

Manejo da adubação nitrogenada na cultura do milho

Introdução

Nos últimos anos, a cultura do milho no Brasil vem passando por importantes mudanças tecnológicas, resultando em aumentos significativos da produtividade e da produção. Entre essas tecnologias, destaca-se a conscientização dos produtores acerca da necessidade de melhoria na qualidade dos solos, visando uma produção sustentada. Essa melhoria na qualidade dos solos está geralmente relacionada ao manejo adequado, o qual inclui, entre outras práticas, a rotação de culturas, o plantio direto, o manejo da fertilidade através da calagem e a adubação equilibrada com macro e micronutrientes, utilizando fertilizantes químicos ou orgânicos (esterco, compostos, adubação verde etc.).

Para que o objetivo do manejo racional da fertilidade do solo seja atingido, é imprescindível a utilização de uma série de instrumentos de diagnose de possíveis problemas nutricionais que, uma vez corrigidos, aumentarão as probabilidades de sucesso na agricultura.

Assim, o agricultor, ao planejar a adubação do milho, deve levar em consideração os seguintes aspectos: a) diagnose adequada dos possíveis fatores limitantes – análise de solo e histórico de calagem e adubação das glebas; b) quais nutrientes devem ser considerados nesse particular caso? (muitos solos têm adequado suprimento de Ca, Mg etc.); c) quantidades de N, P e K necessárias na semeadura? - determinadas pela análise de solo e removidas pela cultura; d) qual a fonte, quantidade e quando aplicar N? (baseado na produtividade desejada); e) quais nutrientes podem ter problemas neste solo? (lixiviação de nitrogênio em solos arenosos ou são necessários em grandes quantidades).

Exigências Nutricionais

Dados médios de experimentos conduzidos na Embrapa Milho e Sorgo, em Sete Lagoas- MG, ilustram a extração de nutrientes pelo milho cultivado para produção de grãos e silagem (Tabela 1). Observa-se que a extração de nitrogênio, fósforo, potássio, cálcio e magnésio aumenta linearmente com o aumento na produtividade da cultura e que as maiores exigências nutricionais do milho referem-se ao nitrogênio (N), ao potássio (K), seguindo-se o cálcio (Ca), o magnésio (Mg) e o fósforo (P).

Com relação aos micronutrientes, as quantidades requeridas pelas plantas de milho são muito pequenas. Para uma produtividade de 9 t de grãos ha⁻¹, são extraídos 2.100 g de ferro, 340 g de manganês, 400 g de zinco, 170 g de boro, 110 g de cobre e 9 g de molibdênio. Entretanto, a deficiência de um deles pode ter tanto efeito na desorganização de processos metabólicos e redução na

Autores

Antônio Marcos Coelho
Eng. Agr., PhD, Solos e
Nutrição de Plantas/
Agricultura de Precisão.
Pesquisador da Embrapa
Milho e Sorgo. C Postal 151,
Sete Lagoas – MG
amcoelho@cnpms.embrapa.br

produtividade, como a deficiência de um macronutriente como, por exemplo, o nitrogênio.

Tabela 1. Extração média de nutrientes pela cultura do milho destinada à produção de grãos e silagem em diferentes níveis de produtividades.

Tipo de exploração	Produtividade t/ha	Nutrientes extraídos ^{1/} kg/ha				
		N	P	K	Ca	Mg
Grãos	3,65	77	9	83	10	10
	5,80	100	19	95	17	17
	7,87	167	33	113	27	25
	9,17	187	34	143	30	28
	10,15	217	42	157	32	33
Silagem (matéria seca)	11,60	115	15	69	35	26
	15,31	181	21	213	41	28
	17,13	230	23	271	52	31
	18,65	231	26	259	58	32

^{1/} Para converter P em P₂O₅; K em K₂O; Ca em CaO e Mg em MgO, multiplicar por 2,29; 1,20; 1,39 e 1,66; respectivamente.

Fonte: modificada de COELHO & FRANÇA (1995)

Em milho, os nutrientes têm diferentes taxas de translocação entre os tecidos (colmos, folhas e grãos). No que se refere à exportação dos nutrientes, o fósforo é quase todo translocado para os grãos (77 a 86 %), seguido pelo nitrogênio (70 a 77 %), pelo enxofre (60 %), pelo magnésio (47 a 69 %), pelo potássio (26 a 43 %) e pelo cálcio (3 a 7 %). Isso implica que a incorporação dos restos culturais do milho devolve ao solo grande parte dos nutrientes, principalmente potássio e cálcio, contidos na palhada. Quando o milho é colhido para silagem, além dos grãos, a parte vegetativa é também removida, havendo conseqüentemente alta extração e exportação de nutrientes (Tabela 1). Assim, problemas de fertilidade do solo se manifestarão mais cedo na produção de silagem do que na produção de grãos. Na Figura 1, são apresentados dados de reciclagem (restituição) e exportação de nutrientes pelo milho destinado à produção de grãos e forragem.

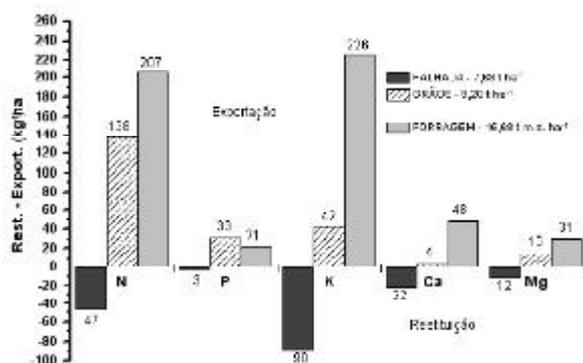


Figura 1. Reciclagem (restituição) e exportação de nutrientes pelo milho destinado a produção de grãos e forragem. Fonte: COELHO (2005)

De acordo com os dados apresentados na Figura 1, para alcançar uma produtividade de 9,20 t de grãos ha⁻¹ a cultura do milho absorveu um total de 185 kg ha⁻¹ de N, dos quais 138 kg ha⁻¹ (75 %) foram exportados nos grãos e 47 kg ha⁻¹ encontravam-se na palhada; 132 kg ha⁻¹ de K, dos quais apenas 42 kg ha⁻¹ (32 %) foram exportados nos grãos e 90 kg ha⁻¹ de K (68 %) encontravam-se na palhada (Figura 1). Pode-se afirmar, portanto, que a manutenção dos restos culturais na área devolve ao solo grande quantidade de K, caracterizando a cultura do milho destinada à produção de grãos como uma “bomba” recicladora de K, que recicla 12 kg de K por tonelada de palha. O milho destinado à produção de forragem tem recomendações especiais porque todo material é cortado e removido do campo antes que a cultura complete o seu ciclo. Com isso, a remoção de nutrientes é muito maior quando comparada com a cultura destinada à produção de grãos (Figura 1). Essas informações têm implicações na recomendação de adubação, tanto para o milho como para as outras culturas semeadas em rotação ou em sucessão a este cereal. Assim, ao se planejar a adubação para cultura do milho é importante considerar, além dos resultados das análises de solo, a extração dos nutrientes pela cultura, a finalidade de exploração (grãos ou forragem) e a estimativa do potencial de produtividade a ser alcançado.

Avaliação da Necessidade de Adubação Nitrogenada

Dos pontos de vista econômico e ambiental, a dose de N a aplicar é a mais importante decisão no manejo do fertilizante. A crescente adoção do sistema de plantio direto no Brasil e a necessidade de se utilizar culturas de cobertura e rotação de culturas visando à sustentabilidade desse sistema são aspectos que devem ser considerados na otimização da adubação nitrogenada. Assim, o diagnóstico da necessidade de N pelo milho visando atingir o máximo rendimento biológico e econômico contribui para maximizar a eficiência e o retorno do investimento e para reduzir os impactos ambientais provenientes de aplicações excessivas (contaminação do solo, da água e do ar) e deficientes do elemento (degradação do solo por diminuição das reservas naturais de N, principalmente N orgânico).



Figura 2. Sintoma típico da deficiência de nitrogênio em milho (foto à esquerda) comparado com plantas sem o sintoma de deficiência (foto à direita). Fonte: Fotos do autor

As recomendações atuais para a adubação nitrogenada do milho são realizadas com base em curvas de resposta, no histórico da área e na produtividade esperada. A quantidade recomendada de adubos nitrogenados em cobertura para a cultura do milho de sequeiro, de modo geral, varia de 60 a 100 kg de N/ha. Entretanto, esta recomendação seria insuficiente em agricultura irrigada, onde prevalece o uso de alta tecnologia para obtenção de elevadas produtividades. Nestas condições, doses de nitrogênio variando de 120 a 160 kg/ha podem ser necessárias para obtenção de elevadas produtividades (Tabela 1).

Na tomada de decisão sobre a necessidade de adubação nitrogenada, alguns fatores devem ser considerados, tais como: condições edafoclimáticas; sistema de cultivo (plantio direto ou convencional); época de semeadura (época normal ou safrinha); responsividade do material genético; rotação de culturas; época e modo de aplicação; fontes de nitrogênio; aspectos econômicos e operacionais. Isso enfatiza a regra de que as recomendações de nitrogênio devem ser cada vez mais específicas e não generalizadas.

Dentre as informações requeridas para otimizar essa recomendação, incluem-se: a) a estimativa do potencial de mineralização do N do solo; b) a quantidade de N mineralizado ou imobilizado pela cultura de cobertura; c) o requerimento do N pela cultura para atingir um rendimento projetado; d) a expectativa da eficiência de recuperação do N disponível das diferentes fontes (solo, resíduo de cultura, fertilizante mineral). A Figura 3 ilustra a complexidade envolvida, por exemplo, para recomendação de N para a cultura do milho, baseando-se em informações obtidas em solo sob Cerrado.

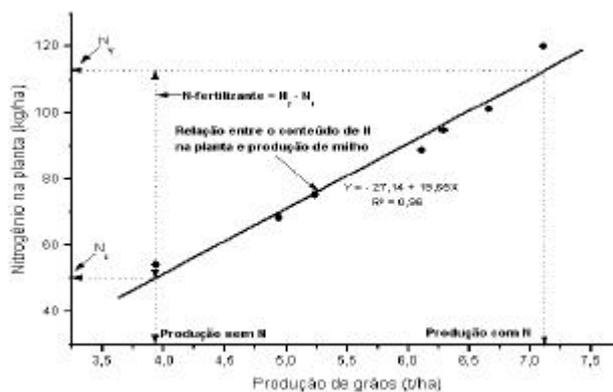


Figura 3. Parâmetros envolvidos na estimativa da necessidade de aplicação de fertilizante nitrogenado para a cultura do milho. Fonte: modificada de COELHO et al. (1992)

Como critérios para recomendação a serem avaliados, em condições específicas, parece adequado considerar a técnica da estimativa das

necessidades de nitrogênio ilustrada na Figura 3, onde temos:

$$N_f = (N_y - N_s) / E_f$$

Sendo:

N_f = corresponde à quantidade de nitrogênio requerida pela planta;

N_y = representa a quantidade de nitrogênio que pode ser acumulada na matéria seca da parte aérea da planta (palhada + grãos) para uma determinada produção de grãos (valores variam de 0,7 % de N na palhada a 1,4 % de N nos grãos);

N_s = representa o nitrogênio suprido pelo solo (20 kg de N para cada 1 % de matéria orgânica do solo ou, valores que variam de 60 a 80 kg de N/ha por cultivo);

E_f = significa o fator de eficiência ou aproveitamento do fertilizante pela planta (calculado em função do aumento do conteúdo de nitrogênio da parte aérea por unidade de fertilizante aplicado (valores variam de 0,5 a 0,7).

Por exemplo, utilizando-se esses conceitos pode-se calcular a necessidade de nitrogênio para uma cultura do milho para uma produtividade estimada de 7,10 t/ha em uma área cuja cultura anterior era o milho, conforme ilustrado na Tabela 2.

Tabela 2. Estimativa da necessidade de adubação nitrogenada para a cultura do milho.

Necessidade da cultura para produzir:	
Grãos, 7,10 t ha ⁻¹ x 1,4 % de N	100 kg
Palhada, 7,00 t ha ⁻¹ x 0,7 % de N	49 kg
Total	149 kg
Fornecimento pelo solo:	
20 kg de N por 1 % de M.O. (solo com 3 % de M.O.)	60 kg
Resíduo de cultura, 30 % de N da palhada	15 kg
N aplicado na semeadura	10 kg
Total	85 kg
Necessidade de adubação^{1/}:	
$N_f = (149 - 85) / 0,60$	110 kg
^{1/} fator de eficiência do N = 60 %	

^{1/} Para os plantios em sucessão ou em rotação com a cultura da soja, reduzir 20 kg de N/ha da recomendação de adubação em cobertura.

Absorção de Nutrientes e Manejo da Adubação

Definida a necessidade de aplicação de fertilizantes para a cultura do milho, os passos seguintes, de grande importância no manejo da adubação visando à máxima eficiência, são o conhecimento da absorção e acumulação de nutrientes nas diferentes fases de desenvolvimento da planta e a identificação das épocas em que os elementos são exigidos em maiores quantidades. Estas informações, associadas ao potencial de perdas por lixiviação de nutrientes nos diferentes tipos de solos, são fatores importantes a considerar na aplicação parcelada de fertilizantes, principalmente nitrogenados e potássicos.

O milho apresenta períodos diferentes de intensa absorção de nutrientes, com o primeiro ocorrendo durante a fase de desenvolvimento vegetativo, V12 a V18 folhas, quando o número potencial de grãos está sendo definido, e o segundo durante a fase reprodutiva ou formação da espiga, quando o potencial produtivo é atingido (Figura 4). Isto enfatiza que, para altas produções, mínimas condições de estresses devem ocorrer durante todos os estádios de desenvolvimento da planta.

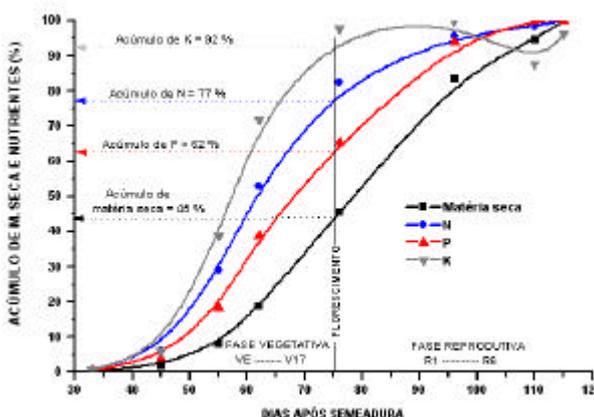


Figura 4. Acúmulo de matéria seca, nitrogênio (N), fósforo (P) e potássio (K) na parte aérea de plantas de milho

A absorção de potássio apresenta um padrão diferente em relação ao nitrogênio e ao fósforo (Figura 4), em que a máxima absorção ocorre na fase vegetativa, com elevada taxa de acúmulo nos primeiros 30 a 40 dias de desenvolvimento, sendo a taxa de absorção superior ao de nitrogênio e fósforo, o que sugere maior necessidade de potássio na fase inicial como um elemento de “arranque”. Para o nitrogênio e o fósforo, o milho apresenta dois períodos de máxima absorção durante as fases de desenvolvimento vegetativo e reprodutivo ou formação da espiga e menores taxas de absorção no período compreendido entre a emissão do pendão e o início da formação da espiga (Figura 4).

Épocas de Aplicação

Atualmente, pode-se dizer que os aspectos mais importante no manejo da adubação nitrogenada na cultura do milho, inserida no sistema de plantio direto, referem-se à época de aplicação e à necessidade de seu parcelamento. Para a tomada de decisão, alguns pontos devem ser considerados. O primeiro está relacionado com a demanda em N pelo milho durante o seu desenvolvimento. Como mostrado na Figura 4, a absorção de N pelo milho é intensa no período compreendido entre 40 dias após a semeadura (alongação, estágio V6-folhas) e o florescimento masculino (emissão do pendão), quando a planta absorve mais de 70 % da sua necessidade total.

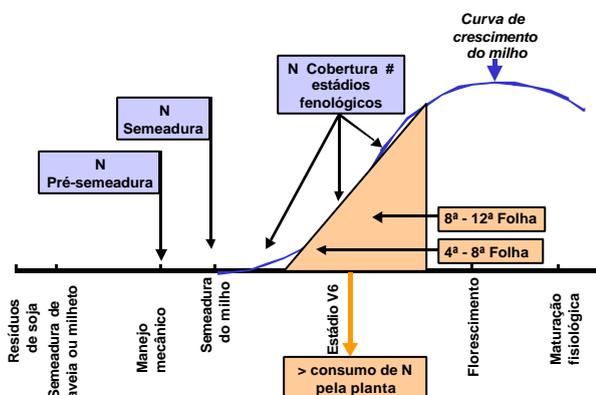


Figura 5. Alternativas para épocas de aplicação de N em milho em sistema de rotação e sucessão de culturas em plantio direto.

O segundo aspecto diz respeito às doses de N a serem aplicadas. Doses de N maiores do que 120 kg ha^{-1} exigem maiores cuidados no manejo. O terceiro aspecto refere-se ao potencial de perdas por lixiviação em função da textura do solo (arenoso e argiloso) e à presença de impedimentos físicos e químicos que reduzem a profundidade efetiva de exploração do perfil do solo pelas raízes. Assim, a observação desses pontos possibilita várias alternativas de épocas de aplicação de N na cultura do milho (Figura 5), como a aplicação em pré-semeadura, simultânea à semeadura e após a semeadura (em cobertura), nos estádios que vai da emergência até o florescimento.

Aplicação em pré-semeadura

Esta alternativa de manejo foi introduzida com a adoção do sistema de plantio direto e a semeadura do milho em sucessão a outras gramíneas (aveia, milheto, braquiária, sorgo etc.). Nessas condições, têm sido observada redução de crescimento das plantas de milho nos estádios iniciais de desenvolvimento e sintomas de amarelecimento nas folhas (Figura 6). Isso tem ocorrido devido ao processo de imobilização do N, causado pela decomposição dos resíduos das gramíneas com alta relação C:N ($> 30:1$) e pela dificuldade de aplicar maiores quantidades de N na semeadura do milho devido à baixa concentração de N nas fórmulas de fertilizantes utilizadas para esta cultura.



Figura 6. Redução no crescimento e deficiência de N em milho semeado em sistema de plantio direto sobre palhada de braquiária e com aplicação de 10 kg de N/ha por ocasião da semeadura. Fonte: fotos do autor

Em função dessas observações, surgiu a necessidade de se pesquisar a possibilidade de antecipar a aplicação de todo ou de parte do N que seria aplicado em cobertura na cultura do milho e, nos últimos anos, vários trabalhos de pesquisa enfocando este aspecto foram realizados. Nessas pesquisas, diversas alternativas foram testadas, tais como: aplicação de parte do N na cultura antecessora e após o manejo mecânico desta, em diferentes métodos de aplicação (lanço, sulco de semeadura e combinações destes) (Tabela 3).

Tabela 3. Efeito da época de aplicação de N na produção de grãos de milho, em sistema de rotação com aveia preta, sob plantio direto. Passo Fundo, RS.

Épocas de aplicação de N no milho			Ano agrícola		
Pré-semeadura ^{1/}	Semeadura	Cobertura ^{2/}	1997/98	1998/99	1999/00
----- Dose de N (kg/ha) -----			----- Produção de grãos (t/ha) -----		
100	00	00	6,40bc ^{3/}	8,60a	7,32a
70	30	00	6,17c	9,08a	7,46a
00	30	70	8,12a	8,88a	7,87a
Testemunha	00	00	-	6,55b	4,73b
CV %	-	-	6,80	6,40	6,90

^{1/}Aplicação após dessecação da aveia preta. ^{2/}Aplicação no estádio de V6-folhas. ^{3/}Médias seguidas por letras iguais não diferem significativamente pelo teste de Duncan a 5%. Fonte: modificada de PÖTTKER & WIETHÖLTER (2000)

Embora a aplicação antecipada do N na cultura do milho apresente algumas vantagens, como maior rendimento operacional e maior flexibilidade no período de tempo para a distribuição do N, resultados de várias pesquisas conduzidas no Brasil indicaram que esta prática apresenta alto risco e tem eficiência agrônômica inferior ao método convencional de manejo, ou seja, aplicação de uma pequena dose na semeadura e o restante em cobertura, geralmente nos estádios fenológicos de 6 a 8 folhas. (Tabela 3). Assim, a sua recomendação deve ser específica e não generalizada e somente feita após uma avaliação criteriosa das condições edafoclimáticas do local ou da região onde pretende-se adotá-la.

Aplicação simultânea com a semeadura

No Brasil, historicamente, a aplicação de N por ocasião da semeadura do milho tem se restringido a pequenas doses, geralmente variando de 10 a 30 kg/ha. As razões para isso incluem evitar o excesso de sais no sulco de semeadura, perdas por lixiviação e a baixa demanda inicial pelo milho. Apesar de as exigências nutricionais serem menores nos estádios iniciais de crescimento (Figura 4), pesquisas indicam que altas concentrações de N na zona radicular são benéficas para promover o rápido crescimento inicial da planta e o aumento na produtividade de grãos. Por outro lado, no sistema plantio direto o milho, na maioria dos sistemas de produção, é cultivado em sucessão a gramíneas. Isto pode significar comprometimento da quantidade inicial de N disponível devido à imobilização de N mineral pela biomassa microbiana, reduzindo temporariamente sua disponibilidade no solo (Figura 6). Nessa condição, tem havido maior preocupação em elevar a disponibilidade de N na fase inicial de crescimento do milho, aumentando-se a dose desse nutriente aplicada por ocasião da semeadura.

Tabela 4. Efeito do aumento da dose de N-uréia aplicada no sulco de semeadura sobre a produtividade de grãos de milho.

Doses e épocas de aplicação de N	Locais				
	Semeadura	Cobertura ^{1/}	Arapotí -PR ^{2/}	Selvíria - MS ^{3/}	Selvíria - MS ^{5/}
----- Doses de N (kg/ha) -----	----- Produção de grãos (t/ha) -----				
10	110	-	-	7,34a	-
00	120 (100) ^{2/}	6,27a	-	-	7,46a
20	100 (80)	5,88a	-	7,29a	7,50a
40	80 (60)	6,39a	-	7,17a	7,60a
60	60 (40)	6,18a	-	-	7,81a
80	40 (20)	5,59a	-	5,37b	7,05a
120 (100) ^{2/}	00	5,63a	-	2,11c	7,72a
Testemunha	00	4,35b	-	-	5,81b
CV (%)		12,90		16,08	13,21

^{1/}Adubação em cobertura 6 a 7 folhas. ^{2/}Número entre parênteses referem-se as doses de N utilizadas por Fernandes^{5/} et al. (2002). Médias na mesma coluna, seguidas por letras iguais, não diferem significativamente pelo teste de Tukey a 5%. Fonte: compilada de TESSARO^{3/} et al. (2000); KURAMOTO^{4/} et al. (2000); FERNANDES^{5/} et al. (2002).

Ao se analisar resultados de experimentos conduzidos no Brasil, em que se aumentou as doses de N aplicadas na semeadura do milho cultivado em sucessão a gramíneas (aveia preta, milho) em sistema de plantio direto (Tabelas 4 e 5), verifica-se a semelhança das informações sobre a aplicação antecipada do N e a inconsistência nos resultados obtidos. Em algumas situações, não houve diferenças nas produtividades de milho quando se compara a aplicação de toda a dose de N na semeadura do milho com a aplicação de parte da dose na semeadura e o restante em cobertura nos estádios de 6 a 7 folhas (Tabelas 4 e 5). Entretanto, em determinadas condições verificou-se redução acentuada na produtividade de milho com aumento da dose de N aplicada na semeadura (Tabelas 4 e 5). Essa redução tem sido atribuída ao efeito tóxico do N-fertilizante sobre as plântulas de milho, reduzindo o estande, principalmente quando a fonte utilizada foi a uréia (Tabela 5). Para a cultura do milho, que geralmente produz uma espiga por planta, a redução da população de plantas tem acentuado efeito negativo na produtividade. Assim, a quantidade de N aplicada por ocasião da semeadura do milho tem sido limitada a doses que variam de 30 a 40 kg por hectare. É provável que, com a tendência de redução do espaçamento entre linhas do milho (0,70 m e 0,50 m), o que possibilita a diluição da concentração do fertilizante no sulco de semeadura, doses maiores possam ser utilizadas sem causar danos às raízes das plântulas.

Aplicação em cobertura em diferentes estádios fenológicos do milho

Nessa estratégia de manejo, o N é aplicado em cobertura nos diferentes estádios fenológicos da cultura do milho. Essa tem sido a recomendação tradicional para as épocas de aplicação de N e que tem apresentado maior eficiência agrônômica, podendo ser recomendada para todas as situações, independente das condições de solo e clima. Entretanto, para um manejo

adequado do fertilizante nitrogenado é importante observar as exigências deste nutriente durante o desenvolvimento da cultura do milho (Figura 4). A maior necessidade relativa de nitrogênio compreende o período entre a emissão da 4ª e da 8ª folha e a maior necessidade absoluta de nitrogênio compreende o período entre a emissão da 8ª e da 12ª folha.

Tabela 5. Efeito do aumento da dose de N de diferentes fontes aplicada no sulco de semeadura sobre a produtividade de grãos de milho. Marechal Cândido Rondon, PR.

Doses e épocas de aplicação de N		Fontes de nitrogênio		
Semeadura	Cobertura ^{1/}	Uréia	S. Amônio	Entec ^{2/}
----- Doses de N (kg/ha) -----		----- Produção de grãos (t/ha) -----		
0	120	7,20aA	6,73aA	7,11aA
36	84	7,36aA	7,29aA	6,78aA
60	60	7,01aA	6,79aA	7,48aA
120	0	4,21bB	7,14aA	7,52aA
CV (%)		18,70		

^{1/}Adubação em cobertura 6 a 8 folhas. ^{2/} Fertilizante nitrogenado tratado com inibidor de nitrificação. Médias iguais entre si, minúsculas na coluna e maiúscula na linha, não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey a 5 % . Fonte: modificada de RUVIER et al. (2004)

Entretanto, no Brasil existe o conceito generalizado entre técnicos e produtores de que, aumentando-se o número de parcelamento da adubação nitrogenada, aumenta-se a eficiência do uso do nitrogênio e reduzem-se as perdas, principalmente por lixiviação. Como consequência, e devido às facilidades que os sistemas de irrigação oferecem para aplicação de fertilizantes via água, é comum o parcelamento do fertilizante nitrogenado em quatro ou até em seis ou oito vezes durante o ciclo da cultura.

Entretanto, experimentos conduzidos no Brasil evidenciaram que a aplicação parcelada de nitrogênio em duas, três ou mais vezes para a cultura do milho, com doses variando de 60 a 120 kg ha⁻¹, em solos de textura média e argilosa não refletiram em maiores produtividades em relação a uma única aplicação na fase inicial de maior exigência da cultura, ou seja, 30 a 35 dias após a semeadura. É importante salientar que as informações apresentadas anteriormente foram obtidas em solos de textura argilosa a média,

com teores de argila variando de 30 a 60 %, não sendo, portanto, válidas para solos arenosos (80 a 90 % de areia), cujo manejo do nitrogênio irá necessariamente requerer cuidados especiais.

Para as condições do Brasil, de acordo com as informações disponíveis, em geral deve-se usar maior número de parcelamento sob as seguintes condições: a) altas doses de nitrogênio (120 a 200 kg/ha); b) solos de textura arenosa; c) áreas sujeitas a chuvas de alta intensidade. Uma única aplicação deve ser feita sob as seguintes condições: a) doses baixas ou médias de nitrogênio (60 a 120kg/ha); b) solos de textura média ou argilosa; c) plantio intensivo, sem o uso de irrigação, em que a distribuição do fertilizante é feita mecanicamente. Como exemplo, o esquema de parcelamento do nitrogênio para a cultura do milho em função das condições de solo e clima é apresentada na Tabela 6.

Tabela 6. Sugestões para aplicações parceladas de doses de nitrogênio em cobertura na cultura do milho.

O aporte significativo de nitrogênio na fase inicial de desenvolvimento do milho (estádio fenológico 5 a 6 folhas) proporciona um maior índice de área foliar (aparato fotossintético) e maior número de grãos por espiga, culminando na manifestação do potencial genético da planta. A utilização de 30 a 40 kg/ha de N na semeadura permite que a adubação de cobertura possa ser efetuada até o estágio 7 a 8 folhas, sem prejuízos consideráveis ao desempenho das plantas, e até a 10ª folha, sob irrigação (Tabela 6). Porém, quando da ausência de N na semeadura, a cobertura deverá ser efetuada até o estágio correspondente a 4-5 folhas; caso contrário, a perda de produção assume valor significativo. Por outro lado, se a dose total de N a ser aplicada for menor do que 60 kg ha⁻¹ pode-se, para solos argilosos e de textura média, proceder sua aplicação por ocasião da semeadura do milho (Tabela 6). Em milho cultivado no outono/inverno, sob condições irrigadas, melhores resultados são obtidos parcelando o N via água de irrigação em três a quatro vezes quando comparado à aplicação no

Condições de solo e clima	Doses de nitrogênio (kg/ha)	Estádios fenológicos do milho (número de folhas totalmente emergidas)			
		3 a 4	6 a 7	8 a 10	10 a 12
Solos argilosos (36 a 60% de argila) e regiões não muito chuvosas	< 60	aplicar na semeadura			
	≥ 60 a ≤ 120 ^{1/}		100 %	-	-
	> 120	50 %	50 %	^{2/}	^{2/}
Solos textura média (15 a 35% de argila) e regiões não muito chuvosas	< 60	aplicar na semeadura			
	≥ 60 a ≤ 120		100 %	-	-
	> 120	50 %	50 %	^{2/}	^{2/}
Solos textura arenosa (< 15% de argila) e condições de alta percolação de N	≤ 60	100 %	-	-	-
	≥ 60 a ≤ 120	50 %	50 %	-	-
	> 120	40 %	60 %	^{2/}	^{2/}

^{1/} Se as plantas apresentarem sintomas de deficiência, pode-se fazer aplicação suplementar de nitrogênio em período anterior ao indicado. ^{2/}Em milho irrigado por aspersão, a aplicação de nitrogênio via água possibilita maior flexibilidade no número de parcelamento. Fonte: modificada de COELHO & FRANÇA (1995).

solo em duas vezes. Isso poderia ser explicado pelo fato de que, no plantio de outono/inverno, o ciclo do milho é aumentado (150 dias), necessitando de aporte de N em estádios mais avançados de desenvolvimento da cultura.

Métodos de Aplicação

Os seguintes métodos, isoladamente ou combinados, têm sido utilizados para aplicação de N na cultura do milho: (a) aplicação localizada no sulco de semeadura; (b) aplicação em cobertura, localizada ou a lanço na superfície do solo; (c) aplicação via água de irrigação (fertirrigação). Para nutrientes com alta mobilidade no solo, como o N, acreditava-se que os métodos de aplicação teriam pouca ou nenhuma influência na eficiência agrônômica dos fertilizantes. Entretanto, devido ao fato de que as fontes de nitrogênio apresentam fórmulas químicas diferentes, tem sido observado que o método de aplicação influencia significativamente na eficiência agrônômica entre as fontes. Como exemplo, pode-se citar os resultados de pesquisas conduzidas na Embrapa Milho e Sorgo em que três fontes de N, diferindo no potencial de perdas por volatilização de amônia (NH_3), foram avaliadas para a cultura do milho em diferentes métodos de aplicação, na dose de 120 kg ha^{-1} , em sistema de plantio direto (Figura 7, Tabela 7).

Verifica-se pelos dados apresentados na Figura 7 que as fontes uréia e bicarbonato de amônio, aplicadas na superfície do solo de forma localizada, apresentaram menor eficiência agrônômica (menor produtividade de grãos) em comparação ao cloreto de amônio. Entretanto, a eficiência dessas fontes foi semelhante quando aplicadas incorporadas ao solo e localizadas próxima às fileiras de milho ($\pm 15 \text{ cm}$) ou a lanço na superfície do solo. Essas diferenças são atribuídas, principalmente, ao potencial de perdas por volatilização de NH_3 entre as fontes, podendo-se classificá-las na seguinte ordem decrescente: bicarbonato de amônio > uréia > cloreto de amônio.

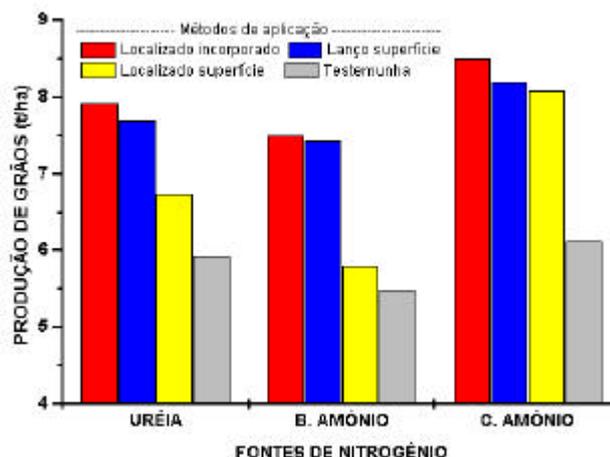


Figura 7. Efeito de fontes e métodos de aplicação de nitrogênio na cultura do milho em sistema de plantio direto. Fonte: COELHO et al. (2006).

Embora a eficiência da aplicação de N a lanço na superfície do solo seja questionável, principalmente quando a fonte utilizada é a uréia, os resultados apresentados na Figura 7 indicam que este método de aplicação apresentou eficiência semelhante à da aplicação localizada incorporada (7 cm) e foi superior à da aplicação localizada na superfície do solo. Este é um aspecto importante, pois o método de aplicação a lanço possibilita maior rapidez na operação de distribuição dos fertilizantes.

Tabela 7. Índices de eficiência agrônômica do uso de nitrogênio pelo milho adubado com três fontes diferindo no potencial de perdas de N por volatilização de amônia (NH_3).

Fontes de nitrogênio	FPP _N ^{1/} (kg/kg)	EA _N ^{2/} (kg/kg)	ER _N ^{3/} (%)	EF _N ^{4/} (kg/kg)
Uréia	59	10	33	31
Bicarbonato de amônio	55	6	20	29
Cloreto de amônio	64	16	40	39

^{1/}FPP_N - fator parcial de produtividade do N aplicado (kg de grãos/kg de N aplicado); ^{2/}EA_N - eficiência agrônômica (aumento da produção de grãos/kg de N aplicado); ^{3/}ER_N - eficiência de recuperação aparente do N aplicado; ^{4/}EF_N - eficiência fisiológica do N aplicado (aumento na produção de grãos/kg de N absorvido).

Fonte: modificada de Coelho et al. (2006)

Considerações Finais

Embora diferentes tipos de manejo de adubação nitrogenada sejam mencionados, a eficiência relativa deles para a cultura do milho tem sido extremamente variável. Assim, a escolha do método e da época de aplicação é baseada nas características do solo, na época de semeadura (verão, outono/inverno), no acúmulo de N nas diferentes fases de desenvolvimento da planta, nas doses a serem aplicadas e no uso de irrigação. Isso enfatiza que não há receita única a ser seguida no manejo do nitrogênio no milho. O nitrogênio é um elemento muito dinâmico no solo e é influenciado por fatores climáticos. Ele tem de ser manejado mais de acordo com as condições locais e com o potencial de produtividade da cultura na região.

Referências Bibliográficas

- COELHO, A. M.; RIBEIRO, B. N.; RESENDE, F. A.; TEIXEIRA, G. K. P. Eficiência agrônômica do cloreto de amônio e bicarbonato de amônio como fontes de nitrogênio para a cultura do milho. In: CONGRESSO NACIONAL DE MILHO E SORGO, 26.; SIMPÓSIO BRASILEIRO SOBRE A LAGARTA-DO-CARTUCHO, SPODOPTERA FRUGIPERDA, 2.; SIMPÓSIO SOBRE COLLETOTRICHUM GRAMINICOLA, 1., 2006, Belo Horizonte. **Inovação para sistemas integrados de produção**: resumos. Sete Lagoas: ABMS: Embrapa Milho e Sorgo, 2006. CD-ROM.
- COELHO, A. M. O potássio na cultura do milho. In: YAMADA, T.; ROBERTS, T. L. (Ed.). **Simpósio sobre potássio na agricultura brasileira**. Piracicaba: Associação Brasileira para Pesquisa da Potassa e do Fosfato, 2005. p. 610-658.
- COELHO, A. M.; FRANCA, G. E. de. Seja o doutor do seu milho: nutrição e adubação. 2. ed. **Informações Agrônômicas**, Piracicaba, n. 71, p. 1-9, set. 1995 Arquivo do Agrônomo, Piracicaba, n. 2, p. 1-9, set., 1995. Encarte.
- COELHO, A. M.; FRANCA, G. E.; BAHIA FILHO, A. F. C.; GUEDES, G. A. A. Doses e métodos de aplicação de fertilizantes nitrogenados na cultura do milho sob irrigação. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 16, p. 61-67, 1992.
- FERNANDES, R. N.; ARF, O.; RODRIGUES, R. A. F.; SÁ, M. E.; BUZETTI, S.; ANDRADE, J. A. C.; AGUIAR, E. C. Manejo do solo e época de aplicação de nitrogênio no desenvolvimento do milho (*Zea mays* L.). In: CONGRESSO NACIONAL DE MILHO E SORGO, 24., 2002, Florianópolis. **Meio ambiente e a nova agenda para o agronegócio de milho e sorgo**: [resumos expandidos]. Sete Lagoas: ABMS/Embrapa Milho e Sorgo/Epagri, 2002. CD-ROM. Secao Trabalhos.
- KURAMOTO, C. M.; FERNANDES, F. M. & MELLO, L. M. M. Resposta da cultura do milho (*Zea mays* L.) à adubação nitrogenada, sob semeadura direta. In: REUNIAO BRASILEIRA DE FERTILIDADE DO SOLO E NUTRICAÇÃO DE PLANTAS, 25; REUNIAO BRASILEIRA SOBRE MICORRIZAS, 8.; SIMPOSIO BRASILEIRO DE MICROBIOLOGIA DO SOLO, 6., 2000, Santa Maria. Biodinamica do Solo: Fertbio 2000. Santa Maria: SBCS, 2000. CD-ROM.
- PÖTTKER, D.; WIETHÖLTER, S. Antecipação da aplicação de nitrogênio em milho. In: REUNIAO BRASILEIRA DE FERTILIDADE DO SOLO E NUTRICAÇÃO DE PLANTAS, 25; REUNIAO BRASILEIRA SOBRE MICORRIZAS, 8.; SIMPOSIO BRASILEIRO DE MICROBIOLOGIA DO SOLO, 6., 2000, Santa Maria. Biodinamica do Solo: Fertbio 2000. Santa Maria: SBCS, 2000. CD-ROM.

RUVER, A.; ANDREOTTI, M.; LOPES, M. C. GUIMARÃES, V. F.; PILTZ, J. C.; IURKIV, L.; WERLE, T.; MENSCH, R. Produtividade do milho em função do modo de aplicação e fontes de adubos nitrogenados em sistema de plantio direto. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE FERTILIDADE DO SOLO E NUTRIÇÃO DE PLANTAS, 26.; REUNIÃO BRASILEIRA SOBRE MICORRIZAS, 10.; SIMPÓSIO BRASILEIRO DE MICROBIOLOGIA DO SOLO, 8.; REUNIÃO BRASILEIRA DE BIOLOGIA DO SOLO, 5., 2004, Lages. **Avaliação das conquistas: bases para estratégias futuras** [anais]. Lages: UDESC: SBCS, 2004. CD-ROM.

TESSARO, L. C.; PAULETTI, V.; MARQUES, R.; BORBOLETO, S. Efeito de formas de aplicação e fontes de nitrogênio na cultura do milho em solo arenoso, sob plantio direto In: REUNIAO BRASILEIRA DE FERTILIDADE DO SOLO E NUTRICAÇÃO DE PLANTAS, 25; REUNIAO BRASILEIRA SOBRE MICORRIZAS, 8.; SIMPOSIO BRASILEIRO DE MICROBIOLOGIA DO SOLO, 6., 2000, Santa Maria. **Biodinâmica do Solo: Fertbio 2000**. Santa Maria: SBCS, 2000. CD-ROM.

Circular Técnica, 96

Instituto de Agricultura,
Pecuária e Abastecimento



Exemplares desta edição podem ser adquiridos na:
Embrapa Milho e Sorgo
Endereço: Rod. MG 424 km 45 - Caixa Postal 151
Fone: (31) 3779-1000
Fax: (31) 3779-1088
E-mail: sac@cnpms.embrapa.br

1ª edição
1ª impressão (2007): 200 exemplares

Comitê de publicações

Presidente: Antônio Álvaro Corsetti Purcino
Secretário-Executivo: Paulo César Magalhães
Membros: Carlos Roberto Casela, Flávia França Teixeira, Camilo de Lelis Teixeira de Andrade, José Hamilton Ramalho, Jurandir Vieira Magalhães

Expediente

Revisão de texto: Clenio Araujo
Editoração eletrônica: Tânia Mara Assunção Barbosa