

ÉPOCAS DE APLICAÇÃO DE NITROGÊNIO EM COBERTURA NA CULTURA DO MILHO EM PLANTIO DIRETO, E ALOCAÇÃO DO NITROGÊNIO (^{15}N) NA PLANTA⁽¹⁾

Manoel Mota Santos⁽²⁾, João Carlos Cardoso Galvão⁽³⁾, Ivo Ribeiro Silva⁽⁴⁾, Glaucovieira Miranda⁽³⁾ & Fernando Luis Finger⁽³⁾

RESUMO

Com o desenvolvimento de cultivares modernos, a produtividade do milho tem aumentado e, conseqüentemente, a demanda por N segue a mesma tendência. Objetivou-se com este trabalho avaliar o efeito da época de aplicação de N sobre a produtividade de grãos e sua distribuição nos componentes da planta de milho, na presença e ausência de adubação de molibdênio, em sistema plantio direto. O experimento foi conduzido no ano agrícola de 2006/07, na Estação Experimental de Coimbra-MG. O delineamento experimental foi o de blocos casualizados, com três repetições, no esquema fatorial 3 x 2 + 1, sendo três épocas de aplicação de N, na ausência e na presença de adubação com molibdênio (Mo), e uma testemunha sem fertilização. Os tratamentos consistiram de: T1- aplicação total de N 15 dias antes do plantio, sem molibdênio; T2 - aplicação total de N no plantio, sem molibdênio; T3 - aplicação total de N na época em que o milho se encontrava com quatro folhas completamente desenvolvidas, sem molibdênio; T4 - aplicação total de N 15 dias antes do plantio, com molibdênio; T5 - aplicação total de N no plantio, com molibdênio; T6 - aplicação total de N na época em que o milho se encontrava com quatro folhas completamente desenvolvidas, com molibdênio; e T7 - testemunha sem N, sem aplicação de Mo. O cultivar utilizado foi o híbrido simples AG 9010. O melhor suprimento de N ao longo do ciclo e a maior produtividade foram obtidos com a aplicação do fertilizante no estágio de quatro folhas expandidas do milho. Não foi encontrado efeito da adubação molibídica sobre as características avaliadas.

⁽¹⁾ Parte da Tese de Doutorado do primeiro autor, desenvolvida no Departamento de Fitotecnia da Universidade Federal de Viçosa – UFV. Recebido para publicação em junho de 2009 e aprovado em abril de 2010.

⁽²⁾ Pesquisador UFT – Gurupi (TO). Rua Badajós, Chácara 69/72, L.7, Zona Rural, Caixa Postal 66, CEP 77402-970 Gurupi (TO). Email: mottams@yahoo.com.br

⁽³⁾ Professor Adjunto do Departamento de Fitotecnia, Universidade Federal de Viçosa – UFV. CEP 36570-000 Viçosa (MG). E-mail: glaucovmiranda@gmail.com

⁽⁴⁾ Professor Adjunto do Departamento de Solos, UFV. E-mail: ivosilva@ufv.br

A aplicação do N na pré-semeadura do milho, 15 dias antes do plantio, demonstrou não ser recomendável para as condições de solo e clima estudadas. A parte da planta do milho de maior alocação de ^{15}N foi o grão. A recuperação média de ^{15}N na planta proveniente do fertilizante foi de 6 %.

Termos de indexação: adubação nitrogenada, cobertura, ureia, ^{15}N , *Zea mays*.

SUMMARY: NITROGEN SIDEDRESSING AND MOLYBDENUM APPLICATION TO UNTILLED CORN AND NITROGEN (^{15}N) ALLOCATION IN THE PLANT

Maize yield has increased with the development of modern cultivars and the demand for N has followed the same trend. The objective of this study was to evaluate the effect the timing of N application on grain yield and distribution in maize plant components in the presence and absence of Mo fertilizer under no-tillage. The experiment was conducted in the 2006/07 growing season, at the Experimental Station of Coimbra-MG. The experiment was arranged in a randomized block with three replications in a factorial $3 \times 2 + 1$ design, with three N application dates, in the absence on presence of Mo fertilization, and an unfertilized control. The treatments consisted of: T1-total N applied 15 days before planting, without Mo, T2-total application of N at planting without Mo; T3-total N application at the stage of four completely developed leaves, without Mo; T4-total N application 15 days before planting, with Mo, T5-total application of N at planting, with Mo; T6-total N application at the stage of four completely developed leaves, with Mo, and T7-control without N application without Mo, applied to the corne single hybrid AG 9010. Nitrogen supply throughout the cycle was best and yields were highest with fertilizer application at the four expanded leaves stage. No effect of Mo fertilizer was observed on the characteristics evaluated. Application of N prior to corne sowing (15 days before planting) is not recommended for the climate and soil conditions studied. Most applied N was allocated in the grain. The average ^{15}N recovery from fertilizer in plants was 6 %.

*Index terms: nitrogen fertilization, side dressing, urea, ^{15}N , *Zea mays*.*

INTRODUÇÃO

A aplicação adequada de nutrientes no solo é fator importante que interfere no rendimento da cultura, na atividade dos microrganismos e na melhoria da qualidade do solo. O N é um dos nutrientes absorvidos em maior quantidade pela cultura do milho. Contudo, é sabido que a recuperação do N dos fertilizantes nitrogenados pelas plantas é relativamente baixa, alcançando em muitos casos menos que 50 % (Rao et al., 1992). No entanto, quando as doses de N são maiores, a recuperação do N tende a diminuir, como observado por Melgar et al. (1991) e Grove et al. (1980), que obtiveram 36 e 40 % de recuperação do N aplicado na cultura do milho, na forma de ureia, nas doses de 120 e 140 kg ha⁻¹ de N, respectivamente.

A baixa eficiência de recuperação do N do fertilizante tem sido atribuída, principalmente, às perdas gasosas do N (volatilização e desnitrificação). As perdas do fertilizante nitrogenado por

desnitrificação têm sido estimadas em menos de 10 % na cultura do milho (Hilton et al., 1994), porém a perda de amônia (N-NH₃) por volatilização, quando a ureia não é enterrada, ou incorporada ao perfil do solo pela água da chuva ou de irrigação, pode atingir de 31 a 78 % do total de N aplicado (Lara Cabezas et al., 1997).

As práticas de manejo do solo, as condições climáticas, a época de aplicação do N e as características do solo são responsáveis pela dinâmica do N. Nesse contexto, Costa et al. (2004) avaliaram as perdas de N, na forma de amônia, provenientes da aplicação da ureia em três solos argilosos, submetidos a diferentes regimes de umidade e com diferentes características químicas e mineralógicas. Esses autores observaram que os solos apresentaram diferenças quanto às perdas de N-NH₃, em função da umidade inicial e da composição mineralógica da fração argila. Para condições de solos saturados por água essa característica não foi influenciada.

Sabe-se da grande importância do molibdênio para a atividade enzimática. Portanto, qualquer deficiência do elemento pode comprometer o metabolismo do N, visto que o micronutriente é componente da enzima redutase do nitrato, responsável pela redução do nitrato absorvido para nitrito e, posteriormente, a NH_3 pela atuação do ciclo GS/GOGAT ou asparagina sintetase (Taiz & Zeiger, 2009).

Em estudos realizados por Ferreira (2001) na Zona da Mata de Minas Gerais foram obtidos incrementos de produtividade do milho com a adubação molíbdica utilizando doses crescentes de molibdênio em associações com doses de N. Diante disso, objetivou-se com este trabalho avaliar o efeito da época de aplicação de N, na forma de ureia enriquecida com ^{15}N , sobre a produtividade de grãos e sua distribuição na planta de milho, na presença e ausência de adubação de molibdênio, sob sistema plantio direto.

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido no ano agrícola 2006/07, na Estação Experimental de Coimbra, situada no município de Coimbra, na Zona da Mata de Minas Gerais, caracterizada pelas coordenadas geográficas de $20^\circ 50' 30''$ de latitude Sul e $42^\circ 48' 30''$ de longitude Oeste, altitude de 715 m, em solo classificado como Argissolo Vermelho-Amarelo distrófico (Embrapa, 2006). Na camada de 0 a 10 cm, o solo apresentou as seguintes características: 70 % de argila; pH em água de 5,5; $19,4 \text{ mg dm}^{-3}$ de P (Mehlich-1); $135,0 \text{ mg dm}^{-3}$ de K; $0,1 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ de Al; $1,6 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ de Ca; $0,7 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ de Mg; e $2,1 \text{ g dm}^{-3}$ de MO.

O delineamento experimental foi o de blocos casualizados, com três repetições, no esquema fatorial $3 \times 2 + 1$, sendo três épocas de aplicação de N, na ausência e na presença de adubação com molibdênio (Mo), e uma testemunha sem fertilização. Os tratamentos consistiram de: T1 - aplicação total de N 15 dias antes do plantio, sem molibdênio; T2 - aplicação total de N no plantio, sem molibdênio; T3 - aplicação total de N na época em que o milho se encontrava com quatro folhas completamente desenvolvidas, sem molibdênio; T4 - aplicação total de N 15 dias antes do plantio, com molibdênio; T5 - aplicação total de N no plantio, com molibdênio; T6 - aplicação total de N na época em que o milho se encontrava com quatro folhas completamente desenvolvidas, com molibdênio; e T7 - testemunha sem N e sem aplicação de Mo. O cultivar utilizado foi o híbrido simples AG 9010. O plantio foi realizado manualmente, em novembro (30/11/2006), sobre palhada de aveia no sistema plantio direto. Após o desbaste, manteve-se população de 50.000 plantas ha^{-1} . A parcela experimental foi composta por oito linhas de 5,0 m de comprimento, com espaçamento de 0,50 m entre as linhas de plantio. A área útil de cada parcela foi de 12 m^2 .

A adubação de plantio foi realizada com 380 kg ha^{-1} da formulação 8-28-16 (N- P_2O_5 - K_2O) para as parcelas que receberam N no plantio, sendo o restante do N aplicado na forma de ureia, totalizando 150 kg ha^{-1} . Para as parcelas que não receberam N (testemunha), adubou-se com $106 \text{ kg de P}_2\text{O}_5$, na forma de superfosfato simples, e $60 \text{ kg de K}_2\text{O}$, como cloreto de potássio. A adubação de cobertura e pré-semeadura com N foi realizada, também, com ureia, utilizando 150 kg ha^{-1} . Para aplicação do N marcado (enriquecida com 5 % de átomos em excesso de ^{15}N), utilizou-se uma microparcela de $2 \times 2 \text{ m}$ locada dentro da área útil da parcela, sem incorporação, de modo que toda a parcela recebesse 150 kg ha^{-1} de N em todos os tratamentos, com exceção da testemunha. O Mo (90 g ha^{-1}) foi aplicado como molibdato de sódio, por via foliar, aos 25 dias após a emergência (DAE), de acordo com Pereira (1997), nos respectivos tratamentos.

As plantas daninhas foram controladas por meio de capinas químicas, utilizando o herbicida proveniente da mistura atrazine + nicosulfuron ($1,5 \text{ kg ha}^{-1} + 12 \text{ g ha}^{-1}$ do i.a., respectivamente). Não houve necessidade de realizar o controle de insetos-pragas.

Foram realizadas amostragens das plantas aos 45, 60, 75, 90 dias após a emergência (DAE) e também por ocasião da colheita, quando se coletaram duas plantas inteiras por microparcela, as quais foram particionadas em colmo, folhas, pendão e espiga (grãos, sabugo e palha). Após essa etapa, as amostras foram secas em estufa (65°C por 72 h) com circulação de ar forçada e, então, moídas em moinho tipo Willey, sendo posteriormente moídas novamente em moinhos de bola, para obtenção de granulometria menor que 100 mesh. As amostras de tecido vegetal foram analisadas para N total e abundância de ^{15}N em espectrômetro de massa de razão isotópica de fluxo contínuo (ANCA-GSL 20-20. Sercon, Crewe, UK). A abundância de ^{15}N foi expressa em relação ao N atmosférico (Delta air em partes por mil - ‰). Nitrogênio acumulado (kg ha^{-1}) em cada compartimento da planta foi calculado com base na produção de matéria seca e nos teores de N na planta (g kg^{-1}). A percentagem de N nesses diferentes compartimentos, proveniente do fertilizante (% NPPF), foi calculada conforme a equação (Oliveira et al., 2003): $\% \text{NPPF} = [(a-c)/(b-c)] \times 100$, em que a = abundância de ^{15}N em ‰ de átomos em excesso no tecido de cada compartimento, b = 5 ‰, enriquecimento da ureia em ^{15}N ; e c = abundância de ^{15}N natural no tecido da planta (mensurada na testemunha).

A quantidade de N do grão, proveniente do fertilizante (QNPPF), conforme a equação (Oliveira et al., 2003): $\text{QNPPF} (\text{kg ha}^{-1}) = [\% \text{NPPF}/100] \times \text{Np}$, em que $\text{Np} = \text{N}$ acumulado em cada compartimento, em kg ha^{-1} .

A avaliação de produtividade e dos componentes de produção (kg ha^{-1}) foi realizada com o peso total de grãos da parcela, extrapolando-se os resultados para a produtividade de 1 ha; a umidade de grãos foi corrigida para 13 %.

Os dados foram submetidos à análise de variância, comparação de médias foi feita pelo teste de Tukey ($p < 0,05$); para as características quantitativas, utilizou-se análise de regressão. As médias de precipitação e temperatura obtidas na estação experimental de Coimbra, por decêndio, estão representadas na Figura 1.

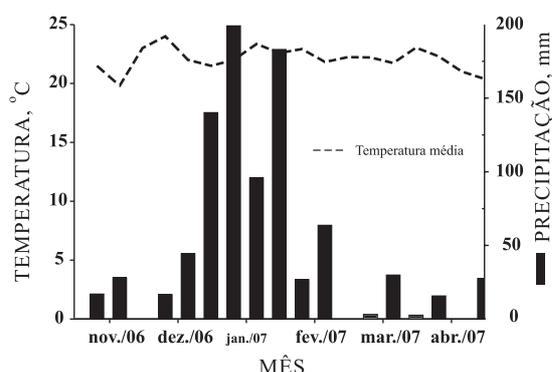


Figura 1. Precipitação (mm) e temperatura média em decêndio (°C), observadas durante a condução do experimento em 2006/2007.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A recuperação do ^{15}N do fertilizante nas folhas, no colmo, no pendão, na palha de espiga e no sabugo não diferiu entre os tratamentos. Já para a produção de grãos e quantidade de N total na planta proveniente do fertilizante (QNPPF) houve diferença estatística entre os tratamentos, independentemente da aplicação de Mo (Quadro 1). Em média, 62 % da massa seca total da planta alocou-se nos grãos, restando 38 % para as demais partes da planta. O tratamento com N aplicado na época em que o milho se encontrava

com quatro folhas completamente desenvolvidas (T6) foi superior ao demais; no entanto, diferiu significativamente somente do tratamento 4, para o peso de matéria seca de grãos. Apesar de não existir diferença entre as demais características avaliadas, observava-se uma tendência de melhores respostas para a adubação nitrogenada realizada quando o milho se apresentava com quatro folhas desenvolvidas.

A quantidade média de ^{15}N na planta proveniente do fertilizante (QNPPF) foi de $9,21 \text{ kg ha}^{-1}$, representando cerca de 6 % do N total acumulado na parte aérea do milho. As maiores quantidades de ^{15}N provenientes de fertilizantes foram de $15,70$ e $16,20 \text{ kg ha}^{-1}$, para os tratamentos que receberam o N na quarta folha completamente desenvolvida do milho (T3 e T6, respectivamente), independentemente da aplicação de Mo; esses resultados coincidem com o maior peso de matéria seca total (Quadro 1). Fernandes & Libardi (2007) também encontraram valores baixos de recuperação de N do fertilizante na parte aérea do milho e associaram essas prováveis perdas (lixiviação, desnitrificação e volatilização) às causas climáticas ocorridas e à permanência deste N no solo – fato este que pode ter ocorrido durante a realização deste trabalho (Figura 1). Infere-se, portanto, que o potencial de mineralização do N-orgânico do solo constituiu-se em uma importante fonte de N para a planta, conforme descrito por Sampaio et al. (1995); muitas vezes, esse N orgânico contido no solo exerce grande influência sobre os valores de NPPF obtidos em campo (Liang & Mackenzie, 1994).

Os tratamentos influenciaram os componentes de produção estudados. A adubação nitrogenada aumentou a produtividade do milho de 887 kg ha^{-1} (testemunha) para uma média de $4166,6 \text{ kg ha}^{-1}$, um incremento de 470 % (Quadro 1). Não houve, no entanto, efeito significativo da aplicação de molibdênio (Mo).

Quadro 1. Massa seca do grão, da folha, do colmo, do pendão, da palha de espiga e do sabugo em kg ha^{-1} , matéria seca total e quantidade de N na planta proveniente do fertilizante (QNPPF), em toda a planta de milho (kg ha^{-1}), em Coimbra - MG

Molibdênio	Nitrogênio	Grãos	Folha	Colmo	Pendão	P. Espiga	Sabugo	MS total	QNPPF
		kg ha^{-1}							
- Mo	N 15 DAP	3740,3 ab	760,2 a	1259,0 a	74,3 a	780,1 a	666,7 a	7387,6 a	6,1 bc
	N Plantio	4625,9 ab	1292,8 a	1152,2 a	53,4 a	642,2 a	677,7 a	7727,4 a	8,3 b
	N 4ª Folha	4434,6 ab	833,7 a	998,3 a	66,7 a	726,9 a	657,8 a	7831,1 a	15,7 a
	Média	4266,9A	962,2A	1457,2A	64,8A	716,4A	667,4A	7648,7A	10,0A
+ Mo	N 15 DAP	2810,7 b	991,8 a	1038,1 a	52,7 a	955,9 a	687,2 a	7177,9 a	3,5 c
	N Plantio	3864,2 ab	880,1 a	1065,6 a	45,8 a	609,7 a	470,0 a	7029,9 a	5,4 bc
	N 4ª Folha	5524,09 a	654,2 a	994,7 a	42,3 a	663,2 a	640,7 a	7583,8 a	16,2 a
	Média	4066,3A	842,0A	1032,8A	46,9A	758,6A	599,3A	7263,9A	8,4A
	CV (%)	18,07	35,58	20,54	45,39	50,98	51,15	17,57	19,55

Médias seguidas por uma mesma letra, na coluna, não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey a de 5 %.

O tratamento T3 elevou o peso de 1000 grãos em 16 %, o peso de espiga em 388 % e a produtividade de grãos em 400 % em relação à testemunha e de 522 % com adubação molíbdica (Quadro 2). Possivelmente, a eficiência de absorção do N através das raízes do milho foi um dos fatores responsáveis por esse comportamento, expressando elevada atividade metabólica e, conseqüentemente, maior teor de N nas folhas. Outro fator que pode estar contribuindo com esse resultado pode ser a maior duração do período vegetativo, pela característica *stay green* do cultivar. De acordo com Sangoi et al. (2007a), a maior eficiência dos híbridos modernos e tolerantes ao adensamento em converter a fitomassa acumulada na floração em produção de grãos pode estar relacionada com a senescência foliar mais lenta na fase reprodutiva – fato este que ocorreu nesse experimento.

Para o efeito das épocas de aplicação do N (Quadro 2), observou-se a superioridade dos componentes de produção e da produtividade quando se realizou o parcelamento do N na quarta folha. A produtividade do milho na safra 2006/2007, neste estudo, foi relativamente baixa, quando comparada com o potencial produtivo de grãos da região. O clima adverso (excessivamente chuvoso) (Figura 1), combinado com a topografia plana e infiltração lenta, típica de Argissolo, contribui para o excesso de umidade e a elevada heterogeneidade das plantas, resultando em coeficientes de variação elevados (Quadro 2). Santos et al. (2007) em trabalhos realizados em Coimbra – MG, constataram que a maior produtividade de milho foi na adubação realizada na quarta folha, o que corrobora os resultados encontrados neste trabalho, bem como por Ceretta et al. (2002).

A época de aplicação da adubação nitrogenada não influenciou no peso da massa de mil grãos entre os tratamentos; contudo, para peso de espiga e produtividade, houve diferença entre as épocas,

indicando que a alocação de N contribuiu para aumentar o número de grãos e tamanho da espiga (Quadro 2). Apesar de haver resposta para o peso de espigas e de grãos na adubação nitrogenada aplicada no estádio de quatro folhas do milho, com aproximadamente 1.000 kg ha⁻¹ a mais que nas demais épocas, os resultados não diferiram significativamente da aplicação de N no plantio (Quadro 2). A aplicação de N na pré-semeadura reduziu o peso de grãos em 17 % em relação à adubação no estádio de quatro folhas e em 6 % comparado com a aplicação de N no plantio. Silva et al. (2005), avaliando o efeito da época de aplicação de N-ureia em duas formas de aplicações (superfície e incorporado), na região de Cerrado, observaram que o N incorporado na semeadura e N aplicado aos 15 dias após a emergência das plântulas (120 kg ha⁻¹) foram os tratamentos que promoveram maior rendimento de grãos.

Não se observaram diferenças no teor de N das plantas em função das épocas de aplicação nos tratamentos sem Mo (Figura 2) aos 45 dias após a emergência (DAE). No florescimento do milho, próximo dos 60 DAE, observou-se que o tratamento testemunha foi o que expressou menor conteúdo de N em relação aos demais (16,7 g kg⁻¹ ± 0,14); quando o N foi aplicado no momento em que a planta apresentava quatro folhas completamente expandidas (T3), atingiu o maior conteúdo de N (27,3 g kg⁻¹ ± 0,02). Após 75 DAE, observou-se redução nos teores de N: T3 > T2 > T1 > testemunha. Esse comportamento pode ser explicado pela própria época de aplicação de N no solo: na aplicação de N na época em que o milho se encontrava com quatro folhas expandidas houve favorecimento desse nutriente no solo, devido à aplicação tardiamente e também ao maior aproveitamento do N promovido pela maior exploração das raízes de milho ao solo. Quando a adubação

Quadro 2. Peso de mil grãos (P 1000), peso de espiga (PE) e produtividade (PG) em função dos tratamentos e da época de aplicação de nitrogênio, Coimbra - MG

Molibdênio	Nitrogênio	P 1000	PE	PG
		g	kg ha ⁻¹	
- Mo	N 15 DAP	239 ab	4521 a	3740 a
	N Plantio	236 ab	4412 a	3625 a
	N 4ª Folha	263 a	5821 a	4434 a
+ Mo	N 15 DAP	232 ab	3956 ab	2810 ab
	N Plantio	252 ab	4492 a	3864 a
	N 4ª Folha	247 ab	5547 a	5524 a
Testemunha (-N e -Mo)		225 b	1192 b	887 b
Épocas de aplicação do N				
N 15 DAP		235 a	4238 b	3297 b
N Plantio		244 a	4452 b	3503 ab
N 4ª Folha		255 a	5658 a	4486 a
CV (%)		6,42	30,13	31,14

Médias seguidas por uma mesma letra, na coluna, não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey a 5 %.

nitrogenada foi acompanhada de adubação mólíbdica, observou-se comportamento semelhante à ausência de Mo até os 75 dias (75 DAE). Após esse período, observou-se efeito inverso, com tendência de aumento nos teores de N. Pode-se inferir que a adubação nitrogenada associada ao Mo influenciou no metabolismo da planta, acelerando a transformação do N em fotoassimilados, quando se adubou na quarta folha completamente desenvolvida do milho. Esse efeito pode ser influenciado pela maior eficiência de absorção e translocação de N pelos transportadores, conforme observado por Lea & Azevedo (2007).

Outro fator que pode ter influenciado esse comportamento é a característica genética que dá a planta de milho maior período vegetativo, mesmo após a maturação fisiológica dos frutos, denominado de *stay green*, o que favorece a planta maior reserva energética, possibilitando maior período de translocação durante toda a fase de enchimento dos grãos (Gong et al., 2005; Silva et al., 2008).

Apenas o teor de N no grão diferiu estatisticamente em relação à época de aplicação do N (Quadro 3). Houve superioridade no conteúdo de N quando este foi aplicado sobre a palhada de aveia-preta 15 dias antes do plantio (época 1). No entanto, esse resultado diferiu somente da aplicação de N no plantio. Quanto às demais características avaliadas, não foram encontradas variações entre as médias; mesmo assim, observou-se distribuição equilibrada do conteúdo de N em todas as partes da planta, independentemente da época de aplicação de N na superfície do solo. Esses resultados estão de acordo com os encontrados por Gava et al. (2006). Essa distribuição equidistante no conteúdo de N deve-se à rápida absorção de N pelas raízes e também à sua mobilidade interna (Taiz & Zeiger, 2004).

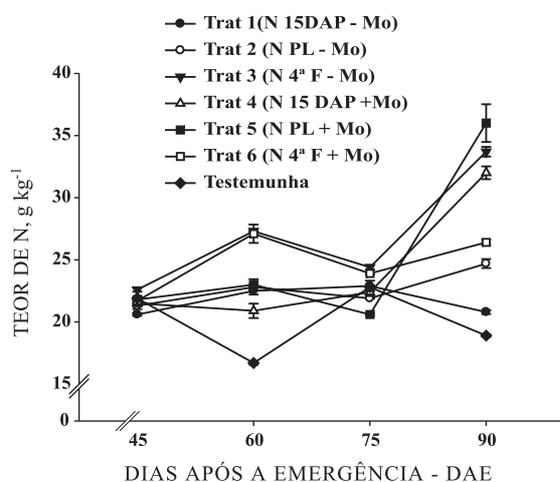


Figura 2. Teor de nitrogênio na folha de milho em função das épocas de aplicação de N e no suprimento de Mo na cultura do milho. Barras verticais: intervalo de confiança.

No sistema plantio direto, a antecipação da adubação nitrogenada (pré-semeadura) é uma prática que, dependendo do tipo de solo, pode ter respostas positivas a aplicação de N mineral para o cultivo de milho (Sangoi et al., 2007b). Lara Cabezas et al. (1997) relataram que a aplicação de N antecipada na região dos cerrados representa uma prática de risco, em razão da ocorrência de chuvas de alta intensidade, acarretando a perda do referido nutriente por lixiviação e volatilização e, conseqüentemente, perda de produtividade, conforme observado também por Silva et al. (2005). Esse fato pode ter acontecido nesse experimento, apesar de ser um solo bastante argiloso, devido à elevada intensidade e volume de chuvas durante a condução do experimento (Figura 1). Entretanto, a aplicação em pré-semeadura certamente promoveu acréscimos no teor de N no solo e na absorção pelas plantas de milho após o manejo da cultura de cobertura, podendo também ter influenciado a taxa de decomposição dos resíduos vegetais, corroborando assim os resultados encontrados por Basso & Ceretta (2000).

Na literatura brasileira há poucos trabalhos relativos à aplicação do molibdênio na cultura do milho e, na maioria deles, não foi verificada melhoria do crescimento ou da produção de grãos – dados esses que corroboram os resultados encontrados no presente trabalho. O pequeno efeito da adubação mólíbdica pode ser atribuído a vários fatores: teores de Mo na semente e, ou, no solo próximos aos ideais para o milho; alta adubação fosfatada utilizada como adubação básica, a qual pode ter propiciado aumento da disponibilidade desse micronutriente no solo; e aplicação tardia do Mo, uma vez que, neste estudo, ele foi aplicado por meio de pulverização foliar aos 25 DAE, confirmando com resultados encontrados por Pereira et al. (1999). Entretanto, Araújo et al. (1996) obtiveram incremento de 14,3 % na produtividade de grãos de milho com aplicação de 90 g ha⁻¹ de Mo; também Coelho (1997) observou aumento de 39,5 % na produção de grãos do milho (AG 302A) com a adubação de 50 g ha⁻¹ de Mo, no município de Coimbra-MG, aplicados em cobertura em pulverização foliar, aos 15 DAE.

Ao analisar a abundância de N marcado (¹⁵N), observou-se que a adubação nitrogenada elevou os patamares de N na folha, independentemente da época de aplicação de N e da adubação ou não com Mo, quando comparado com o tratamento testemunha (Figura 3). Quando se aplicou N 15 dias antes do plantio e no ato do plantio, o pico máximo de N derivado do fertilizante coincidiu com a época de florescimento, decrescendo na fase de enchimento de grãos e maturação fisiológica. Já na aplicação com a planta na quarta folha houve maior contribuição do ¹⁵N do fertilizante ao longo do ciclo da cultura, até mesmo na fase de enchimento de grãos. Essa maior disponibilidade de N certamente favoreceu a maior produtividade do milho (Quadro 2). Observou-se comportamento semelhante para ¹⁵N foliar derivado do fertilizante, com superioridade dos tratamentos 3

Quadro 3. Teor de nitrogênio (g kg^{-1}) na colheita para as características: na folha (NF), no colmo (N Col), no grão (N Grão), na palha do milho (N Palha), no sabugo (N Sab), no pendão (N Pend) e na raiz de milho (N Raiz), em função dos tratamentos e da época de aplicação de nitrogênio, Coimbra - MG

Molibdênio	Nitrogênio	NF	N Col	N Grão	N Palha	N Sab	N Pend	N Raiz
		g kg^{-1}						
- Mo	N 15 DAP	16,3 a	13,4 a	20,1 a	12,8 a	11,4 a	15,1 a	14,8 a
	N Plantio	15,5 a	15,3 a	18,5 a	13,2 a	12,7 a	14,2 a	14,5 a
	N 4ª Folha	15,1 a	12,4 a	19,2 a	12,1 a	13,0 a	14,7 a	15,6 a
+ Mo	N 15 DAP	14,7 a	12,6 a	19,1 a	12,6 a	12,1 a	15,8 a	16,2 a
	N Plantio	15,3 a	12,7 a	17,7 a	11,9 a	12,1 a	15,3 a	15,5 a
	N 4ª Folha	15,4 a	12,7 a	17,7 a	12,2 a	12,2 a	14,9 a	16,8 a
Testemunha (-N e -Mo)		15,5 a	13,4 a	19,3 a	11,8 a	12,9 a	15,4 a	15,8 a
Épocas de aplicação do N								
	N 15 DAP	15,5 a	13,0 a	19,6 a	12,7 a	11,8 a	15,4 a	15,5 a
	N Plantio	15,4 a	13,1 a	18,1 b	12,5 a	12,4 a	14,7 a	15,0 a
	N 4ª Folha	15,2 a	12,5 a	1,84 ab	12,1 a	12,6 a	14,8 a	16,2 a
	CV (%)	6,59	4,07	6,36	5,15	6,93	4,81	7,29

Médias seguidas por uma mesma letra, na coluna, não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey a 5 %.

e 6 (aplicação no estágio de quarta folha). Portanto, ficou evidente que a aplicação de N no estágio de quarta folha favorece sua absorção e translocação para o grão. Os valores de abundância de ^{15}N variaram entre 17,81 \pm 4,34 (testemunha) a 400,85 \pm 351,59 % para os tratamentos sem aplicação de Mo, e de 17,81 \pm 4,34 (testemunha) a 455,77 \pm 201,57 % para as adubações nitrogenadas acompanhadas do Mo.

Para o aproveitamento de N nos componentes individuais provenientes do fertilizante (% NPPF), os resultados variaram de 0,9 % no sabugo, quando da aplicação de N em pré-semeadura (T4), até 15,1 % quando avaliado no grão (T3) (Quadro 4). Novamente, independentemente da característica avaliada, a

melhor resposta foi para a época de adubação de N quando a planta de milho se encontrava com quatro folhas expandidas, sendo a característica N no grão detentora de melhores conteúdos do NPPF. Entre todas as características avaliadas, as melhores médias de aproveitamento de ^{15}N derivado do fertilizante foram encontradas nos tratamentos: T3 (8,1 %), seguidos de T6 (7,4 %), T2 (4,2 %) e T5 = T1 (3,3 %). No entanto, quando a avaliação foi realizada nas épocas de aplicação do N, as variações ocorreram entre 1,0 e 14,6 %, com médias de 2,9, 3,8 e 7,8 %, respectivamente para as épocas de aplicação: 1 – (pré-semeadura), 2 – (plantio) e 3 – (quarta folha) (Quadro 4). Os baixos valores de NPPF podem ter sido influenciados, conforme já comentado, pelo excesso de chuva (Figura 1) e, ou, pela imobilização do N pela palhada seca da aveia (7 %). Outros pesquisadores encontraram recuperação de N superior à encontrada nesse trabalho: Lara Cabezas et al. (2000), de aproximadamente 24 %; Duete (2008), de 39 %; Cantarella et al. (2003), de 18 a 28 % do total de N acumulado na parte aérea; de Gava et al. (2006), de 27 e 23 % do total de N acumulado na parte aérea do milho, respectivamente, no plantio convencional e plantio direto, proveniente do fertilizante.

O baixo aproveitamento do N pelas plantas pode ter sido influenciado diretamente pelo excesso de chuvas que ocorreu durante o período de avaliação (Figura 1); além do mais, a condição de baixa luminosidade pode ser outro fator que contribuiu para esses resultados (Taiz & Zeiger, 2004), acarretando a baixa produção de grãos, conforme descrito anteriormente (Quadro 1).

Lara Cabeza & Couto (2007), estudando o efeito de imobilização de N das fontes uréia e sulfato de amônio, observaram que houve tendência de diminuição do N total do solo no sulco de adubação em ambas as fontes, como consequência da provável mineralização de N-MO

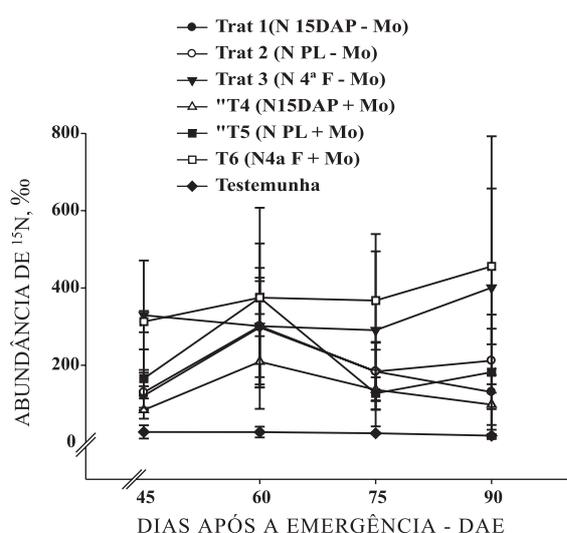


Figura 3. Abundância de N (^{15}N) na folha de milho em função das épocas de aplicação de N na cultura do milho. Barras verticais: intervalo de confiança.

Quadro 4. Percentagem de N nos diversos componentes da planta proveniente do fertilizante (%NPPF), na folha (NF), no colmo (N Col), no grão (N Grão), na palha do milho (N Palha), no sabugo (N Sab), no pendão (N Pend) e na raiz de milho (N Raiz), em função da época de aplicação de nitrogênio e do suprimento de Mo, em Coimbra - MG

Molibdênio	Nitrogênio	NF	N Col	N Grão	N Palha	N Sab	N Pend	N Raiz	Média
		% NPPF							
- Mo	N 15 DAP	4,8 b	2,7 a	6,5 b	1,8 ab	1,2 a	3,2 c	2,9 b	3,3
	N Plantio	6,0 b	3,1 a	7,1 b	2,4 ab	2,7 a	4,9 bc	3,0 b	4,2
+ Mo	N 4ª Folha	12,0 a	4,3 a	15,2 a	3,0 ab	3,4 a	8,4 ab	10,2 a	8,1
	N 15 DAP	3,3 b	1,7 a	4,7 b	1,2 b	0,9 b	3,0 c	2,2 b	2,4
	N Plantio	5,4 b	1,5 a	6,1 b	1,6 ab	1,5 a	4,5 bc	2,6 b	3,3
	N 4ª Folha	13,4 a	3,9 a	14,1 a	3,4 a	2,2 a	9,1 a	6,0 ab	7,4
		Épocas de aplicação do N							
	N 15 DAP	4,0 b	2,2 b	5,6 b	1,5 b	1,0 b	3,1 b	2,55 b	2,9
	N Plantio	5,7 b	2,3 b	6,6 b	2,0 ab	2,1 ab	4,9 b	2,8 b	3,8
	N 4ª Folha	12,7a	4,1 a	14,6 a	3,2 a	2,8 a	8,7 a	8,1 a	7,8
	CV (%)	26,65	34,55	24,00	33,92	45,54	26,02	32,77	

Médias seguidas por uma mesma letra, na coluna, não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey a 5 %.

(Matéria Orgânica), da absorção pela planta e do deslocamento do N fertilizante para a subsuperfície. Os resultados deste experimento e os da literatura evidenciam que o maior dreno de N na planta localiza-se no grão e que grande quantidade do N das partes vegetativas da planta é translocada até o grão, onde é acumulado, fazendo parte de aminoácidos e proteínas na sua formação, corroborando resultados encontrados por Gava et al. (2006).

Por se tratar de um experimento em campo, o N não recuperado das fontes ^{15}N inclui, além de possíveis erros experimentais não controlados, as perdas de N do solo por lixiviação, volatilização de amônia e desnitrificação (Lara Cabezas et al., 2000) ou pela parte aérea, na forma de NH_3 junto à corrente transpiratória, na senescência foliar (Harper & Sharpe, 1995) e até mesmo do N-orgânico que permanece no solo, concordando com os resultados encontrados neste trabalho. Infere-se, portanto, que o potencial de mineralização do N-orgânico do solo constitui-se em uma importante fonte de N para a planta (Sampaio et al., 1995); esse N orgânico contido no solo exerce grande influência sobre os valores de NPPF obtidos em campo (Liang & Mackenzie, 1994; Gava et al., 2006).

CONCLUSÕES

1. O melhor suprimento de N ao longo do ciclo e a maior produtividade foram obtidos com a aplicação do fertilizante no estágio de quatro folhas expandidas do milho.

2. A aplicação do N na pré-semeadura do milho, 15 dias antes do plantio, demonstrou não ser recomendável para as condições de solo e clima estudadas.

3. A parte da planta do milho de maior alocação de ^{15}N foi o grão.

4. A recuperação média de N (^{15}N) na planta, proveniente do fertilizante, foi de 6 %.

AGRADECIMENTOS

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) e Capes, pela concessão da bolsa; ao Departamento de Fitotecnia da Universidade Federal de Viçosa, pelo espaço físico cedido para a realização do trabalho; e aos demais funcionários da UFV que tiveram participação na realização deste trabalho.

LITERATURA CITADA

- ARAÚJO, G.A.A.; VIEIRA, C.; BERGER, P.G. & GALVÃO, J.C.C. Épocas de aplicação de molibdênio na cultura do milho. In: CONGRESSO NACIONAL DE MILHO E SORGO, 21., Londrina, 1996. Anais... Londrina, IAPAR, 1996. p.160.
- BASSO, C.J. & CERETTA, C.A. Manejo do nitrogênio no milho em sucessão a plantas de cobertura de solo, sob plantio direto. R. Bras. Ci. Solo, 24:905-915, 2000.
- CANTARELLA, H.; LERA, F.I.; BOLONHEZI, D.; LARA-CABEZAS, W.A.R. & TRIVELIN, P.C.O. Antecipação de N em milho em sistema de plantio direto usando ^{15}N -ureia. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DE SOLO, 24., Ribeirão Preto, 2003. Anais. Ribeirão Preto, Sociedade Brasileira de Ciência de Solo, 2003. CD-ROM.
- CERETTA, C.A.; BASSO, C.J.; FLECHA, A.M.T.; PAVINATO, P.S.; VIEIRA, F.C.B. & MAI, M.E.M. Manejo da adubação nitrogenada na sucessão aveia preta/milho, no sistema plantio direto. R. Bras. Ci. Solo, 26:163-171, 2002.

- COELHO, F.C. Efeito do nitrogênio e do molibdênio sobre as culturas do milho e do feijão em monocultivos e em consórcio. Viçosa, MG, Universidade Federal de Viçosa, 1997. 132p. (Tese de Doutorado)
- COSTA, A.C.S.; FERREIRA, J.C.; SEIDEL, E.P.; TORMENA, C.A. & PINTRO, J.C. Perdas de nitrogênio por volatilização da amônia em três solos Argilosos tratados com ureia. *Acta S. Agron.*, 26:467-473, 2004.
- DUETE, R.R.C.; MURAOKA, T.; SILVA, E.C.; TRIVELIN, P.C.O. & AMBROSANO, E.J. Manejo da adubação nitrogenada e utilização do nitrogênio (¹⁵N) pelo milho em Latossolo Vermelho. *R. Bras. Ci. Solo*, 32:161-171, 2008.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Sistema brasileiro de classificação de solos. Rio de Janeiro, 2006. 306p.
- FERNANDES, F.C.S. & LIBARDI, P.L. Percentagem de recuperação de nitrogênio pelo milho, para diferentes doses e parcelamentos do fertilizante nitrogenado. *R. Bras. Milho Sorgo*, 6:285-296, 2007.
- FERREIRA, A.C.B.; ARAÚJO, G.A.A.; PEREIRA, P.R.G.; CARDOSO, A.A. Características agronômicas e nutricionais do milho adubado com nitrogênio, molibdênio e zinco. *Sci. Agric.*, 58:131-138, 2001.
- GAVA, G.J.C.; TRIVELIN, P.C.O.; OLIVEIRA, M.W.; HEINRICH, R. & SILVA, M.A. Balanço do nitrogênio da ureia (¹⁵N) no sistema solo-planta na implantação da semeadura direta na cultura do milho. *Bragantia*, 65:477-486, 2006.
- GROVE, L.T.; RITCHEY, K.D. & NADERMAN JUNIOR, G.C. Nitrogen fertilization of maize on Oxisol of the cerrado of Brasil. *Agron. J.*, 27:261-265, 1980.
- GONG, Y.H.; ZHANG, J.; GAO, J.F.; LU, J.Y. & WANG, J.R. Slow export of photoassimilate from stay-green leaves during late grain-filling stage in hybrid winter wheat (*Triticum aestivum* L.). *J. Agron. Crop Sci.*, 191:292-299, 2005.
- HARPER, L.H. & SHARPE, R.R. Nitrogen dynamics in irrigated corn: Soil-plant nitrogen and atmospheric ammonia transport. *Agron. J.*, 87:669-675, 1995.
- HILTON, B.R.; FIXEN, P.E. & WOODWARD, H.J. Effects of tillage, nitrogen placement, and wheel compactation on denitrification rates in the corn cycle of a corn-oats rotation. *J. Plant Nutr.*, 17:1341-1357, 1994.
- LARA-CABEZAS, W.A.R. & COUTO, P.A. Imobilização de nitrogênio da ureia e do sulfato de amônio aplicado em pré-semeadura ou cobertura na cultura de milho, no sistema plantio direto. *R. Bras. Ci. Solo*, 31:739-752, 2007.
- LARA-CABEZAS, W.A.R.; TRIVELIN, P.C.O.; KONDÖRFER, G.H. & PEREIRA, S. Balanço da adubação nitrogenada sólida e fluida de cobertura na cultura do milho, em sistema plantio direto no triângulo mineiro (MG). *R. Bras. Ci. Solo*, 24:363-376, 2000.
- LARA-CABEZAS, W.A.R.; KORNDORFER, G.H. & MOTTA, S.A. Volatilização de N-NH₃ na cultura do milho: II. Avaliação de fontes sólidas e fluídas em sistema de plantio direto e convencional. *R. Bras. Ci. Solo*, 21:489-496, 1997.
- LEA, P.J. & AZEVEDO, R.A. Nitrogen use efficiency. 2. Amino acid metabolism. *Ann. Appl. Biol.*, 151:269-275, 2007.
- LIANG, B.C. & MACKENZIE, A.F. Corn yield, nitrogen uptake and nitrogen use efficiency as influenced by nitrogen fertilization. *Can. J. Soil Sci.*, 74:235-240, 1994.
- MELGAR, R.J.; SMYTH, T.J.; CRAVO, M.S. & SÁNCHEZ, P.A. Doses e épocas de aplicação de fertilizante nitrogenado para milho em Latossolo da Amazônia Central. *R. Bras. Ci. Solo*, 15:289-296, 1991.
- OLIVEIRA, P.P.A.; TRIVELIN, P.C.O. & OLIVEIRA, W.S. Eficiência da fertilização nitrogenada com ureia (¹⁵N) em *Brachiaria brizantha* cv. marandu associada ao parcelamento de superfosfato simples e cloreto de potássio. *R. Bras. Ci. Solo*, 27:613-620, 2003.
- PEREIRA, S.L.; ARAÚJO, G.A.A.; SEDIYAMA, C.S.; VIEIRA, C. & MOSQUIM, P.R. Efeitos da adubação nitrogenada e molibídica sobre a cultura do milho. *Ci. Agrotecnol.*, 23:790-799, 1999.
- PEREIRA, S.L. Efeito da adubação nitrogenada e molibídica sobre a produtividade, teor de nitrogênio, atividade da redutase de nitrato e outras características da cultura do milho. Viçosa, MG, Universidade Federal de Viçosa, 1997. 89p. (Tese de Doutorado)
- RAO, A.C.S.; SMITH, J.L.; PARR, J.F. & PAPENDICK, R.I. Considerations in estimating nitrogen recovery efficiency by the difference and isotopic dilution methods. *Fert. Res.*, 33:209-217, 1992.
- SAMPAIO, E.V.S.B.; SALCEDO, I.H.; SILVA, V.M. & ALVES, G.D. Capacidade de suprimento de nitrogênio e resposta à fertilização de vinte solos de Pernambuco. *R. Bras. Ci. Solo*, 19:269-279, 1995.
- SANGOI, L.; ERNANI, P.R. & SILVA, P.R.F. Maize response to nitrogen fertilization timing in two tillage systems in a soil with high organic matter content. *R. Bras. Ci. Solo*, 31:507-517, 2007b.
- SANGOI, L.; CHMITT, A. & ZANIN, C.G. Área foliar e rendimento de grãos de híbridos de milho em diferentes populações de plantas. *R. Bras. Milho Sorgo*, 6:263-271, 2007a.
- SANTOS, M.M.; GALVÃO, J.C.C.; MIRANDA, G.V.; FERREIRA, L.R.; VAZ de MELO, A. & FONTANETTI, A. Espaçamento entre fileiras e adubação nitrogenada na cultura do milho. *Acta Sci. Agron.*, 29:527-533, 2007.
- SILVA, J.A.G.; CARVALHO, F.I.F.; OLIVEIRA, A.C.; HARTWIG, I.; BERTAN, I.; CAETANO, V.R.; SCHIMDT, D.A.M.; VALÉRIO, I.P.; RIBEIRO, G. & BUSATO, C.C. Caráter stay-green e seu efeito no rendimento de grãos em trigo. *Bragantia*, 67:693-699, 2008.

- SILVA, E.C.; FERREIRA, S.M.; SILVA, G.P.; ASSIS, R.L. & GUIMARÃES, G.L. Épocas e formas de aplicação de nitrogênio no milho sob plantio direto em solo de cerrado. R. Bras. Ci. Solo, 29:725-733, 2005.
- TAIZ, L. & ZEIGER, E. Fisiologia vegetal. 3.ed. Porto Alegre, Artmed, 2009.