

Aproveitamento do nitrogênio (^{15}N) da crotalária e do milho pelo milho sob plantio direto em Latossolo Vermelho de Cerrado

Utilization of nitrogen (^{15}N) from sun hemp and millet by corn crop under no-tillage in Red Latosol of Cerrado

Edson Cabral da Silva¹ Takashi Muraoka² Salatiér Buzetti³ Marcos Emanuel da Costa Veloso⁴
Paulo César Ocheuze Trivelin⁵

RESUMO

O cultivo de adubos verdes na entressafra altera a dinâmica e a recuperação do nitrogênio pelo milho no sistema solo-planta. O objetivo deste trabalho foi avaliar a eficiência de utilização do N da crotalária (*Crotalaria juncea*) e do milho (*Pennisetum americanum*), marcados com ^{15}N , pelo milho cultivado sob diferentes doses de N em plantio direto, num Latossolo Vermelho de Cerrado. O estudo foi desenvolvido na fazenda experimental da Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira-UNESP, Selvíria-MS, nos anos agrícolas 2001/02 e 2002/03. O delineamento experimental foi o de blocos casualizados, com 15 tratamentos e quatro repetições, dispostos em esquema fatorial 5 x 3, constituídos pela combinação de cinco doses de N (0, 30, 80, 130 e 180 kg ha⁻¹), na forma de uréia, aplicadas no estádio quatro folhas, e três sistemas de cobertura do solo: crotalária, milho e o solo em pousio entressafra. O N inorgânico promoveu um efeito sinérgico na quantidade de N absorvida e no aproveitamento pelo milho do N da crotalária e do milho. A crotalária, na média dos dois anos agrícolas, proporcionou, no milho cultivado sem a aplicação de N, um efeito equivalente à aplicação de 56,0 e 73,0 kg ha⁻¹ de N-uréia, comparado ao do milho cultivado sobre solo em pousio e em sucessão ao milho, respectivamente. A produtividade de grãos aumentou de forma quadrática em função das doses de N, nos dois anos agrícolas.

Palavras-chave: *Zea mays*, adubo verde marcado, pousio, mineralização de N, plantio direto.

ABSTRACT

The cultivation of green manure in the fallow ground alter the dynamics and the recovery of the nitrogen by

corn in the soil-plant system. The objective of this work was to evaluate the utilization of nitrogen (^{15}N) from sun hemp and millet by corn grown under different N rates in no-tillage in Red Latosol of Cerrado. The research was carried in the Experimental Farm of Faculty of Engineering, Sao Paulo State University (UNESP), Ilha Solteira, located in Selvíria-MS, Brazil, during the 2001/02 and 2002/03 growing season. The experimental design was randomized complete blocks, with 15 treatments and four replications in a factorial 5 x 3, constituted by the combination of five N rates (0, 30, 80, 130 and 180 kg ha⁻¹), as urea, applied at four leaf stage; and three preceding cover crops: sun hemp, millet and fallow ground. The inorganic N promoted a synergic effect on the amount of absorbed N and utilization of sun hemp and millet N by the corn crop. The sun hemp, in average for two growing season, provided in the corn cultivated without the application of N an equivalent effect of the application of 56.0 and 73.0 kg ha⁻¹ as urea, compared to the corn grown in fallow soil and in succession to millet, respectively. The grain yield increased in a quadratic way in function of the N rates, in the two growing season.

Key words: *Zea mays*, labeled green manure, fallow, N mineralization, no-tillage.

INTRODUÇÃO

O não revolvimento do solo e o cultivo de plantas de cobertura promovem modificações na ciclagem dos nutrientes, sendo o nitrogênio (N) o mais afetado, principalmente devido à decomposição mais lenta dos resíduos vegetais deixados na superfície do

¹Laboratório de Fertilidade do Solo, Centro de Energia Nuclear na Agricultura (CENA), Universidade de São Paulo (USP), Piracicaba, São Paulo, Brasil. Rua do Trabalho, 578, Apto. 1, Vila Independência, 13418-220. E-mail: ecsilva@cena.usp.br. Autor para correspondência.

²Laboratório de Fertilidade do Solo, CENA/USP, Piracicaba, São Paulo, Brasil.

³Departamento de Fitossanidade, Engenharia Rural e Solos, Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira (FEIS), Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho" (UNESP), Ilha Solteira, São Paulo, Brasil.

⁴Programa de Pós-graduação em Agronomia, Área de Concentração: Irrigação e Drenagem, Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz" (ESALQ), USP, Piracicaba, São Paulo, Brasil.

⁵Laboratório de Isótopos Estáveis, CENA/USP, Piracicaba, São Paulo, Brasil.

solo influenciar nos processos de imobilização, mineralização, lixiviação, volatilização e desnitrificação (SÁ, 1996; SALET et al., 1997; LARA CABEZAS et al., 2004).

O cultivo de adubos verdes na entressafra, sobretudo de leguminosas, antecedendo a cultura do milho em sistema plantio direto (SPD), tem demonstrado ser uma alternativa promissora na suplementação de N (GONÇALVES et al., 2000). A qualidade do resíduo vegetal, principalmente sua relação C/N, e a disponibilidade de N mineral na solução do solo influenciam na taxa de decomposição (CERETTA et al., 2002) e no aproveitamento do N destes resíduos pelo milho (LARA CABEZAS et al., 2004; ERNANI et al., 2005). Assim, AITA et al. (2001), avaliando o uso de gramínea, leguminosa e pousio no inverno, evidenciaram a possibilidade de redução da quantidade de N mineral aplicada no milho, quando cultivado após leguminosas.

Nas condições de Cerrado, as gramíneas têm sido mais utilizadas como plantas de cobertura, com destaque para o milheto. Isto se deve a sua maior resistência ao déficit hídrico, com maior produção de biomassa e menor custo das sementes. Além disso, as elevadas temperaturas associadas à alta umidade, no verão, promovem rápida decomposição dos resíduos vegetais de baixa relação C/N (LARA CABEZAS et al., 2004).

Atualmente a cultura de cobertura antecessora já se constitui num dos critérios para a recomendação de adubação nitrogenada para o milho em SPD nos Estados do Rio Grande do Sul e de Santa Catarina (AMADO et al., 2002). Para as condições de Cerrado, SOUSA & LOBATO (2004) recomendam considerar, dentre os critérios para o cálculo da dose de N para o milho, um fator específico para gramíneas ou leguminosas para estimar a contribuição do N mineralizado dos resíduos das três últimas culturas cultivadas no verão. Esse fator deve ser multiplicado pelas suas respectivas produtividades de grãos.

Normalmente a eficiência dos adubos verdes como fonte de N para as culturas tem sido baixa, raramente ultrapassando 20% no primeiro cultivo após a aplicação (HARRIS & HESTERMAN, 1990; SCIVITTARO et al., 2003). Nos estudos sobre a dinâmica do N no sistema solo-planta, muitas vezes, é difícil quantificar a origem deste nutriente (SCIVITTARO et al., 2000). O uso de uma fonte marcada com ^{15}N constitui-se no método que permite quantificar com maior precisão a eficiência de utilização deste nutriente e a fonte originária, seja solo, fertilizantes orgânicos ou inorgânicos (MURAOKA et al., 2002), contribuindo para a tomada de decisão quanto ao seu

manejo. O objetivo deste trabalho foi avaliar a eficiência de utilização do N da crotalária (*Crotalaria juncea*) e do milheto (*Pennisetum americanum*), marcados com ^{15}N , pelo milho cultivado sob diferentes doses de N em plantio direto num Latossolo Vermelho de Cerrado.

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido na fazenda experimental da Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira – UNESP, Selvíria, MS, cujas coordenadas geográficas são $51^{\circ}22'W$ e $20^{\circ}22'S$, com 335m de altitude, apresentando média anual de $24,5^{\circ}\text{C}$, 1.370mm e 64,8%, respectivamente, para temperatura, precipitação e umidade relativa. O solo do local foi classificado como Latossolo Vermelho distrófico (LVd), fase cerrado tropical subcaducifólio (EMBRAPA, 1999), contendo 530g kg^{-1} de argila na camada de 0 a 0,20m. O experimento foi conduzido nos anos agrícolas 2001/02 e 2002/03, em áreas individuais, com o mesmo histórico de uso e manejo, apresentando 19 anos de plantio convencional com culturas anuais e os últimos cinco anos em SPD, tendo sido cultivadas com arroz no último ano agrícola (2000/01). Na caracterização química do solo, em amostras coletadas em julho de 2001 e julho de 2002, encontrou-se nas camadas de 0 a 0,10 e 0,10 a 0,20m, respectivamente: pH (CaCl_2) 5,1 e 4,7; N total 0,9 e $0,8\text{g kg}^{-1}$; M.O. 20,4 e $17,7\text{g dm}^{-3}$; P (resina) 13,6 e $5,5\text{mg dm}^{-3}$; Ca 18,5 e $10,0\text{mmol}_c \text{dm}^{-3}$; Mg 16,2 e $7,2\text{mmol}_c \text{dm}^{-3}$; K 2,9 e $1,3\text{mmol}_c \text{dm}^{-3}$; H+Al 23,3 e $27,2\text{mmol}_c \text{dm}^{-3}$; S 6,6 e $6,1\text{mg dm}^{-3}$; SB 37,6 e $18,5\text{mmol}_c \text{dm}^{-3}$; CTC 60,9 e $45,7\text{mmol}_c \text{dm}^{-3}$ e V de 61,7 e 40,5%.

O delineamento experimental foi o de blocos casualizados com 15 tratamentos e quatro repetições, dispostos em esquema fatorial 5×3 , sendo cinco doses de N-uréia: 0, 30, 80, 130 e 180kg ha^{-1} , aplicando-se, exceto para a testemunha, 30kg ha^{-1} de N na semeadura e o restante no estádio quatro folhas expandidas e três sistemas de cobertura: crotalária e milheto, marcados com ^{15}N e o solo em pousio na entressafra. As parcelas experimentais constituíram-se de oito linhas espaçadas de 0,80m, com 7,0m de comprimento, considerando-se como área útil as quatro linhas centrais, desprezando-se 1,0m nas extremidades.

A crotalária e o milheto foram semeados mecanicamente em 17/09/01, no primeiro ano agrícola, e em 14/09/02, no segundo. A crotalária foi semeada na densidade de 30 a 40 sementes por m^2 , com espaçamento de 0,40m entre linhas. Para o milheto, foi utilizada a variedade BN 2, em linhas espaçadas de 0,17m, na dose de 20kg ha^{-1} de sementes. A marcação isotópica do milheto e da crotalária foi realizada no campo, em área adjacente à do experimento, utilizando-

se a dose de 30kg ha⁻¹ de N-uréia, enriquecida em 10% de átomos de ¹⁵N em excesso, exceto para o milho no segundo ano agrícola, em que se utilizou a mesma dose, porém com um enriquecimento de 5% de átomos de ¹⁵N em excesso. Os tratamentos que receberam milho ou crotalaria marcados tiveram microparcels próprias, dentro das respectivas parcelas, de 1,0 x 2,40m (três linhas de milho de 1,0 x 0,80m). A parte aérea das plantas não marcadas destas microparcels foi substituída pela parte aérea das plantas marcadas com ¹⁵N, previamente fragmentadas com facão, tentando simular o triturador de palha (triton), que foi passado em toda a área do experimento em 30/11/01 e 26/11/02. Realizou-se irrigação suplementar por aspersão nos períodos de estiagem prolongada para as plantas de cobertura.

As sementeiras do milho foram realizadas mecanicamente em 05/12/01, no primeiro ano agrícola, e em 28/11/02, no segundo, utilizando-se o híbrido simples Pioneer 30F80, de ciclo semiprecoce, numa densidade de 65.000 sementes por hectare. A adubação de sementeira foi de 105kg ha⁻¹ de P₂O₅, 60kg ha⁻¹ de K₂O e 4kg ha⁻¹ de Zn, aplicadas a 0,05m abaixo e ao lado das sementes. As coberturas nitrogenadas foram realizadas manualmente, em um sulco superficial a 0,20m da linha da cultura, e coberta com uma camada de solo no dia 28/12/01, no primeiro ano agrícola, e em 20/12/02, no segundo. As produtividades de matéria seca da parte aérea das plantas de cobertura do solo foram determinadas em quatro amostras de 0,25m², coletadas com auxílio de uma armação metálica na área útil das parcelas, um dia antes do seu manejo mecânico, retirando-se também amostras para avaliar o teor de N, que foi determinado conforme metodologia descrita em MALAVOLTA et al. (1997). Nestas mesmas amostras, foi determinado também o teor de C, por meio da combustão via seca a 1.400°C no aparelho LECO C/N. A altura da planta de milho foi determinada, por ocasião da maturação fisiológica, medindo a distância entre o colo da planta e a inserção da última folha. Para a altura da espiga, foi considerada a distância entre o colo da planta e a inserção da espiga principal (superior), em amostras de 10 plantas, na área útil da parcela. As colheitas foram realizadas no final do mês de abril, coletando-se manualmente as espigas das quatro linhas centrais da área útil da parcela com os dados transformados em kg ha⁻¹, a 13% de umidade.

Para análise do enriquecimento isotópico em % de átomos de ¹⁵N e N total nos grãos e na parte aérea do milho, foram coletadas, após a maturação fisiológica dos grãos, três plantas na linha central das microparcels. As espigas foram debulhadas manualmente e o restante da parte aérea, a palha

(colmos, folhas, bainha, pendões, sabugos cabelos e palhas da espiga) foi fragmentada, retirando-se uma amostra para as análises isotópicas, que foram determinadas em espectrômetro de massa (IRMS), interfaceado com um analisador elementar de N no Laboratório de Isótopos Estáveis do CENA/USP, conforme metodologia descrita em BARRIE & PROSSER (1996). A determinação da eficiência de utilização do N da crotalaria e do milho baseou-se no princípio da diluição isotópica, utilizando-se a seguinte seqüência de cálculos:

a) Nitrogênio acumulado (NA)

$$NA = \frac{N \times MS}{1000}$$

Onde,

NA = Nitrogênio acumulado (kg ha⁻¹); N = Concentração de nitrogênio (g kg⁻¹); MS = Matéria seca do milho (kg ha⁻¹).

b) Percentagem de nitrogênio no milho proveniente dos adubos verdes (%NMPAV)

$$\%NMPAV = \frac{\% \text{ Átomos de } ^{15}\text{N em excesso no milho}}{\% \text{ Átomos de } ^{15}\text{N em excesso no adubo verde}} \times 100$$

c) Quantidade de nitrogênio no milho proveniente dos adubos verdes (QNMPAV, kg ha⁻¹).

$$QNMPAV = \frac{\%NMPAV \times NA}{100}$$

d) Aproveitamento (%AP) do nitrogênio dos adubos verdes

$$\text{Onde, } \%AP = \frac{QNMPAV}{QNA} \times 100$$

QNA = quantidade de nitrogênio aplicado como adubo verde marcado (kg ha⁻¹).

Os dados foram submetidos à análise de variância, aplicando-se o teste F, à comparação de médias pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade de erro e à análise de regressão.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

O milho marcado com ¹⁵N (Tabela 1), em ambos os anos agrícolas, apresentou maior enriquecimento em % de átomos em excesso em relação à crotalaria. Isso ocorreu apesar de, no segundo ano agrícola, ter sido utilizada para a sua marcação uréia

Tabela 1 – Produtividades de matéria seca da parte aérea, teor de N total, % de átomos de ^{15}N em excesso (milheto e crotalária), relação C/N e quantidade de N acumulado pela vegetação espontânea (pousio), crotalária e milheto, na época do manejo mecânico, anos de 2001 e 2002.

Plantas de cobertura	Matéria seca Mg ha^{-1}	N total g kg^{-1}	Átomos de ^{15}N em excesso %	N acumulado kg ha^{-1}	Relação C/N
Ano 2001					
Crotalária	9,77 a*	17,3 a	1,965	169,0 a	21 c
Milheto	7,37 b	9,3 c	4,299	68,5 b	44 a
Pousio	2,49 c	11,3 b	-	28,1 c	38 b
Ano 2002					
Crotalária	8,61 a	22,0 a	1,882	189,0 a	20 c
Milheto	6,33 b	10,1 c	2,416	64,0 b	46 a
Pousio	2,86 c	11,9 b	-	33,9 c	35 b

Médias seguidas por letras diferentes na coluna diferem entre si em nível de significância de 5%, pelo teste de Tukey.

com menor enriquecimento (5% em átomos de ^{15}N em excesso), em virtude do alto enriquecimento (4,299% em átomos de ^{15}N) obtido no primeiro ano agrícola, o que é desnecessário para estudo do aproveitamento do N pelo milho (AMBROSANO et al., 2003). O menor enriquecimento em ^{15}N da crotalária comparado ao do milheto provavelmente foi em razão da fixação biológica de N_2 atmosférico, a qual normalmente aumenta muito após os 40 dias da sua germinação, que ficou caracterizado visualmente pela nodulação radicular, promovendo, assim, a diluição do ^{15}N pelo influxo de ^{14}N (AMBROSANO et al., 1997). Por outro lado, a maior produtividade de matéria seca da crotalária em relação à do milheto, em média superior a $2,40\text{Mg ha}^{-1}$, certamente também contribuiu para a diluição do ^{15}N . A crotalária apresentou também maior teor de N na matéria seca, o que é comum em função de ser uma leguminosa, podendo adquirir N_2 atmosférico pela fixação simbiótica (AMADO et al., 2002). Ressalta-se que, embora as quantidades de matéria seca da parte aérea de crotalária e milheto adicionadas nas microparcelas fossem equivalentes àquelas das parcelas, as quantidades de N e a sua relação C/N provavelmente devem ter sido diferentes, especialmente no milheto, devida terem a sido adubadas com 30kg ha^{-1} de N.

As doses de N e as plantas de cobertura do solo influenciaram significativamente na altura de planta, na altura de inserção da espiga e na produtividade de grãos de milho, em ambos os anos agrícolas (Tabela 2). Para a produtividade de grãos, houve também interação significativa entre doses de N versus sistemas de cobertura do solo. Os maiores valores para a altura da

planta e da inserção da espiga foram para o milho cultivado em sucessão à crotalária, diferindo estatisticamente da sucessão pousio-milho e milheto-milho, as quais não diferiram entre si. Isto se deve provavelmente à maior adição de N ao solo pela crotalária, e também à maior mineralização desse N, em função da menor relação C/N dessa espécie em relação ao milheto e à vegetação espontânea do pousio (Tabela 1). Resultados semelhantes com maior disponibilidade e absorção de N para o milho em sucessão a leguminosas foram também encontrados em outros estudos (GONÇALVES et al., 2000; AITA et al., 2001; CERETTA et al., 2002).

Quanto às doses de N, a altura de planta aumentou de forma quadrática como incremento da dose aplicada, sendo que a mesma tendência ocorreu em relação à altura de inserção da espiga, indicando que esta variável está intimamente associada à altura da planta. SÁ (1996), estudando a combinação das doses 0, 30 e 60kg ha^{-1} de N na semeadura do milho com as doses de 0,60 e 120kg ha^{-1} em cobertura, aos 35 e 55 dias após a semeadura, também verificou redução de crescimento das plantas no nível de 0kg ha^{-1} de N, sendo que a aplicação de 30kg ha^{-1} de N na semeadura eliminou a deficiência inicial de N, devido à imobilização.

As produtividades de grãos aumentaram de forma quadrática em função das doses de N aplicadas, em ambos os anos agrícolas. No primeiro ano agrícola (Figura 1a), a máxima produtividade física seria alcançada com as doses de 133, 142 e 170kg ha^{-1} de N no milho cultivado em sucessão à crotalária ($8,60\text{Mg ha}^{-1}$), ao pousio ($7,64\text{Mg ha}^{-1}$) e ao milheto ($7,57\text{Mg ha}^{-1}$),

Tabela 2 – Valores de F da análise de variância e médias de altura de planta, altura de espiga e produtividade de grãos de milho, em função das doses de N e dos sistemas de coberturas solo, anos agrícolas 2001/02 e 2002/03.

Tratamentos	Altura de planta (m)		Altura de espiga (m)		Produtividade de grãos ⁽²⁾	
	2001/02	2002/03	2001/02	2002/03	2001/02	2002/03
	Valores de F					
Doses (D)	44,6*	52,3*	32,7*	17,0*	141,4*	180,6*
Cobertura (C)	25,5*	114,7*	57,6*	92,5*	166,6*	106,2*
DxC	1,9 ns	1,24 ns	1,1ns	1,31ns	4,6*	6,3*
	Sistemas de cobertura do solo					
Crotalaria-milho	2,39 a ⁽¹⁾	2,37 a	1,30 a	1,35 a	-	-
Pousio-milho	2,19 b	2,24 b	1,19 b	1,20 b	-	-
Milheto-milho	2,15 b	2,24 b	1,15 b	1,18 b	-	-

Ns e *: Não significativo e significativo a 5% pelo teste F, respectivamente. ⁽¹⁾ Médias seguidas de letras diferentes na coluna diferem entre si em nível de significância de 5%, pelo teste de Tukey. ⁽²⁾ Desdobramento da interação significativa entre os fatores doses de N versus sistemas de cobertura do solo para a produtividade de grãos, figuras 1a e 1b.

respectivamente. No segundo ano agrícola (Figura 1b), a máxima produtividade física seria alcançada com as doses de 160, 173 e 172kg ha⁻¹ de N no milho cultivado em sucessão à crotalaria (8,97Mg ha⁻¹), ao pousio (7,99Mg ha⁻¹) e ao milheto (8,02Mg ha⁻¹), respectivamente. O maior aporte de N pela crotalaria provavelmente favoreceu o maior desenvolvimento do sistema radicular, conduzindo a um maior aproveitamento do N e de outros nutrientes do solo (JENKINSON et al., 1985; RAO et al., 1992; MURAOKA et al., 2002), favorecendo o acúmulo de biomassa pelo milho.

Verifica-se, nas figuras 2a e 2b, que a quantidade de N na planta de milho (palha + grãos) proveniente da parte aérea dos adubos verdes crotalaria e milheto (QNMPAV), em ambos os anos agrícolas, aumentou com o incremento da dose de N. O milho cultivado em sucessão à crotalaria apresentou um comportamento linear, sendo que, na média dos dois anos, o N proveniente da leguminosa foi de 27,2kg ha⁻¹. Para o milho em sucessão ao milheto, no segundo ano agrícola, a QNMPAV aumentou de forma quadrática, no entanto, independente da dose de N inorgânico aplicada, a QNMPAV em média, para os dois anos agrícolas foi inferior à 6kg ha⁻¹.

O aproveitamento do N da crotalaria pelo milho aumentou de forma linear com o incremento da dose de N-uréia aplicada, variando de 12,9 a 17,2% no primeiro ano agrícola (Figura 2c) e de 12,0 a 21,2% no segundo (Figura 2d). Esses valores são próximos aos observados para o aproveitamento do N de leguminosas por SCIVITTARO et al. (2003), de 10 a 14%. Ao contrário do verificado no presente estudo, SCIVITTARO et al.

(2000) não observaram influência da associação de adubos verdes com uréia sobre a utilização do N de adubos verdes, discordando dos resultados obtidos por HESTERMAN et al. (1987), que também verificaram um efeito sinérgico, semelhante ao deste estudo. No entanto, a maioria dos estudos demonstram que a maior proporção do N dos adubos verdes acumula-se no solo, predominantemente sob forma de N orgânico (JENKINSON et al., 1985; HARRIS & HESTERMAN, 1990). A magnitude de respostas ao aproveitamento do N de adubos verdes pelo milho deve-se, principalmente, às distintas condições edafoclimáticas, sobretudo o potencial de fornecimento deste nutriente pelo solo (SCIVITTARO et al., 2000; MURAOKA et al., 2002).

Para o milho em sucessão ao milheto, independente da dose de N aplicada, o aproveitamento do N foi inferior ao do N da crotalaria, variando de 3,4 a 5,9% (Figura 2c) no primeiro ano agrícola, e de 7,2 a 11,9% (Figura 2d) no segundo. O relativo baixo aproveitamento pelo milho do N dessas espécies pode ser atribuído principalmente à lenta liberação do N de adubos verdes, sobretudo de gramíneas, pela sua maior relação C/N, seguindo, assim, um padrão gradual de mineralização (MURAOKA et al., 2002). Esse fato é favorecido ainda pela não incorporação dos resíduos em SPD (SÁ, 1996; AMADO et al., 2002; LARA CABEZAS et al., 2004).

Apesar da tendência ao aumento tanto na QNMPAV como no aproveitamento do N do milheto com o incremento da dose de N, no primeiro ano agrícola, os dados não se ajustaram a nenhum modelo testado. O menor aproveitamento do N do milheto sem

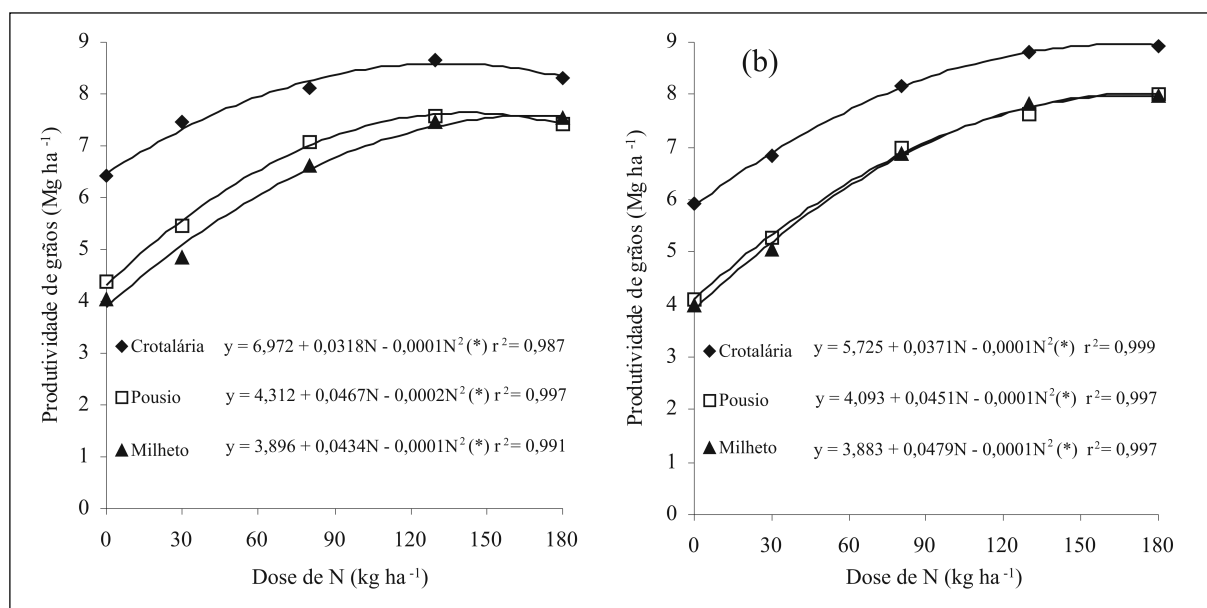


Figura 1 – Desdobramento da interação significativa entre doses de N versus sistemas de cobertura do solo para a produtividade de grãos de milho, anos agrícolas 2001/02 (a) e 2002/03 (b). (Obs. *: Significativo a 5% pelo teste F).

a aplicação de N mineral (inferior a 6%) comparado ao do N da crotalária (inferior a 13%), provavelmente foi devido à menor mineralização desta gramínea durante a fase de maior absorção e acúmulo de N pelo milho, em virtude da sua maior relação C/N. Isto fez com que os microrganismos utilizassem o N mineral para compor a sua biomassa, imobilizando temporariamente este nutriente para o milho (SÁ, 1996; LARA CABEZAS et al., 2004), podendo ter condicionado a remobilização do próprio N mineralizado (SALET et al., 1997; AMADO et al., 2002).

O aumento na dose de N inorgânico provavelmente contribuiu para o acréscimo de N mineral na solução do solo, além de favorecer a atividade dos microrganismos, resultando em maior absorção de N pelo milho, condicionando uma maior produtividade de grãos e aproveitamento do N dos adubos verdes. Resultados nesse sentido foram também observados por AITA et al. (2001), verificando efeito positivo do fertilizante inorgânico sobre a utilização do N de resíduos de leguminosas. Por outro lado, podem ter ocorrido perdas de N mineralizado dos adubos verdes pelos processos de lixiviação, volatilização, desnitrificação e erosão. Além disso, não foi considerado o N contido no sistema radicular do milho, podendo, portanto, a contribuição ser superior à observada neste estudo, visto que grande parte do N do adubo verde absorvido pelo milho fica retido nas suas raízes (AZAM et al., 1995).

Embora a QNMPAV crotalária sem a aplicação de N-uréia tenha sido, na média dos dois

anos agrícolas, de 21,1kg ha⁻¹ de N (Figura 2a e 2b), a produtividade de grãos de milho no primeiro ano agrícola (Figura 1a), nessa sucessão (6,41Mg ha⁻¹), equivaleria à mesma produtividade com a aplicação de 60,5kg ha⁻¹ de N-uréia para o milho cultivado no solo em pousio e de 89,0kg de N-uréia para o milho em sucessão ao milheto. Já no segundo ano agrícola, a produtividade somente com o uso de crotalária (5,92Mg ha⁻¹) equivaleria à produtividade com a aplicação de 51,0 e de 57,0kg ha⁻¹ de N-uréia (Figura 1b), respectivamente, para o milho cultivado no solo em pousio e em sucessão ao milheto. Observa-se ainda que, mesmo com a aplicação de 30kg ha⁻¹ de N na semeadura, a produtividade do milho em sucessão ao solo em pousio e ao milheto foi baixa quando comparada à da crotalária, indicando que essa dose pode ter sido insuficiente para suprir a demanda da planta em função do processo de imobilização e da mais lenta mineralização que geralmente ocorre no SPD, sobre resíduos de alta relação C/N (SÁ, 1996; SALET et al., 1997; CERETTA et al., 2002).

A partição média do N absorvido do milheto e da crotalária foi semelhante, em média, 36% na palha e 64% nos grãos, demonstrando que essa característica é de alta herdabilidade e mais dependente do genótipo do que das condições externas do meio ou da quantidade de N absorvida. Partição de N na planta semelhante também foi observada em outros estudos, tanto em plantio direto como em convencional (COELHO et al., 1991; TIMMONS & BAKER, 1992; SOUSA & LOBATO, 2004). Verifica-se que grande parte

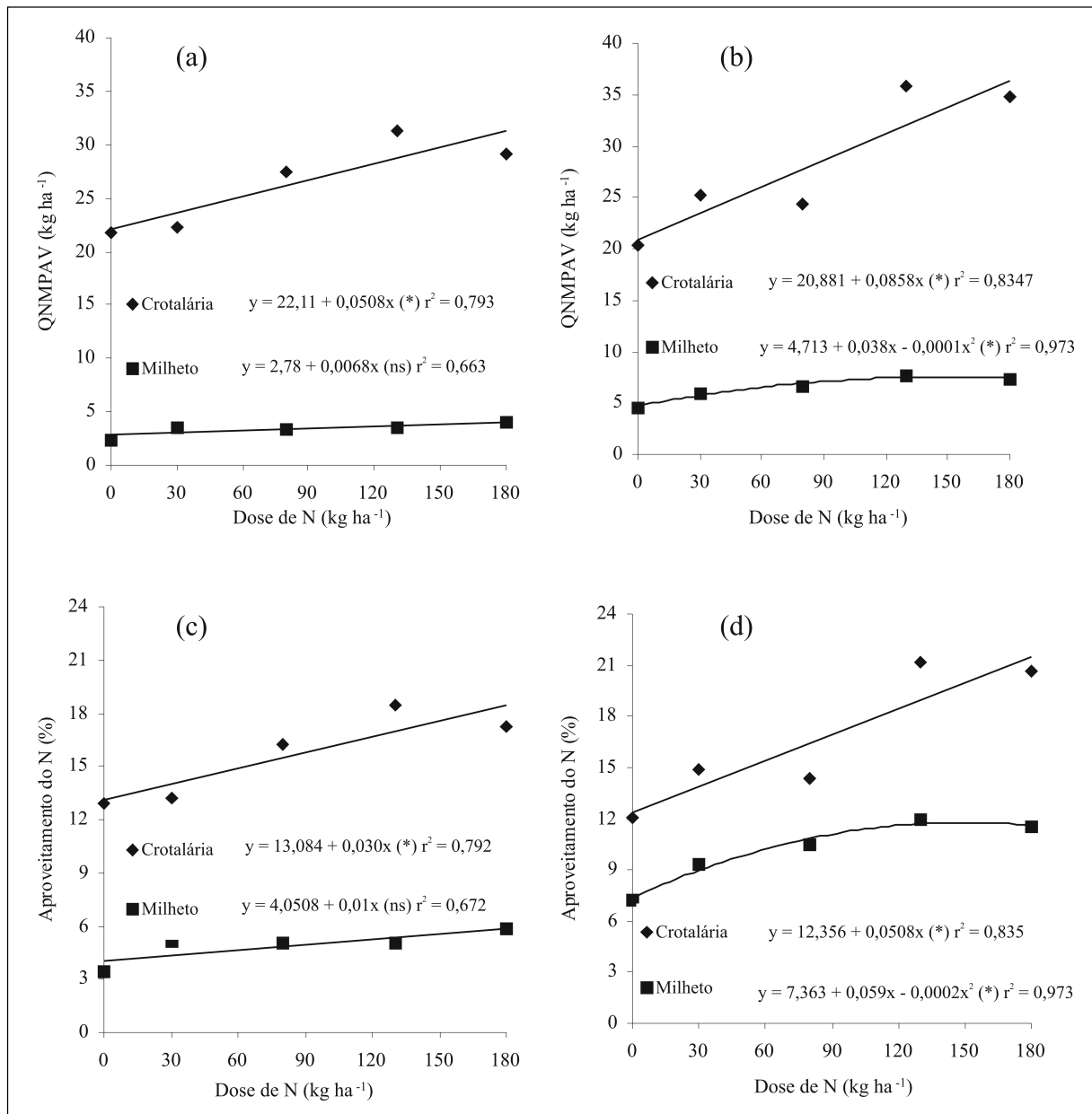


Figura 2 – Quantidade de nitrogênio no milho (palha + grãos) proveniente do milheto e da crotalária (QNMPAV) e aproveitamento do nitrogênio do milheto e da crotalária, em função das doses de N (não marcado), anos agrícolas 2001/02 (a e c) e 2002/03 (b e d). (Obs. Ns e *: Não significativo e significativo a 5% pelo teste F, respectivamente).

do N da crotalária e do milheto (36%) absorvido pelo milho foi restituído ao solo por meio dos resíduos culturais. Ressalta-se ainda que a porção de N dos adubos verdes que retorna ao solo deve ser superior à observada, por não estar sendo considerado o N contido no seu sistema radicular e no do milho.

CONCLUSÕES

O nitrogênio inorgânico promoveu um efeito sinérgico na quantidade de N absorvida e no aproveitamento

pelo milho do N da crotalária e do milheto. A crotalária, na média dos dois anos agrícolas, proporcionou, no milho cultivado sem a aplicação de N, um efeito equivalente à aplicação de 56,0 e 73,0 kg ha⁻¹ de N-uréia, comparado ao do milho cultivado no solo em pousio e em sucessão ao milheto, respectivamente. A produtividade de grãos aumentou de forma quadrática em função das doses de N, nos dois anos agrícolas, sendo que a altura da planta e da inserção da espiga foram superiores no milho em sucessão à crotalária.

AGRADECIMENTOS E APRESENTAÇÃO

À Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP), pela concessão de bolsa ao pesquisador Silva.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), pela concessão de bolsa aos pesquisadores Muraoka, Buzetti, Veloso e Trivelin.

Parte da Tese de Doutorado em Ciências do primeiro autor. Programa de Pós-graduação em Ciências, Centro de Energia Nuclear na Agricultura (CENA), Universidade de São Paulo (USP). Financiado pela Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP) e pela International Atomic Energy Agency (IAEA).

REFERÊNCIAS

- AITA, C. et al. Plantas de cobertura do solo como fonte de nitrogênio ao milho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.25, n.1, p.157-165, 2001.
- AMADO, T.J.C. et al. Recomendação de adubação nitrogenada para o milho no RS e SC adaptada ao uso de culturas de cobertura do solo, sob sistema plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.26, n.1, p.241-248, 2002.
- AMBROSANO, E.J. et al. Nitrogen materialization in soils amended with sunn hemp, velvet bean and common bean residues. **Scientia Agrícola**, Piracicaba, v.60, n.1, p.133-137, 2003.
- AMBROSANO, E.J. et al. Técnica para marcação dos adubos verdes crotalária júncea e mucuna-preta com ^{15}N para estudos da dinâmica do nitrogênio. **Bragantia**, Campinas, v.56, n.1, p.219-224, 1997.
- AZAM, F. et al. Effects of ammonium and nitrate on mineralization of nitrogen from legumes residues. **Biology and Fertility of Soils**, Berlin, v.20, n.1, p.49-52, 1995.
- BARRIE, A.; PROSSER, S.J. Automated analysis of light-element stable isotopes by isotope ratio mass spectrometry. In: BOUTTON, T.W.; YAMASAKI, S. (Ed). **Mass spectrometry of soils**. New York: Marcel Dekker, 1996. p.1-46.
- CERETTA, C.A. et al. Produção e decomposição de plantas invernais de cobertura do solo e milho, sob diferentes manejos da adubação nitrogenada. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.32, n.1, p.49-54, 2002.
- COELHO, A.M. et al. Balanço de nitrogênio ^{15}N em Latossolo Vermelho-Escuro, sob vegetação de cerrado, cultivado com milho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.95, n.2, p.187-193, 1991.
- EMBRAPA. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. Brasília: Embrapa Produção de Informações, 1999. 412p.
- ERNANI, P.R. et al. A forma de aplicação da uréia e dos resíduos vegetais afeta a disponibilidade de nitrogênio. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.35, n.2, p.360-365, 2005.
- GONÇALVES, C.N. et al. Sucessões de culturas com plantas de cobertura e milho em plantio direto e sua influência sobre o nitrogênio do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.24, n.1 p.153-159, 2000.
- HARRIS, G.H.; HESTERMAN, O.B. Quantifying the nitrogen contribution from alfafa to soil and two succeeding crops using nitrogen-15. **Agronomy Journal**, Madison, v.82, n.1, p.129-134, 1990.
- HESTERMAN, O.B. et al. Nitrogen utilization from fertilizer and legume residues in legume-com rotations. **Agronomy Journal**, Madison, v.79, n.4, p.726-731, 1987.
- JENKINSON, D.S. et al. Interactions between fertilizer nitrogen and soil nitrogen – the so-called priming effect. **Journal of Soil Science**, Oxford, v.36, n.3, p.425-444, 1985.
- LARA CABEZAS, W.A.R. et al. Influência da cultura antecessora e da adubação nitrogenada na produtividade de milho em sistema plantio direto e solo preparado. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.34, n.4, p.1005-1013, 2004.
- MALAVOLTA, E. et al. **Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações**. 2.ed. Piracicaba: POTAFOS, 1997. 319p.
- MURAOKA, T. et al. Eficiência de abonos verdes (crotalaria y mucuna) y urea, aplicadas solos o juntamente, como fuentes de N para el cultivo de arroz. **Terra**, Chapingo, v.20, n.1, p.17-23, 2002.
- RAO, A.C.S. et al. Considerations in estimating nitrogen recovery efficiency by the difference and isotopic dilution methods. **Fertilizer Research**, The Hague, v.33, n.3, p.209-217, 1992.
- SÁ, J.C.M. **Manejo de nitrogênio na cultura de milho no sistema plantio direto**. Passo Fundo: Aldeia Norte, 1996. 23p.
- SALET, R.L. et al. Por que a disponibilidade de nitrogênio é menor no sistema plantio direto? In: SEMINÁRIO INTERNACIONAL DO SISTEMA PLANTIO DIRETO, 2., 1997, Passo Fundo. **Anais...** Passo Fundo: EMBRAPA-CNPT, 1997. p.217-219.
- SCIVITTARO, W.B. et al. Utilização de nitrogênio de adubos verdes e mineral pelo milho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.24, n.4, p.917-926, 2000.
- SCIVITTARO, W.B. et al. Transformações do nitrogênio proveniente de mucuna-preta e uréia utilizados como adubo na cultura do milho. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.38, n.12, p.1427-1433, 2003.
- SOUSA, D.M.G.; LOBATO, E. Adubação com nitrogênio. In: _____. **Cerrado: correção do solo e adubação**. 2.ed. Planaltina: Embrapa Cerrados, 2004. p.129-145.
- TIMMONS, D.R.; BAKER, J.K. Fertilizer management effect on recovery of labeled nitrogen by continuous no-till. **Agronomy Journal**, Madison, v.84, n.3, p.490-496, 1992.