA	34,2 aA	46,8	257,0	365,8	311,4	2,2	7,1	4,7
Glufosinato	212,6	314,5	263,5	82,6 bA	21,4 aB	52,0	295,2	335,9	315,5	2,4	7,0	4,7
Média	213,3 b	314,6 a	CV=21,3%	86,4	29,1	CV=41,1%	299,7	343,6	CV=19,6%	2,3 b	7,1 a	CV=5,0%
F dos fatores	F <sub>herb</sub> = 0,00 <sup>ns</sup>		F <sub>solo</sub> = 24,32 <sup>**</sup>	F <sub>herb</sub> = 3,82*		F <sub>solo</sub> = 43,73 <sup>**</sup>	F <sub>herb</sub> = 0,52 <sup>ns</sup>		F <sub>solo</sub> = 3,62 <sup>ns</sup>	F <sub>herb</sub> = 0,20 <sup>ns</sup>		F <sub>solo</sub> = 2993,93 <sup>**</sup>
F interação	0,86 <sup>ns</sup>			4,12*			2,51 <sup>ns</sup>			2,28 <sup>ns</sup>		
	Proveniente da palha de milho (Nppfm), mg/vaso											
Testemunha	9,2	9,9	9,6 a	6,6 aA	0,9 aB	3,7	15,8	10,9	13,3 a	83,8	97,9	90,9 a
Glyphosate	7,4	8,5	8,0 ab	2,5 bA	1,2 aA	1,8	9,9	9,7	9,8 b	74,3	89,2	81,8 ab
Glufosinato	6,6	7,5	7,0 b	3,3 bA	0,3 aB	1,9	9,8	8,1	9,0 b	79,5	78,0	78,7 b
Média	7,7	8,7	CV=22,4%	4,1	0,9	CV=69,3%	11,8 a	9,6 b	CV=27,5%	79,2 b	88,3 a	CV=12,6%
F dos fatores	F <sub>herb</sub> = 4,78*		F <sub>solo</sub> = 2,10 <sup>ns</sup>	F <sub>herb</sub> = 3,86*		F <sub>solo</sub> = 25,67 <sup>**</sup>	F <sub>herb</sub> = 6,10 <sup>**</sup>		F <sub>solo</sub> = 4,36*	F <sub>herb</sub> = 3,55*		F <sub>solo</sub> = 5,55*
F interação	0,03 <sup>ns</sup>			4,05*			1,66 <sup>ns</sup>			1,89 <sup>ns</sup>		

Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey ( $p = 0,05$ ). \*\*: teste F significativo a 5 %. \*\*: teste F significativo a 1 %. ns: teste F não significativo.

herbicida glyphosate inibe a síntese dos aminoácidos triptofano, tirosina e fenilalanina, enquanto o glufosinato tem sua ação herbicida atribuída à inibição da síntese de glutamina; (2) o LV tem maior capacidade sortiva que o NQ, como pode ser observado pelos valores de conteúdo de argila, CTC e matéria orgânica dos solos (Quadro 1). Como efeito, a disponibilidade de N-NH<sub>4</sub><sup>+</sup>

aos microrganismos nitrificantes é menor no LV do que no NQ, devido à maior adsorção do íon à fração coloidal do solo. Cabe ressaltar, ainda, que o herbicida glyphosate apresenta grande afinidade com os óxidos e hidróxidos de Fe e Al (Prata et al., 2000), comuns nos Latossolos. Nesses solos, a forte ligação do herbicida à matriz do solo reduz a biodisponibilidade do produto.



A redução da nitrificação evidencia o impacto negativo dos herbicidas sobre a microbiota quimiolitotrófica do solo. No entanto, é importante destacar que a menor conversão de  $N-NH_4^+$  a  $N-NO_3^-$  no solo implicam menor risco de contaminação de águas superficiais com nitrato e maior disponibilidade do nutriente às culturas.

O  $N-NH_4^+$  no solo, proveniente da palha de milho (Nppfm), não foi afetado pelo tipo de solo. No entanto, seu conteúdo foi maior na testemunha em relação ao tratamento glufosinato. O padrão dos resultados de  $N-NO_3^-$  derivado da palha foram semelhantes aos de  $N-NO_3^-$  no solo (Quadro 5). Cabe ressaltar que, como o conteúdo de amônio (Nppfm) foi menor no tratamento glufosinato em relação à testemunha, neste tratamento a redução do  $N-NO_3^-$  (Nppfm) no solo pode estar relacionada, ainda, à menor quantidade de amônio (Nppfm) disponível para os microrganismos nitrificantes.

Na testemunha, a contribuição da palha para o N-mineral do solo (Nppfm) foi maior em relação aos tratamentos (Quadro 5), indicando que a dessecação do milho com os herbicidas afetou negativamente o

processo de mineralização do resíduo. O tipo de solo também interferiu no N-mineral (Nppfm), sendo maior no NQ em relação ao LV. O LV, como discutido anteriormente, possui maior capacidade sortiva e, portanto, a disponibilidade do N do resíduo orgânico aos microrganismos pode ser reduzida, diminuindo a mineralização total. O N da palha no N-total do solo (Nppfm) foi afetado pelo manejo da cultura de cobertura e pelo tipo de solo (Quadro 5). Na testemunha e no tratamento glyphosate, o conteúdo de N-total derivado da palha (Nppfm) foi maior que no tratamento glufosinato. No LV, o Nppfm foi maior que no NQ.

Aos 90 DAS, a dessecação do milho com herbicidas não interferiu na produção de MS do milho (Quadro 6). A MS da parte aérea, das raízes e da planta inteira foram maiores no solo LV em relação ao NQ, o que pode ser atribuído à maior fertilidade química do primeiro (Quadro 1). O manejo da cultura de cobertura não afetou o N-total da parte aérea, das raízes e da planta inteira de milho. O N-total foi maior na parte aérea do milho no NQ, enquanto as raízes apresentaram maior N-total no LV, porém o N-total da planta inteira não diferiu entre os solos (Quadro 6).

**Quadro 6. Produção de massa de resíduo seco, N-total e N proveniente da palha na parte aérea (folha, colmo, inflorescência, espiga), raiz e planta inteira de milho cultivado sob palha de milho previamente dessecada com herbicidas**

Tratamento	Parte aérea			Raiz			Planta inteira		
	NQ	LV	Média	NQ	LV	Média	NQ	LV	Média
Resíduo seco - g/vaso									
Testemunha	49,7	58,0	53,8	12,5	18,0	15,2	62,1	76,0	69,1
Glyphosate	53,4	54,1	56,7	13,2	17,2	15,2	66,6	71,3	69,0
Glufosinato	54,0	59,0	56,5	12,5	18,0	15,2	66,5	77,0	71,7
Média	52,3 b	57,0 a	CV=6,3%	12,7 b	17,7 a	CV=18,9%	65,1 b	74,8 a	CV=8,1%
F dos fatores	F <sub>herb</sub> = 2,02 <sup>ns</sup>		F <sub>solo</sub> = 13,72**	F <sub>herb</sub> = 0,00 <sup>ns</sup>		F <sub>solo</sub> = 22,67**	F <sub>herb</sub> = 0,76 <sup>ns</sup>		F <sub>solo</sub> = 22181**
F interação	2,98 <sup>ns</sup>			0,25 <sup>ns</sup>			F <sub>int</sub> = 1,65 <sup>ns</sup>		
N total - mg/vaso									
Testemunha	1220,8	1204,1	1212,4	198,4	240,2	219,3	1,4	1,4	1,4
Glyphosate	1274,3	1108,7	1191,5	205,2	243,8	224,5	1,5	1,3	1,4
Glufosinato	1298,2	1172,6	1235,4	194,0	224,0	209,0	1,5	1,4	1,4
Média	1264,4 a	1161,8 b	CV=5,9%	199,2 b	235,0 a	CV=15,6%	1,4	1,4	CV=6,5%
F dos fatores	F <sub>herb</sub> = 0,95 <sup>ns</sup>		F <sub>solo</sub> = 15,54**	F <sub>herb</sub> = 0,54 <sup>ns</sup>		F <sub>solo</sub> = 8,77**	F <sub>herb</sub> = 0,23 <sup>ns</sup>		F <sub>solo</sub> = 3,73 <sup>ns</sup>
F interação	2,92 <sup>ns</sup>			F <sub>int</sub> = 0,08 <sup>ns</sup>			F <sub>int</sub> = 1,84 <sup>ns</sup>		
N proveniente da palha (Nppfm), mg/vaso									
Testemunha	60,3	55,4	57,8 a	25,9	21,1	23,5	86,1	76,5	81,3 a
Glyphosate	61,4	45,9	53,7 a	34,5	22,3	28,3	95,9	68,2	82,0 a
Glufosinato	45,8	35,3	40,6 b	30,7	26,2	28,5	78,3	61,6	69,9 b
Média	55,8 a	45,5 b	CV=11,8%	30,3 a	23,2 b	CV=26,1%	86,8 a	68,8 b	CV=11,8%
F dos fatores	F <sub>herb</sub> = 14,49**		F <sub>solo</sub> = 23,24**	F <sub>herb</sub> = 0,54 <sup>ns</sup>		F <sub>solo</sub> = 8,77**	F <sub>herb</sub> = 0,54 <sup>ns</sup>		F <sub>solo</sub> = 8,77**
F interação	2,28 <sup>ns</sup>			F <sub>int</sub> = 0,08 <sup>ns</sup>			F <sub>int</sub> = 0,08 <sup>ns</sup>		

Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey ( $p = 0,05$ ). \*\*: teste F significativo a 5 %. \*\*: teste F significativo a 1 %; ns: teste F não significativo.

O Nppfm foi menor na parte aérea e na planta inteira de milho no tratamento glufosinato em relação aos demais, evidenciando que a dessecação do milho com este herbicida resultou na menor efetividade da palha no suprimento de N à cultura do milho. O tipo de solo também alterou o Nppfm da parte aérea da cultura, sendo maior no NQ em relação ao LV (Quadro 6).

Como a decomposição de resíduos orgânicos é um processo mediado por organismos quimiorganotróficos, os quais utilizam estes resíduos como fonte de energia e nutrientes, a redução da mineralização pode estar associada à redução da biomassa microbiana do solo. De fato, verificou-se que o C da biomassa microbiana (C-BM) foi afetado pelos tratamentos com herbicidas (Quadro 4). No LV, houve redução do C-BM nos tratamentos em relação à testemunha. No NQ, somente o tratamento glufosinato impactou negativamente o C-BM.

Embora o conteúdo de N-mineral no solo proveniente da palha tenha sido maior na testemunha e o Nppfm no milho tenha diminuído no tratamento glufosinato em relação aos demais, a mineralização líquida (ML) não foi alterada pelo manejo da cultura de cobertura. O tipo de solo interferiu na ML, sendo maior no NQ em relação ao LV (Quadro 7). Como discutido anteriormente, a maior mineralização da palha no solo NQ pode ser atribuída à menor quantidade de sítios sortivos neste solo, que protegem a matéria orgânica do ataque microbiano.

A recuperação do N da palha no sistema solo-planta foi menor na testemunha em relação aos tratamentos,

o que pode ser atribuído às perdas de N do sistema (Quadro 7). É possível que, na testemunha, o N da palha tenha sido disponibilizado para a cultura mais cedo que nos tratamentos, ficando o nutriente susceptível às perdas por maior período de tempo. Os processos que resultam em perdas de N do sistema, como desnitrificação, perdas pela parte aérea, volatilização de  $\text{NH}_3$  do solo ou mesmo perda de estruturas reprodutivas, requerem, necessariamente, a mineralização. Assim, a fração perdida pode ser considerada como mineralizada.

Assim, considerando como mineralizada a fração não recuperada (Quadro 7) 53 % do N da palha de milho da testemunha foi mineralizado em 90 dias. Resultados semelhantes foram encontrados por Moraes (2001) em campo. Esse autor observou que 50 % do N da palha de milho havia sido mineralizado após 89 dias de residência no solo. Houve redução de 9 e 20 % nas taxas de mineralização do N quando a palha foi dessecada com os herbicidas glyphosate e glufosinato, respectivamente. Em campo, Bôer et al. (2007) observaram, após 120 dias de residência no solo, liberação de 36 % do N da palha de milho dessecado com glyphosate. A menor mineralização e menor C-BM, no tratamento glyphosate e glufosinato pode estar relacionada à menor efetividade da palha tratada com estes herbicidas no fornecimento de energia e nutrientes à microbiota e, ou, ao impacto negativo dessas moléculas na comunidade microbiana do solo.

Diversos trabalhos relatam, no entanto, que o herbicida glyphosate tem pequeno ou nenhum efeito negativo sobre a microbiota heterotrófica do solo

**Quadro 7. Mineralização líquida, somada à fração não recuperada e recuperação do N proveniente da palha após dessecação do milho com herbicidas**

Tratamento	Mineralização líquida (ML)			ML + fração não recuperada			Recuperação		
	NQ	LV	Média	NQ	LV	Média	NQ	LV	Média
	mg/vaso								
Testemunha	140,5	120,3	130,4	247,8	212,2	230,0 a	329,7	345,2	337,4
Glyphosate	128,7	119,7	119,0	178,4	166,0	172,2 b	343,1	337,4	340,3
Glufosinato	123,4	101,9	112,7	165,3	162,7	164,0 b	347,6	328,7	338,1
Média	130,9 a	110,9 b	CV=13,7%	197,2 a	180,3 b	CV=8,5%	340,1	337,1	CV=4,6%
F dos fatores	F <sub>herb</sub> = 2,91 <sup>ns</sup>		F <sub>solo</sub> = 10,87**	F <sub>herb</sub> = 50,08**		F <sub>solo</sub> = 8,25**	F <sub>herb</sub> = 0,09 <sup>ns</sup>		F <sub>solo</sub> = 0,29 <sup>ns</sup>
F interação	0,027 <sup>ns</sup>			2,7872 <sup>ns</sup>			3,0921 <sup>ns</sup>		
	%								
Testemunha	32,1	27,5	29,8	56,7	48,5	52,6 a	75,4	79,0	77,2 b
Glyphosate	32,8	28,2	30,5	45,4	42,3	43,8 b	87,4	85,0	86,6 a
Glufosinato	31,7	26,2	28,9	42,4	41,8	42,1 b	89,2	84,4	86,8 a
Média	32,2 a	27,3 b	CV=14,0%	48,2 a	44,2 b	CV=8,6%	84,0	83,1	CV=4,7%
F dos fatores	F <sub>herb</sub> = 0,35 <sup>ns</sup>		F <sub>solo</sub> = 10,35**	F <sub>herb</sub> = 19,99**		F <sub>solo</sub> = 7,52*	F <sub>herb</sub> = 19,63**		F <sub>solo</sub> = 0,4135 <sup>ns</sup>
F interação	0,0396 <sup>ns</sup>			2,2896 <sup>ns</sup>			2,8835 <sup>ns</sup>		

Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey ( $p = 0,05$ ). \*\*: teste F significativo a 5 %; \*: teste F significativo a 1 %. ns: teste F não significativo.



(Accinelli et al., 2002; Ratcliffe et al., 2006; Zabaloy & Gómez, 2008). A ação herbicida do glyphosate é atribuída à inibição da enzima EPSPs (Enolpiruvil shiquimato fosfato sintase), responsável por uma das etapas de síntese dos aminoácidos triptofano, fenilalanina e tirosina. Esta enzima está presente em plantas e nos microrganismos de metabolismo fotoliotrófico ou quimioliotrófico. A decomposição de resíduos orgânicos, porém, é mediada por microrganismos quimiorganotróficos, ou seja, microrganismos que necessitam de fonte de C orgânico para obtenção de energia. O herbicida glufosinato de amônio também inibe uma enzima produzida somente por organismos litotróficos (fotoliotróficos e quimioliotróficos), a glutamina sintetase, não sendo esperado impacto negativo desse herbicida sobre os microrganismos quimiorganotróficos.

Accinelli et al. (2002) observaram que a aplicação das doses recomendadas dos herbicidas glyphosate e glufosinato de amônio não interferiu na atividade e no C da biomassa microbiana dos solos. A aplicação de doses superiores às recomendadas resultou em maior atividade microbiana, o que pode estar relacionado à morte dos microrganismos litotróficos, garantindo vantagem competitiva aos heterotróficos. Gossbard (1985) avaliou o efeito do herbicida glyphosate na mineralização do N do solo e observou aumento da mineralização quando o herbicida foi aplicado no solo. Haney et al. (2002) avaliaram, em laboratório, o efeito da aplicação de atrazina e da mistura atrazina e glyphosate na mineralização do C-total e N-total no solo. Esses autores observaram maior mineralização do C e do N no solo tratado com a mistura.

A redução na mineralização da palha de milho nos tratamentos glyphosate e glufosinato deve estar relacionada ao impacto desses herbicidas na composição química da palha formada. Como observado na quadro 2, a dessecação do milho com herbicidas reduziu o conteúdo de N das plantas e alterou a distribuição do nutriente nela. Mandercheid et al. (2005) observaram aumento na emissão de NH<sub>3</sub> via foliar em espécies de plantas daninhas dessecadas com o herbicida glufosinato de amônio. Damini et al. (2008) observaram menor recuperação do N-fertilizante no sistema solo-planta após aplicação dos herbicidas glyphosate e glufosinato de amônio em *Brachiaria decumbens*. A exsudação de compostos orgânicos, que pode ser aumentada pela utilização do herbicida glyphosate (Kremer et al., 2005), pode explicar a redução no conteúdo de C na palha de milho tratada com esse herbicida (Quadro 1). A redução do C, fonte de energia, e de N pode reduzir a efetividade da palha no suprimento desses elementos à microbiota heterotrófica do solo.

Em ecossistemas como o Cerrado, o manejo químico da cultura de cobertura pode ser favorável do ponto de vista agrônomo, uma vez que aumenta o tempo do resíduo sobre o solo. No entanto, em solos com deficiência de N, a utilização de herbicidas pode

ocasionar redução de produtividade, devido à menor efetividade da palha no suprimento de N à cultura principal.

## CONCLUSÕES

1. A mineralização do N da palha de milho foi reduzida pela dessecação com os herbicidas glyphosate e glufosinato de amônio.

2. A dessecação do milho com herbicidas não alterou a produção de matéria seca e o conteúdo de N da cultura do milho.

## AGRADECIMENTOS

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), pelas bolsas concedidas aos autores, e à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP), pelo financiamento da pesquisa.

## LITERATURA CITADA

- ACCINELLI, C.; SCREPANTI, C.; DINELLI, G. & VICARI, A. Short-time effects of pure and formulated herbicides on soil microbial activity and biomass. *Inter. J. Environ. Anal. Chem.*, 82:519-527, 2002.
- ARGENTA, G.; SILVA, P.R.F.; FLECK, N.G.; BORTOLINI, C.G.; NEVES, R. & AGOSTINETTO, D. Efeitos do manejo mecânico e químico da aveia-preta no milho em sucessão e no controle do capim-papuã. *Pesq. Agropec. Bras.*, 36:851-860, 2001.
- BÔER, C.A.; ASSIS, R.L.; SILVA, G.P.; BRAZ, A.J.B.P.; BARROSO, A.L.L.; CARGNELUTTI FILHO, A. & PIRES, F.R. Ciclagem de nutrientes por plantas de cobertura na entressafra em um solo de Cerrado. *Pesq. Agropec. Bras.*, 42:1269-1276, 2007.
- BRAZ, A.J.B.P.; SILVEIRA, P.M.; KLIEMANN, H.J. & ZIMMERMANN, F.J.P. Acumulação de nutrientes em folhas de milho e dos capins braquiária e mombaça. *Pesq. Agropec. Trop.*, 34:83-87, 2004.
- BREMMER, J.M. & KEEENEY, D.R. Determination and isotope ratio analysis of different forms of nitrogen in soil. III. Exchangeable ammonium, nitrate and nitrite by steam-distillation methods. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.*, 30:577-582, 1966.
- DAMINI, V.; FRANCO, H.C.J.; MORAES, M.F.; FRANCO, A. & TRIVELIN, P.C.O. Nitrogen loss in *Brachiaria decumbens* after application of glyphosate or glufosinato-ammonium. *Sci. Agric.*, 65:402-407, 2008.

- DAMIN, V.; TRIVELIN, P.C.O.; FRANCO, H.C.J.F. & BARBOSA, T.G. Nitrogen (<sup>15</sup>N) loss in soil-plant system after herbicides application in *Penisetum glaucum*. *Plant Soil*, publicado on-line 25/07/2009. DOI 10.1007/s11104-009-0106-y.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Sistema Brasileiro de Classificação de Solos. Brasília, 2006. 306p.
- FANCELLI, A.L. Plantas alimentícias: Guia para aula, estudos e discussão. Piracicaba: ESALQ, 1986.131p.
- GROSSBARD, E. Effects of glyphosate on the microflora: With reference to the decomposition of treated vegetation and interaction with some plant pathogens. In: GROSSBARD, E. & ATKINSON, D., eds. *The herbicide glyphosate*. Londres, Butterworths, 1985. p.159-185.
- HANEY, R.L.; SENSEMAN, S.A. & HONS, F.M. Effect of Roundup Ultra on microbial activity and biomass from selected soils. *J. Environ. Qual.*, 31:730-735, 2002.
- KREMER, R.J.; MEANS, N.E. & KIM, S. Glyphosate affects soybean root exudation and rhizosphere microorganisms. *Inter. J. Environ. Anal. Chem.*, 85:1165-1174, 2005.
- LANDERS, J.N. O plantio direto na agricultura: O caso do Cerrado. In: LOPES, I.V., ed. *Gestão ambiental no Brasil: Experiência e sucesso*. Rio de Janeiro, Fundação Getúlio Vargas, 1996. p.3-33.
- LARA CABEZAS, W.A.R.; ALVES, B.J.R.; URQUIAGA, S. & SANTANA, D.G. Influência da cultura antecessora e da adubação nitrogenada na produtividade de milho em sistema plantio direto e solo preparado. *Ci. Rural*, 34:1005-1013, 2004.
- MANDERSCHIED, R.; STEFAN, S.; MATTSSON, M. & SCHJOERRING, J.K. Glufosinato treatment of weeds results in ammonia emission by plants, *Agric. Ecosyst. Environ.*, 109:129-140, 2005.
- MORAES, R.N.S. Decomposição das palhadas de sorgo e milho, mineralização de nutrientes e seus efeitos no solo e na cultura do milho em plantio direto. Lavras, Universidade Federal de Lavras, 2001. 90p. (Tese de Mestrado)
- MOREIRA, F.M.S. & SIQUEIRA, J.O. *Microbiologia e bioquímica do solo*. Lavras, Universidade Federal de Lavras, 2006. 729p.
- OLIVEIRA, F.H.T.; NOVAIS, R.F.; ALVAREZ V., V.H.; CANTARUTTI, R.B. & BARROS, N.F. Fertilidade do solo no sistema plantio direto. In: ALVAREZ V., V.H.; SCHAEFER, C.E.G.R.; BARROS, N.F.; MELLO, W.V. & COSTA, L.M., eds. *Tópicos em ciência do solo*. Viçosa, MG, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2002. v.2. p.393-486.
- PRATA, F.; LAVORENTI, A.; REGITANO, J.B. & TORNISIELO, V.L. Influência da matéria orgânica na sorção e desorção do glifosato em solos com diferentes atributos mineralógicos. *R. Bras. Ci. Solo*, 24:947-951, 2000.
- RAIJ, B.van; ANDRADE, J.C.; CANTARELLA, H. & QUAGGIO, J.A. Análise química para avaliação da fertilidade de solos tropicais. Campinas, Instituto Agrônomo de Campinas, 2001. 285p.
- RATCLIFFE, A.W.; BUSSE, M.D. & SHESTAK, C.J. Changes in microbial community structure following herbicide (glyphosate) additions to forest soils. *Appl. Soil Ecol.*, 34:114-124, 2006.
- SNAPP, S.S. & BORDEN, H. Enhanced nitrogen mineralization in mowed or glyphosate treated cover crops compared to direct incorporation. *Plant Soil*, 270:101-112, 2005.
- TRINSOUTROT, I.; RECOUS, S.; BENTZ, B.; LINÈRES, M. & CHÈNEBY NICOLARDOT, B. Biochemical quality of crop residues and carbon and nitrogen mineralization kinetics under non-limiting nitrogen conditions. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 64:918-926, 2000.
- TRIVELIN, P.C.O.; SALATI, E. & MATSUI, E. Preparo de Amostras para análise de <sup>15</sup>N por espectrometria de massas. Piracicaba, CENA, 1973. 41p. (Boletim Técnico, 2)
- VANCE, E.D.; BROOKES, P.C. & JENKINSON, D.S. An extraction method for measuring soil microbial biomass. *Soil Biol. Biochem.*, 19:703-707, 1987.
- ZABALOY, M.C. & GÓMEZ, M.A. Microbial respiration in soils of the Argentine Pampas after metsulfuron methyl, 2,4-D, and glyphosate treatments. *Comm. Soil Sci. Plant Anal.*, 39:370-385, 2008.