



## Mineralização de N após incorporação de adubos orgânicos em um Neossolo Regolítico cultivado com milho

Rômulo S. C. Menezes<sup>1</sup> & Ignácio H. Salcedo<sup>1</sup>

### RESUMO

Normalmente, o esterco disponível nas propriedades no Agreste paraibano é insuficiente para a manutenção da fertilidade do solo enquanto a adubação verde com *Gliricidia sepium* é uma alternativa para aumentar a disponibilidade de nutrientes. Objetivou-se, no presente trabalho, comparar a dinâmica de mineralização de N após a incorporação de esterco bovino ou de ramas de gliricídia a um Neossolo Regolítico em condições de campo e laboratório. O experimento de campo constou de três tratamentos: incorporação de 20 t ha<sup>-1</sup> de esterco bovino, de 15 t ha<sup>-1</sup> de ramas frescas de gliricídia e testemunha sem adições. Logo após as adições semeou-se milho e se acompanhou o N mineralizado in situ no campo, durante 120 dias, na camada de 0-15 cm e o N absorvido pelo milho. A mineralização de N no laboratório foi acompanhada durante 56 dias em amostras de solo das camadas de 0-15, 15-30 e 30-60 cm; as de 0-15 cm receberam esterco ou gliricídia em quantidades equivalentes às de campo. No campo foram mineralizados 74 kg ha<sup>-1</sup> de N até a colheita (120 dias), sem diferenças significativas entre tratamentos. No laboratório, a gliricídia levou a uma rápida mineralização líquida de N enquanto o esterco bovino provocou imobilização nos primeiros 14 dias.

**Palavras-chave:** esterco bovino, *Gliricidia sepium*, incubação de solo, região semi-árida, agreste paraibano

## Nitrogen mineralization after application of organic fertilizers to an Entisol cultivated with maize

### ABSTRACT

Farms within the Agreste region of Paraíba often do not have sufficient animal manure to maintain the fertility of the soil and green manures, such as prunings of *Gliricidia sepium*, are an alternative to increase nutrient supply. The objectives of this work were to compare N mineralization dynamics following additions of cattle manure or *Gliricidia sepium* prunings to a Entisol, under field and laboratory conditions. In the field experiment, three treatments were established: addition of 20 t ha<sup>-1</sup> of cattle manure; addition of 15 t ha<sup>-1</sup> of green branches of *Gliricidia*, or a control without any addition. Maize was sown immediately after the additions. Soil N mineralization in the field was measured in situ during 120 days, in the 0-15 cm layer. Nitrogen uptake by corn was also recorded. Soil N mineralized in the laboratory was followed during 56 days in samples from the 0-15, 15-30 e 30-60 cm layers. Samples from the 0-15 cm layer received manure and *Gliricidia* at rates equivalent to those in the field. An average of 74 kg ha<sup>-1</sup> of N were mineralized in the field until harvest (120 days). In the laboratory, *Gliricidia* additions hastened net N mineralization while cattle manure induced net N immobilization during 14 days.

**Key words:** cattle manure, *Gliricidia sepium*, soil incubation, semi-arid region, Agreste of Paraíba

## INTRODUÇÃO

A adubação orgânica com esterco animal (Lupwayi & Haque, 1999; Whalen et al., 2001; van Kessel & Reeves, 2002) ou a adubação verde, que incorpora ao solo resíduos de leguminosas (Palm & Sanchez, 1991; Handayanto et al., 1997; Cobo et al., 2002), são as opções mais viáveis para manter os níveis de fertilidade em sistemas de produção de agricultura familiar (Sabourin et al., 2000). Uma vez que nesses sistemas os fertilizantes minerais são pouco utilizados, a produtividade é fortemente dependente da ciclagem dos reservatórios orgânicos de nutrientes do solo (Tiessen et al., 1994).

A quantidade de esterco gerada e acumulada em pequenas propriedades agrícolas familiares é, na maioria das vezes, insuficiente para repor os nutrientes exportados com a colheita, erosão, lixiviação e outros processos (Menezes & Sampaio, 2002). Neste sentido, a prática da adubação verde com leguminosas vem sendo divulgada como alternativa para reduzir os custos com a compra de esterco e aumentar a eficiência da ciclagem de nutrientes nesses sistemas (Menezes et al., 2002).

Estudos em outras regiões do mundo demonstraram que a incorporação de ramas de gliricídia [*Gliricidia sepium* (Jacq.) Walp.], contribuiu para aumentar a produtividade de culturas como milho e batata, quando comparada com a incorporação de outras leguminosas usadas como adubo verde (Powell et al., 1999; Mafongoya et al., 2000). A biomassa de gliricídia tem baixos teores de compostos secundários e apresenta altas taxas de mineralização de N (Palm & Sanchez, 1991; Jackson et al., 1996; Mafongoya et al., 2000). Devido à sua capacidade de resistência à seca, a gliricídia tem sido utilizada em cercas vivas ou cultivada em sistemas de aléias para ser usada como forragem pelos produtores do agreste paraibano; entretanto, na região semi-árida nordestina, existem poucas informações disponíveis que subsidiem o uso eficiente de adubos verdes ou de esterco em sistemas de agricultura familiar.

O manejo eficiente de esterco e de resíduos orgânicos para a adubação de cultivos agrícolas requer o conhecimento da dinâmica de mineralização de nutrientes, visando otimizar a sincronização da disponibilidade de nutrientes no solo com a demanda pelas culturas, evitando a imobilização ou a rápida mineralização de nutrientes durante os períodos de alta ou de baixa demanda, respectivamente (Myers et al., 1994; Handayanto et al., 1997).

Objetivou-se, através deste trabalho, avaliar a dinâmica da mineralização de N do solo, em condições de campo e de laboratório, e quantificar o crescimento e a absorção de N

pelo milho após a incorporação de esterco bovino ou de ramas de gliricídia, em condições de campo, em um Neossolo Regolítico do agreste paraibano.

## MATERIAL E MÉTODOS

### Características da área de estudo

O ensaio de campo foi conduzido entre março e julho de 2000, em uma pequena propriedade no município de Esperança, PB, localizada em torno de 7° 19' de latitude sul, 35° 51' de longitude oeste e a uma altitude de 635 m. A pluviosidade média anual da região é de 800 mm, com regime de chuvas unimodal, estação úmida de março a agosto e estação seca de setembro a fevereiro (Sabourin et al., 2000). Os totais mensais de pluviosidade registrados entre fevereiro e junho de 2000, foram de: 191, 20, 106, 23 e 167 mm, respectivamente.

O solo na área experimental está classificado como Neossolo Regolítico (Regossolo), com textura areia franca e declividade em torno de 5%. A área foi cultivada previamente, com milho e feijão, nas décadas de 70 e 80, e com batata e feijão na década de 90, sem adição de fertilizantes minerais, porém, nos anos em que foi cultivada a batata, foram aplicadas cerca de 20 t ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup> de esterco bovino.

Antes da instalação do ensaio foram coletadas amostras de solo nas camadas de 0-15, 15-30 e 30-60 cm, em cada uma das parcelas. As amostras foram levadas ao laboratório, secadas ao ar, passadas em peneira de 2 mm e analisadas quanto às características químicas e físicas. O pH foi determinado em água (1:2,5), o P disponível o foi por colorimetria e o K e o Na por fotometria de chama após extração por Mehlich-1; determinaram-se, também, densidade, porosidade, capacidade de campo e ponto de murcha permanente do solo, segundo a metodologia descrita em EMBRAPA (1997). Em subamostras, moídas para passar em peneira de 0,2 mm, determinaram-se o N total, por digestão Kjeldahl (Bremner & Mulvaney, 1982), e o P total por colorimetria após digestão com uma mistura de ácido sulfúrico e peróxido de hidrogênio (Thomas et al., 1967). Os resultados foram sumarizados nas Tabelas 1 e 2.

### Delineamento experimental e tratamentos

Adotou-se o delineamento em blocos casualizados, com três tratamentos e quatro repetições, totalizando 12 parcelas experimentais de 30 m<sup>2</sup> (6 x 5 m). Os tratamentos avaliados constaram de incorporação de 20 t ha<sup>-1</sup> de esterco bovino, incorporação de 15 t ha<sup>-1</sup> de ramas frescas de gliricídia (*Gliricidia sepium*) e testemunha, sem nenhum tipo

**Tabela 1.** Características químicas das amostras de três profundidades de um Neossolo Regolítico, em Esperança, PB

Profundidade cm	N total	P total (mg kg <sup>-1</sup> )	P extr. <sup>(1)</sup>	pH H <sub>2</sub> O	Ca <sup>+2</sup>	Mg <sup>+2</sup> (cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup> )	K <sup>+</sup>	Na <sup>+</sup>
0 - 15	490 (12,9)	205 (18,6)	87,7 (10,2)	7,9 (0,086)	2,64 (0,15)	1,03 (0,035)	0,41 (0,078)	0,11 (0,021)
15 - 30	288 (39,0)	144 (13,5)	46,9 (7,74)	7,8 (0,126)	2,01 (0,19)	0,77 (0,038)	0,35 (0,043)	0,13 (0,019)
30 - 60	140 (52,9)	83 (4,88)	10,5 (4,07)	7,0 (0,145)	1,16 (0,14)	0,720 (0,13)	0,34 (0,049)	0,17 (0,025)

<sup>(1)</sup> Mehlich-1; <sup>(2)</sup> Valores entre parênteses representam o erro padrão das médias (n = 12)

**Tabela 2.** Características físicas das amostras de três profundidades de um Neossolo Regolítico, em Esperança, PB

Profundidade cm	Areia	Silte	Argila	d.s. <sup>(1)</sup>	CC <sup>(2)</sup>	PMP <sup>(3)</sup>
	(g kg <sup>-1</sup> )			(g cm <sup>-3</sup> )	(g kg <sup>-1</sup> )	
0 - 15	785 (12,9)	174 (2,39)	41 (14,8)	1,61	133 (2,04)	27 (0,708)
15 - 30	796 (13,5)	162 (6,95)	42 (9,33)	1,59	119 (3,57)	23 (1,08)
30 - 60	817 (9,04)	154 (6,21)	29 (7,82)	1,55	117 (5,72)	22 (1,65)

<sup>(1)</sup> Densidade do solo; <sup>(2)</sup> Capacidade de campo; <sup>(3)</sup> Ponto de murcha permanente; <sup>(4)</sup> Valores entre parênteses representam o erro padrão das médias (n = 12)

de adubação. As quantidades de esterco e glicírdia aplicadas no presente estudo foram iguais às quantidades usualmente empregadas pelos agricultores da região. A análise química do esterco bovino utilizado no ensaio revelou, com base na matéria seca, 177; 12; 3,1 e 27 g kg<sup>-1</sup> de C, N, P e K, respectivamente, enquanto os teores dos respectivos nutrientes na massa seca da glicírdia foram 396; 34; 2,1 e 21 g kg<sup>-1</sup> de C, N, P e K, respectivamente. Os teores de matéria seca do esterco bovino e da glicírdia utilizados foram de 73 e 23%, respectivamente. A incorporação das quantidades de esterco bovino e glicírdia foi feita com enxada, até 15 cm de profundidade. Para facilitar a distribuição mais homogênea no solo, as ramas de glicírdia foram cortadas em pedaços de 10-20 cm; em seguida, o milho foi semeado no espaçamento de 1,0 x 0,2 m deixando-se, após desbaste aos quinze dias após o plantio (DAP), uma planta por cova. Aos 60 DAP, quantificou-se o número total de plantas e se coletaram 10 plantas ao acaso, em cada unidade experimental para determinação do peso de matéria fresca. Sub-amostras foram pesadas e secadas em estufa a aproximadamente 50 °C, pelo tempo de 72 h e estimada a biomassa aérea seca total das plantas, aos 60 DAP. Na colheita se determinou, aos 120 DAP, o número total de plantas nas duas fileiras centrais das parcelas e se coletaram 15 plantas ao acaso, em cada uma delas. As plantas foram divididas em colmo, folhas, sabugo, palha da espiga e grãos e cada um desses materiais foi secado em estufa, pesado, moído e analisado para determinação do conteúdo de N na matéria seca. A biomassa e o estoque total de N aos 120 DAP foram calculados com base no número total de plantas da parcela. Em razão da elevada variabilidade nos teores de umidade das amostras da palha da espiga e dos grãos utilizou-se, para o cálculo da matéria seca dessas partes da planta, o teor de umidade médio das 12 amostras.

Da semeadura à colheita, realizaram-se quatro incubações consecutivas de solo *in situ*, utilizando-se tubos de alumínio com 15 cm de comprimento e 5 cm de diâmetro, abertos no topo e com uma bolsa de resina trocadora de íons no fundo, conforme metodologia descrita em Kolberg et al. (1997). A metodologia consistiu em amostrar o solo das parcelas na profundidade de 0-15 cm, no início de cada um dos quatro períodos de incubação (0, 30, 60 e 90 DAP), para a determinação do conteúdo de N-NH<sub>4</sub><sup>+</sup> e N-NO<sub>3</sub><sup>-</sup>. Na área das duas fileiras centrais de cada parcela foram colocados quatro tubos de alumínio para cada período de incubação. Os tubos foram inseridos no solo e retirados em seguida com auxílio de um alicate; feito isso, retirou-se uma camada de 1 cm de solo do parte inferior do tubo utilizando-se uma espátula e, nesse espaço, colocou-se um saquinho de malha elástica (98% de poliamida e 2% de elastano) contendo

do aproximadamente 30 g de uma mistura de resinas trocadoras de cátions e de ânions, o qual ficou retido dentro do tubo com o auxílio de fita adesiva. Os tubos foram então recolocados no solo e coletados após 30 dias de incubação e depois mantidos refrigerados a 10 °C até o processamento, onde uma sub-amostra de 6 g de solo úmido foi extraída com KCl 1 mol L<sup>-1</sup>, enquanto em outra sub-amostra se determinou a umidade do solo. O nitrogênio nos sacos de resina de cada tubo foi extraído com cinco agitações sucessivas de 15 min, com 25 mL de KCl 1 mol L<sup>-1</sup> em cada agitação. A mineralização líquida do solo em cada tubo e para cada período, foi calculada como (N mineral 30 d – N mineral inicial) + N mineral na resina. A mineralização de N do solo de cada parcela e em cada período de incubação foi igual à média da mineralização observada nos quatro tubos de cada parcela. As quantidades de N-NH<sub>4</sub><sup>+</sup> e N-NO<sub>3</sub><sup>-</sup> nos extratos de KCl 1 mol L<sup>-1</sup> das amostras de solo e de N-NH<sub>4</sub><sup>+</sup> nos extratos de material vegetal, foram determinadas por colorimetria em um autoanalisador.

#### Incubação de solo em laboratório

Para avaliar a dinâmica da mineralização de N ao longo de 8 semanas após a incorporação do esterco bovino ou da glicírdia, utilizaram-se amostras coletadas nas parcelas experimentais do ensaio de campo nas camadas de 0-15, 15-30 e 30-60 cm. Sub-amostras de 100 g dessas camadas foram colocadas em recipientes de plástico de 100 mL e, nas sub-amostras da camada de 0-15 cm, adicionaram-se doses equivalentes a 3,5 t ha<sup>-1</sup> de matéria seca de glicírdia ou 15 t ha<sup>-1</sup> de matéria seca de esterco. O solo foi umedecido até 40% do volume de poros e a umidade foi mantida constante ao longo do período de incubação. O N mineral foi determinado depois períodos de 1, 2, 4, 6 e 8 semanas após o início das incubações.

#### Análise estatística

Para cada data de coleta os resultados foram submetidos a análise de variância (P < 0,05) e as médias comparadas pelo teste de Tukey (P < 0,05).

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

#### Mineralização de N do solo no campo e em laboratório

Ocorreu mineralização líquida de N nos quatro períodos de incubação no campo, nos três tratamentos (Tabela 3). No primeiro mês, a maior parte do N mineral foi recuperada na resina. Nesse mês, a aparente imobilização líquida de N no solo (valores negativos), foi causada pela lixiviação do N mineral até a resina, cuja lixiviação fez com que a concentração

**Tabela 3.** Nitrato e amônio extraídos da resina e do solo e taxa de mineralização líquida de N na camada de 0-15 cm em um Neossolo Regolítico após a incorporação de esterco bovino ou ramas de gliricídia

Tratamento	N extraído da resina		N extraído do solo		Mineralização líquida de N (resina + solo)
	N-NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	N-NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	N-NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> (kg ha <sup>-1</sup> )	N-NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	
			0 a 30 dias		
Gliricídia	31,7 a <sup>(1)</sup>	1,2 a	-8,8 a	-4,8 a	19,3 a
Esterco	20,3 a	0,6 a	-9,5 a	-4,0 a	7,4 a
Testemunha	28,3 a	0,7 a	-10,7 a	-4,8 a	13,5 a
			30 a 60 dias		
Gliricídia	6,0 a	0,7 a	9,0 a	2,6 a	18,3 a
Esterco	9,6 a	0,4 a	15,2 a	1,0 a	26,2 a
Testemunha	8,0 a	0,5 a	13,4 a	-0,2 a	21,7 a
			60 a 90 dias		
Gliricídia	5,7 a	1,0 a	8,1 a	1,6 a	16,4 a
Esterco	5,1 a	1,2 a	6,4 a	0,7 a	13,4 ab
Testemunha	4,9 a	1,0 a	4,4 a	0,9 a	11,2 b
			90 a 120 dias		
Gliricídia	17,0 a	0,3 a	-0,5 a	5,2 a	22,0 a
Esterco	21,5 a	0,3 a	-0,2 a	4,9 a	26,5 a
Testemunha	19,7 a	0,3 a	1,1 a	4,6 a	25,7 a
			Período Total (0 a 120 dias)		
Gliricídia	60,3	3,1	7,9	4,6	75,9
Esterco	56,4	2,4	12,0	2,7	73,5
Testemunha	60,8	2,5	8,2	0,5	72,0

<sup>(1)</sup> Médias seguidas da mesma letra minúscula, na coluna, não diferem entre si pelo teste Tukey (5%)

de N mineral extraído do solo após 30 dias de incubação, fosse menor que o N no início do período, gerando valores negativos de N mineral.

Diferenças de mineralização líquida total de N foram constatadas apenas no período de 60 a 90 dias, quando o tratamento com gliricídia mineralizou mais N que a testemunha. Esta fonte também foi superior no período de 0 a 30 dias, embora sem atingir o nível de significância. A ausência de significância foi causada principalmente pela variabilidade nas concentrações de NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N recuperado na resina.

A mineralização líquida mensal variou pouco ao longo do tempo no tratamento com gliricídia, mas oscilou fortemente na testemunha e no tratamento com adição de esterco. Os menores valores mineralizados nesses dois últimos tratamentos coincidiram com os períodos (0-30 e 60-90 dias) de menor pluviosidade (apenas 20 e 23 mm, respectivamente), enquanto as maiores mineralizações líquidas ocorreram nos meses com maior pluviosidade. A dependência da mineralização de N com a umidade do solo tem sido documentada (Whalen et al., 2001) particularmente no caso do esterco. Essa dependência coincide com as observações dos agricultores locais, os quais afirmam que, em anos de baixa precipitação pluviométrica, a aplicação de esterco bovino prejudica o crescimento das plantas, deixando-as amareladas em comparação com plantas que não receberam esterco, enquanto nos anos de precipitação mais abundante as plantas adubadas com esterco apresentam melhor desenvolvimento que aquelas não adubadas. É possível que a ausência de efeito da pluviosidade na mineralização de N nas parcelas com gliricídia, tenha ocorrido pela maior labilidade (ou qualidade) deste material em relação ao esterco. Esta qualidade é definida, além da relação C/N, pelas quantidades de lignina

e polifenóis em relação ao teor de N do material (Handayanto et al., 1997).

Considerando-se todo o período experimental (120 dias), vê-se que a mineralização líquida de N dos três tratamentos foi muito semelhante, sendo em média de 73,8 kg ha<sup>-1</sup> de N na camada de 0-15 cm (Tabela 3). Lupwayi & Haque (1999) também não encontraram diferenças em N mineralizado entre o controle, sem adições, e parcelas que receberam aplicação de esterco ou ramas de leucena em experimento com milho.

Noventa e três por cento do N mineralizado se encontram na forma de N-NO<sub>3</sub><sup>-</sup> e os 7% restantes na forma de N-NH<sub>4</sub><sup>+</sup>. A textura arenosa do solo favoreceu a lixiviação do N do solo dentro dos tubos. Das quantidades totais de N-NO<sub>3</sub><sup>-</sup> e N-NH<sub>4</sub><sup>+</sup> mineralizados, 86 e 55% foram lixiviados até a resina, respectivamente (Tabela 3).

O estoque de N total na camada de 0-15 cm, calculado a partir da concentração de N no solo e da densidade aparente dessa camada (Tabelas 1 e 2), foi de 1183 kg ha<sup>-1</sup> de N; portanto, durante os 120 dias de incubação in situ, foram mineralizados 6,3% do N total do solo dessa camada. A referida percentagem é bastante significativa, ainda mais por se tratar de um solo arenoso, com baixo teor de matéria orgânica, porém utilizando a mesma metodologia, Menezes & Salcedo (2002) determinaram uma mineralização de N em um Planossolo do semi-árido de Pernambuco, equivalente a 1,6% do N total. Esta proporção foi medida após um período de incubação de 49 dias e em condições de baixa pluviosidade (36 mm no período); assim, fazendo-se as compensações por conta do período de incubação mais curto e da baixa pluviosidade, a mineralização líquida no Planossolo seria comparável àquela observada no presente trabalho. É interessante destacar que a mineralização desse Planossolo

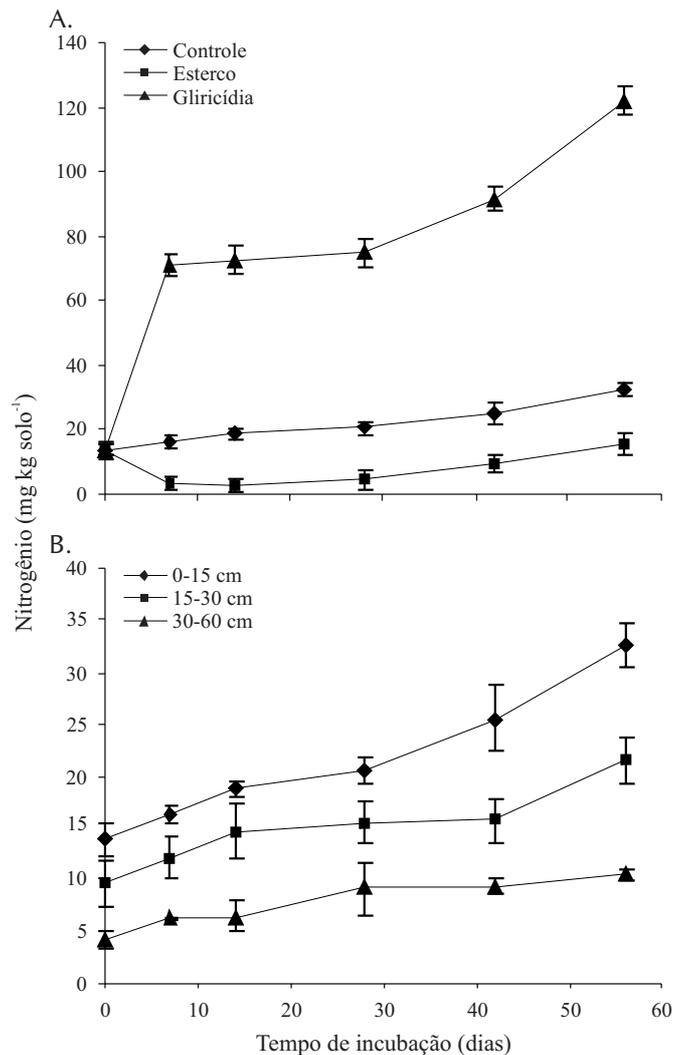
(Menezes & Salcedo, 2002) foi maior que em um Luvisolo (1% do N total) de textura mais fina. Recentemente, foi constatado, em solos da região, que amostras de textura mais arenosa continham maior proporção de C oxidável por permanganato de potássio  $16,5 \text{ mmol L}^{-1}$  que os de textura mais argilosa (Galvão et al., 2005) e, ainda, que a proporção das frações N-aminoaçúcar e de C oxidável, consideradas lábeis, oscilaram em torno de 7% do C e N totais, respectivamente (Fraga, 2002; Galvão et al., 2005), valor este bastante próximo do N mineralizado na camada de 0-15 cm.

A elevada capacidade de mineralização do N do solo testemunha, associada à variabilidade inerente às medidas de mineralização in situ e à variabilidade causada pelas estagens (0-30 e 60-90 dias) resultou na ausência de diferenças significativas na quantidade líquida de N total mineralizado entre os tratamentos. É possível que essa elevada capacidade de mineralização tenha sido decorrente das aplicações anuais de  $20 \text{ t ha}^{-1}$  de esterco bovino que toda a área recebeu durante a década de 90. Esta hipótese é reforçada pelos teores de P extraível (Mehlich-1) do solo do presente estudo (Tabela 1), que, na região sem aplicações de esterco, oscila entre  $1\text{-}5 \text{ mg kg}^{-1}$  de solo (Fraga & Salcedo, 2004).

Na incubação em laboratório sob condições controladas de umidade e temperatura, a incorporação de esterco bovino ou glicircídia finamente moídos, às amostras da camada de 0-15 cm, afetou significativamente a mineralização líquida de N ao longo dos 56 dias de incubação (Figura 1A).

As ramas de glicircídia levaram a uma rápida mineralização líquida de N que atingiu  $108 \text{ mg kg}^{-1}$  de solo, o que seria equivalente a cerca de  $260 \text{ kg ha}^{-1}$  de N, com base na densidade aparente da camada de 0-15 cm (Tabela 1). Uma vez que a biomassa de glicircídia adicionada continha o equivalente a apenas  $117 \text{ kg ha}^{-1}$  de N, observa-se que a adição dessa biomassa, altamente lábil, estimulou a mineralização do N nativo do solo. A rápida mineralização de N após a incorporação de ramas de glicircídia ao solo em experimentos de laboratório, foi também observada por Cadisch et al. (1998) e por Mafongoya et al. (2000).

No tratamento ao qual se incorporou esterco de curral, observou-se imobilização líquida de N igual a  $10,7 \text{ mg kg}^{-1}$  de solo durante as duas semanas iniciais, o que seria equivalente a  $26 \text{ kg ha}^{-1}$  de N (Figura 1A). Notou-se, nas datas seguintes, pequena mineralização líquida em relação à data anterior mas somente após os 56 dias de incubação é que foi observada mineralização líquida em relação à quantidade de N inicial do solo, limitada a  $1,6 \text{ mg kg}^{-1}$  de solo ou  $4 \text{ kg ha}^{-1}$  de N. É interessante observar que o N adicionado ao solo na forma de esterco, uma vez que começou a ser decomposto e entrou no estoque de N orgânico do solo, passou a ser mineralizado em uma taxa semelhante à do N orgânico nativo do solo (Figura 1A). Esta dinâmica de mineralização de N a partir de esterco de curral foi também constatada por outros autores (Delve et al., 2001). Em um estudo abrangente com 107 amostras de esterco incubadas com solo durante 57 dias, a mineralização líquida de N variou entre -29 e 54% do N adicionado, com uma média de 12,8% (van Kessel & Reeves, 2002). Os autores não conseguiram encontrar atributos na composição das amostras que permitissem prever o com-



**Figura 1.** Concentração de nitrogênio inorgânico ( $\text{N-NH}_4^+ + \text{N-NO}_3^-$ ) em um Neossolo Regolítico ao longo de 56 dias de incubação em laboratório (A) na camada superficial (0-15 cm) após a incorporação de ramas de glicircídia ( $15 \text{ t ha}^{-1}$ ) ou esterco bovino ( $20 \text{ t ha}^{-1}$ ) e (B) nas camadas de 0-15, 15-30, 30-45 cm sem incorporação de adubos orgânicos. Barras verticais representam o erro padrão da média

portamento da mineralização de N das mesmas.

O solo da testemunha mineralizou N lenta e continuamente e, ao final do período de incubação, apresentou uma mineralização líquida de N igual a  $18,8$ ,  $12,0$  e  $6,3 \text{ mg kg}^{-1}$  de solo nas profundidades de 0-15, 15-30 e 30-60 cm, respectivamente, o que seria equivalente a  $45$ ,  $29$  e  $30 \text{ kg ha}^{-1}$  de N (Figura 1B).

### Produção de matéria seca, produtividade de grãos e absorção de N pelo milho

A incorporação de esterco ou glicircídia não aumentou a produção de biomassa da parte aérea e grãos, os teores de N nem a quantidade total de N acumulado na biomassa da parte aérea das plantas de milho (Tabela 4).

A produtividade dos três tratamentos foi elevada em relação à média regional, que é de  $700 \text{ kg ha}^{-1}$  (Menezes & Sampaio, 2000). A elevada produtividade da testemunha não era esperada em solo de textura areia-franca, com

**Tabela 4.** Acumulação de massa seca e nitrogênio na parte aérea do milho cultivado em um Neossolo Regolítico no município de Esperança, PB, após adubação orgânica com esterco bovino e gliricídia

Tratamento	60 DAP <sup>(1)</sup>			Colheita (120 DAP)			
	Plantas Inteiras	Colmo	Folha	Sabugo	Palha da espiga	Grão	Total ou média
Biomassa aérea do milho (kg ha <sup>-1</sup> )							
Gliricídia	4437 a	3149 a	2244 a	1159 a	2704 a	4600 a	13858 a
Esterco	3637 a	3164 a	2316 a	976 a	2063 a	4022 a	12541 a
Testemunha	4072 a	2840 a	2279 a	1021 a	2104 a	5388 a	13633 a
Teores de N (g kg <sup>-1</sup> )							
Gliricídia	17,4 a	5,91 a	22,7 a	5,45 a	4,64 a <sup>(2)</sup>	18,7 a	12,3 a <sup>(3)</sup>
Esterco	15,1 a	5,46 a	24,4 a	5,13 a	4,48 a	17,9 a	12,8 a
Testemunha	16,8 a	5,65 a	24,6 a	3,33 a	3,12 b	17,1 a	12,8 a
Acumulação de N na biomassa aérea do milho (kg ha <sup>-1</sup> )							
Gliricídia	77 a	19 a	52 a	5,4 a	12,3 a	83 ab	172 a
Esterco	56 a	19 a	57 a	4,7 a	9,1 a	72 b	161 a
Testemunha	69 a	17 a	56 a	4,4 a	6,8 a	92 a	176 a

<sup>(1)</sup> DAP = dias após o plantio; <sup>(2)</sup> Médias seguidas da mesma letra, na coluna, não diferem entre si pelo teste Tukey (5%); <sup>(3)</sup> Média geral das distintas partes da planta

490 mg kg<sup>-1</sup> de N total. Este conteúdo de N total é inferior ao conteúdo médio de 615 mg kg<sup>-1</sup> determinado para 20 solos da mesma região, classe textural e declividade (Galvão et al., 2005); portanto, conclui-se que o histórico de aplicações de esterco durante 8 a 10 anos na década de 90, somente evidenciado pelo aumento do teor de P extraível, determinou elevada disponibilidade residual de N, que precisa ser melhor detectada e avaliada. Áreas com históricos de 5 a 25 anos de aplicações de esterco mostraram aumentos de N potencialmente mineralizável, que ficaram ainda maiores com o incremento das doses aplicadas (Whalen et al., 2001).

Apesar de não se ter observado diferenças significativas entre tratamentos, ressalta-se que tanto na amostragem após 60 dias de cultivo do milho quanto por ocasião da colheita, as plantas no tratamento com esterco apresentaram menor crescimento e menor absorção de N em relação aos outros dois tratamentos (Tabela 3). Aos 60 dias, a biomassa no tratamento com esterco foi 18% inferior em relação à gliricídia, diminuindo esta diferença para 9,5% por ocasião da colheita compatível, portanto, com a dinâmica da mineralização de N observada no laboratório (Figura 1A).

Na média dos três tratamentos o milho produziu 4.670 kg ha<sup>-1</sup> de grãos e 8.674 kg ha<sup>-1</sup> de palha e acumulou 169 kg ha<sup>-1</sup> de N na biomassa aérea somando-se os valores relativos à palhada e aos grãos (Tabelas 3 e 4). Estimando-se uma quantidade de N nas raízes do milho em torno de 20% da quantidade na parte aérea (Crozier & King, 1993), a quantidade total de N acumulado pelo milho poderia atingir aproximadamente 200 kg ha<sup>-1</sup>; sendo assim, a mineralização acumulada de 74 kg N ha<sup>-1</sup> em média na camada de 0 a 15 cm (Tabela 2) durante o ciclo de cultivo, foi suficiente para prover apenas 44% do N quantificado na biomassa aérea do milho ou 37% do N estimado na biomassa total (biomassa aérea + raízes); portanto, o restante do N na biomassa do milho teve que ser fornecido pela mineralização de N nas camadas mais profundas do solo.

Neste sentido se notou, na incubação em laboratório, que a soma do N mineralizado nas camadas de 15-30 e 30-60 cm foi equivalente a 135% do N mineralizado na camada de

0-15 cm. Embora não seja possível afirmar que a mesma relação de N mineralizado entre camadas tenha ocorrido no campo, devido a diferenças de umidade e temperatura entre as distintas camadas de solo no campo, ela ilustra o potencial de mineralização de N desse solo, em profundidade.

## CONCLUSÕES

1. No solo incubado em laboratório, a gliricídia e o esterco apresentaram efeitos opostos na disponibilidade do N do solo nas primeiras semanas após sua incorporação; a gliricídia provocou mineralização líquida e o esterco imobilização líquida de N.

2. Em condições de campo não se observou efeito das adições de gliricídia e esterco na mineralização de N nem no crescimento e absorção de N pelo milho.

## AGRADECIMENTOS

O trabalho foi financiado com recursos do Inter-American Institute for Global Change Research (CRN 001) e do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq). Os autores agradecem ao Sr. Joaquim Clementino, pela concessão da área para o experimento em sua propriedade; a Antônio Clementino, Eduardo Medeiros e Tadeu Silva, pelo auxílio nas atividades de campo, e a Claudenice E. Santos, Clarindo C. Pontes, Gilberto E. do Nascimento e Pedro A. da Silva, pelo auxílio nas atividades de laboratório.

## LITERATURA CITADA

Bremner, J. M.; Mulvaney, C. S. Nitrogen-Total. In: Page, A. L.; Miller, R. H.; Keeney, D. R., (ed.) Methods of Soil Analysis, Part 2: Chemical and Microbiological Properties, Agronomy Monograph no. 9, (2<sup>nd</sup> Edition), ASA-SSSA, Madison, USA. 1982. cap. 31, p.595-624.

- Cadisch, G.; Handayanto, E.; Malama, C.; Seyni, F.; Giller, K. E. Nitrogen recovery from legume prunings and priming effects are governed by the residue quality. *Plant and Soil*, Amsterdam, v.205, p.125-134, 1998.
- Cobo, J. G.; Barrios, E.; Kass, D. C. L.; Thomas, R. Nitrogen mineralization and crop uptake from surface-applied leaves of green manure species on a tropical volcanic-ash soil. *Biology and Fertility of Soils*, Berlin Heidelberg, v.36, p.87-92, 2002.
- Crozier, C. R.; King, L. D. Corn root dry-matter and nitrogen distribution as determined by sampling multiple soil cores around individual plants. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, Philadelphia, v.24, n.11-12, p.1127-1138, 1993.
- Delve, R. J.; Cadisch, G.; Tanner, J. C.; Thorpe, W.; Thorne, P. J.; Giller, K. E. Implications of livestock feeding management on soil fertility in the smallholder farming systems of sub-Saharan Africa. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, Amsterdam, v.84, p.227-243, 2001.
- EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária – Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Manual de métodos de análise de solos. 2.ed. Rio de Janeiro: Embrapa CNPS, 1997, 212p. Documentos 1
- Fraga, V. S. Mudanças na matéria orgânica (C, N e P) de solos sob agricultura de subsistência. Recife: UFPE, 2002. 76p. Tese Doutorado
- Fraga, V. S.; Salcedo, I. H. Declines of organic nutrient pools in tropical semi-arid soil under subsistence farming. *Soil Science Society of America Journal*, Madison, v.68 n.1, p.215-224, 2004.
- Galvão, S. R. S.; Salcedo, I. H.; Santos, A. C. Frações de carbono e nitrogênio em função da textura, do relevo e do uso do solo na microbacia do Agreste em Vaca Brava (PB). *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, v.29, p.955-962, 2005.
- Handayanto, E.; Giller, K. E.; Cadisch, G. Regulating N release from legume tree prunings by mixing residues of different quality. *Soil Biology and Biochemistry*, Amsterdam, v.29, p.1417-1426, 1997.
- Jackson, F. S.; Barry, T. N.; Lascano, C.; Palmer, B. The extractable and bound condensed tannin content of leaves from tropical tree, shrub and forage legumes. *Journal of Science, Food and Agriculture*, New York, v.71, n.1, p.103-110, 1996.
- Kolberg, R. L.; Rouppet, B.; Westfall, D. G.; Peterson, G. A. Evaluation of an in-situ net soil nitrogen mineralization method in dryland agroecosystems. *Soil Science Society of America Journal*, Madison, v.61, n.2, p.504-508, 1997.
- Lupwayi, N. Z.; Haque, I. Leucaena hedgerow intercropping and cattle manure application in the Ethiopian highlands I. Decomposition and nutrient release. *Biology and Fertility of Soils*, Berlin Heidelberg, v.28, p.182-195, 1999.
- Mafongoya, P. L.; Barak, P.; Reed, J. D. Carbon, nitrogen and phosphorus mineralization of tree leaves and manure. *Biology and Fertility of Soils*, Berlin Heidelberg, v.30, p.298-305, 2000.
- Menezes, R. S. C.; Salcedo, I. H. Microclimate and nutrient dynamics in a silvopastoral system in semi-arid northeastern Brazil. *Agroforestry Systems*, Amsterdam, v.56, p.27-38, 2002.
- Menezes, R. S. C.; Sampaio, E. V. S. B. Agricultura sustentável no semi-árido nordestino. In: Oliveira, T. S.; Romero, R. E.; Assis Jr., R. N.; Silva, J. R. C. S. (ed.). *Agricultura, sustentabilidade e o Semi-árido*. Fortaleza: SBCS, DCS-UFC, 2000, cap.2, p.20-46.
- Menezes, R. S. C.; Sampaio, E. V. S. B. Simulação dos fluxos e balanços de fósforo em uma unidade de produção agrícola familiar no Semi-árido paraibano. In: Silveira, L. M.; Petersen, P.; Sabourin, E. (ed.). *Agricultura familiar e agroecologia no Semi-árido: avanços a partir do Agreste da Paraíba*. Rio de Janeiro: AS-PTA, 2002, cap. 8. p.249-260.
- Menezes, R. S. C.; Sampaio, E. V. S. B.; Silveira, L. M.; Tiessen, H.; Salcedo, I. H. Produção de batatinha com incorporação de esterco e/ou crotalária no Agreste paraibano. In: Silveira, L. M.; Petersen, P.; Sabourin, E., (org.) *Agroecologia e agricultura familiar no Semi-árido: Avanços a partir do Agreste da Paraíba*. Rio de Janeiro: AS-PTA, 2002. cap. 9. p.261-273.
- Myers, R. J. K.; Palm, C. A.; Cuevas, E.; Gunatilleke, I. U. N.; Brossard, M. The synchronization of nutrient mineralization and plant nutrient demand. In: Woomer, P. L.; Swift, M. J., (ed.) *The biological management of tropical soil fertility*. New York: John Wiley and Sons, 1994. cap. 5. p.81-116.
- Palm, C. A.; Sanchez, P. A. Nitrogen release from the leaves of some tropical legumes as affected by their lignin and polyphenolic contents. *Soil Biology and Biochemistry*, Amsterdam, v.23, n.1, p.83-88, 1991.
- Powell, J. M.; Ikpe, F. N.; Somda, Z. C. Crop yield and the fate of nitrogen and phosphorus following application of plant material and feces to soil. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, Amsterdam, v.54, n.3, p.215-226, 1999.
- Sabourin, E.; Silveira, L. M.; Tonneau, J. P.; Sidersky, P. Fertilidade e agricultura familiar no agreste Paraíba: um estudo sobre o manejo da biomassa. *Esperança: CIRAD-TERA/ASP-TA*, 2000. 59p.
- Thomas, R. L.; Sheard, R. W.; Moyer, J. R. Comparison of conventional and automated procedures for N, P and K analysis of plant material using a single digestion. *Agronomy Journal*, Madison, v.59, n.3, p.240-243, 1967.
- Tiessen, H.; Cuevas, E.; Chacon, P. The role of organic matter in sustaining soil fertility. *Nature*, London, v.371, p.783-785, 1994.
- van Kessel, J. S.; Reeves, J. B. Nitrogen mineralization potential of dairy manures and its relationship to composition. *Biology and Fertility of Soils*, Berlin Heidelberg, v.36, p.118-123, 2002.
- Whalen, J. K.; Chang, C.; Olson, B. M. Nitrogen and phosphorus mineralization potentials of soils receiving repeated annual cattle manure applications. *Biology and Fertility of Soils*, Berlin Heidelberg, v.34, n.5, p.334-341, 2001.