

Nutrição nitrogenada no milho fertilizado com uréia tratada com inibidor de urease

Nitrogen nutrition in maize fertilized with urease inhibitor-treated urea

Ricardo Shigueru Okumura^{1*}; Gilberto Takeo Yano²; Daiane de Cinque Mariano¹; Paulo Vicente Contador Zaccheo³; Hideaki Wilson Takahashi⁴

Resumo

Trabalhos visando melhorar a eficiência da adubação nitrogenada nas culturas, tem sido realizados em maior escala nos últimos anos. O objetivo do presente estudo foi avaliar em condições de campo comercial, a influência de doses de uréia tratadas com NBPT em cobertura nos componentes de produção e no rendimento de grãos da cultura do milho. O experimento foi instalado no município de Mauá da Serra, PR, no ano agrícola de 2007/08, em um Latossolo Vermelho distroférico, cultivado por 30 anos sob sistema plantio direto. O delineamento experimental utilizado foi o de blocos casualizados, com cinco repetições e seis tratamentos, constituídos pelas doses de N (0, 40, 80, 120, 160 e 200 kg ha⁻¹ de N). O diâmetro da espiga e o teor de proteína aumentaram linearmente com o acréscimo da dose de N aplicado. O modelo que melhor ajustou os dados de altura da espiga e da planta, comprimento da espiga e rendimento de grãos foi à quadrática. As formas de N avaliadas, independente do tecido e época amostrado, originaram teores maiores nas folhas amostradas inteiras. O tecido foliar que melhor representou o estado nutricional do milho foi a folha F₆ e, as leituras realizadas no scanner apresentaram boa correlação negativa com o teor de N-Total da folha.

Palavras-chave: NBPT, *Zea mays*, diagnose foliar, épocas de amostragem, dose de N

Abstract

The aim of this study was to evaluate the influence of urea doses in coverage treated with NBPT on the production components and on the grain yield maize crop, in commercial field conditions. The experiment was carried out in Mauá da Serra, PR, in the season 2007/2008, in dystrophic Red Latosol, cultivated for 30 years under no-tillage system. The experimental design was randomized blocks with five replications and six treatments. The treatments were different doses of N (0; 40; 80; 120; 160 and 200 kg ha⁻¹ of N). The diameter of the cob and the protein content increased linearly with increasing doses of N. The height of the cob, height of the plant, length of the cob and grain yield presented quadratic response, with the maximum value obtained in the following doses: 145; 142; 125 and 146 kg ha⁻¹ of N, respectively. The forms of N measured originated higher levels in the leaves sampled as entire, independent of the tissue and the time sampled. The leaf tissue that best represented the nutritional status of the maize was the F₆ leaf and, the readings performed on the scanner showed good negative correlation with the N-total content of the leaf.

Key words: NBPT, *Zea mays*, leaf diagnosis, time of sampling, doses of N

¹ Engenheiros Agrônomos, Msc. Doutorando do Programa de Pós-graduação em Agronomia, Universidade Estadual de Maringá, UEM, Maringá, PR. E-mail: ricardo_okumura@hotmail.com; daianedecinque@gmail.com

² Eng^o Agr^o, Assessor técnico da INTEGRADA, Mauá da Serra, PR. E-mail: takeoyano@yahoo.com.br

³ Eng^o. Agr^o, Msc. Doutorando do Programa de Pós-graduação em Agronomia, Universidade Estadual de Londrina, UEL, Londrina, PR. E-mail: pvczaccheo@yahoo.com.br

⁴ Eng^o Agr^o, Prof. Dr. Associado, Dept^o Agronomia, UEL, Londrina, PR. E-mail: hwilson@uel.br

* Autor para correspondência

Introdução

O aproveitamento pela planta do N-uréia aplicado via fertilizante é muito baixo, uma vez que há grandes perdas por lixiviação, desnitrificação e principalmente por volatilização, podendo eventualmente acarretar perdas acima de 70% (LARA CABEZAS; KORNDORFER; MOTTA, 1997; CANTARELLA, 2007).

Uma forma de minimizar as perdas por volatilização é o tratamento prévio da uréia com inibidores da urease, observando que dentre os produtos testados a molécula de NBPT [N-(n-butil) tiofosfórico triamida], tem demonstrado boa eficiência na redução das perdas de N (GANS; HERBST; MERBACH, 2006; CANTARELLA et al., 2008; SCIVITTARO et al., 2010).

O NBPT é uma molécula que atua inibindo a atividade da enzima urease, pois ela ocupa o local ativo, ocasionando uma desaceleração na atividade da enzima (CHRISTIANSON; BYRNES; CARMONA, 1990; WATSON, 2000; CANTARELLA, 2007), refletindo em menor perda de NH_3 por volatilização (CANTARELLA et al., 2008). Além de que, o atraso na hidrólise reduz a concentração de NH_3 presente perto da superfície do solo, o que reduz o potencial de volatilização e aumenta a possibilidade da chuva incorporar a uréia no perfil do solo (RAWLUK; GRANT; RACZ, 2001).

Entretanto, caso não ocorra uma chuva para incorporar o nitrogênio ao solo, ela fica sujeita as perdas de N da mesma forma que a uréia convencional (CANTARELLA et al., 2008), dessa forma, o melhor aproveitamento do fertilizante nitrogenado é pelo conhecimento da melhor época e dose de N a ser disponibilizado para a planta. Para que isso ocorra se faz necessária uma metodologia para informar precocemente o estado nutricional da cultura, possibilitando uma intervenção em um estágio que ainda ocorra resposta econômica, no caso de adubação em cobertura.

O presente trabalho teve por objetivo avaliar, em condições de campo, o efeito da aplicação em cobertura de doses crescentes de uréia tratada com NBPT no desenvolvimento e produtividade do milho, sob sistema plantio direto (SPD), o diagnóstico precoce de nitrogênio nos tecidos vegetais e a utilização de uma metodologia para prever o teor relativo de clorofila presente na folha.

Material e Métodos

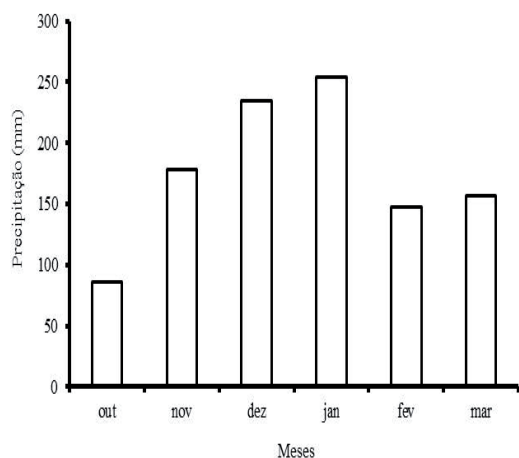
O experimento foi conduzido à campo em lavoura comercial, na safra de milho de 2007/2008, no município de Mauá da Serra, PR. O clima é do tipo subtropical Cfb (segundo classificação de Köppen), as coordenadas geográficas são $23^{\circ}58' \text{ S}$ e $51^{\circ}19' \text{ W}$ e altitude média de 847 m. O solo é classificado como Latossolo Vermelho distroférico (EMBRAPA, 1999), cultivado por 30 anos sob SPD, com as seguintes características da camada arável (0-0,20 m): pH CaCl_2 de 4,64; 30,48 mg dm^{-3} de P (Mehlich-1); 0,37 mg dm^{-3} de K^+ ; 3,26 $\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ de Ca^{2+} ; 1,32 $\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ de Mg^{2+} ; 0,46 $\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ de Al^{3+} ; e 40,72 g kg^{-1} de matéria orgânica do solo. Os dados de precipitação pluviométrica, ocorridos durante a condução do experimento encontram-se na Figura 1.

As parcelas experimentais constituíram-se de 6 linhas de 0,70 m e 8,0 m de comprimento, considerando-se como área útil as 4 linhas centrais, desprezando-se 1,5 m em cada extremidade. O delineamento experimental utilizado foi o de blocos completos casualizados com 6 tratamentos, sendo eles constituídos pelas 6 doses de N aplicados em cobertura (0, 40, 80, 120, 160 e 200 kg ha^{-1} de N) e 5 repetições, totalizando 30 parcelas no experimento.

Foi utilizado o milho híbrido simples da Pioneer 30F53, semeado em 03 de outubro de 2007, no espaçamento de 0,70 m entre linhas, resultando em uma densidade populacional de 70.000 plantas ha^{-1} . A adubação de semeadura foi com 40, 90 e 60 kg

ha⁻¹ de N, P₂O₅ e K₂O, respectivamente. A aplicação em cobertura da uréia tratada com NBPT procedeu-se manualmente 25 dias após emergência (DAE), no estágio fenológico V₄ da escala de Ritchie, Hanway e Benson (1993).

Figura 1. Precipitação pluviométrica durante o desenvolvimento da cultura do milho no município de Mauá da Serra, PR, na safra de milho de 2007/2008.



Fonte: Elaboração dos autores.

As avaliações nutricionais de N no tecido vegetal do milho consistiram na análise da nervura central da folha em diferentes extratos da planta, em apenas uma época de amostragem, para a verificação da absorção e/ou translocação de elementos nitrogenados (NO₃⁻, NH₄⁺ e N-Total) pela cultura. Para caracterização do estado nutricional de N no milho foram realizadas duas coletas espaçadas no tempo, a primeira amostragem foi no estágio inicial de desenvolvimento da cultura e a segunda amostragem no estágio fenológico recomendado para a diagnose foliar, coletando-se a folha inteira e excluindo a nervura central.

As amostragens do tecido vegetal da planta foram realizadas em dois períodos, coletando em cada época 10 folhas por parcela. A primeira amostragem foi realizada no estágio fenológico V₉ (RITCHIE; HANWAY; BENSON, 1993), aos 38 DAE, objetivando estratificar a planta em diferentes

partes coletando-se apenas a nervura central das folhas 1, 2 e 3 (F₁₋₃); 4 e 5 (F₄₋₅) e 7, 8 e 9 (F₇₋₉), já a folha 6 (F₆) foi a folha inteira, a contagem foi realizada de baixo para cima, de acordo com informação apresentada por Fornasieri Filho (2007). Realizou-se a segunda amostragem no estágio fenológico R₁ (RITCHIE; HANWAY; BENSON, 1993), aos 68 DAE, coletando a folha índice inteira (F_{ind}), caracterizada por ser a folha abaixo e oposta à espiga principal (MALAVOLTA, 2006).

As folhas F₆ e F_{ind} depois de coletadas do campo foram encaminhadas ao laboratório de imagem, com o intuito de analisar o teor relativo de clorofila na folha por meio de uma metodologia de custo inferior e de possibilidade de utilização a todos. Inicialmente, realizou-se o escaneamento, utilizando o scanner da marca Genius, modelo HR7XE. Em seguida, analisou-se no programa Photoshop e, para cada imagem a configuração proposta foi o escaneamento no formato colorido, com 96 dpi e intensidade de bits de 24, quantificando assim o total de pixels que cada tecido possuía, sendo que os pixels podem variar de 0 à 255 e quanto menor os pixels mais escuro se encontra a imagem e, conseqüentemente pode se inferir que a folha encontra-se com um verde mais escuro, isto é, com maior quantidade de clorofila.

A análise química, para avaliar o teor de N-Total foi realizada segundo metodologia descrita por Malavolta, Vitti e Oliveira (1997) e, para os grãos de milho determinou-se o teor de proteína, utilizando o fator de conversão de 6,25 (VILLEGAS; ORTEGA; BAUER, 1985), uma vez que plantas com deficiência de N apresentam redução nos teores de proteína nos grãos (FERREIRA, 1997). O teor de N-Nitrato (N-NO₃⁻) e N-Amônio (N-NH₄⁺) foi determinado pelo método proposto por Bremner e Keeney (1965).

Para a determinação do melhor tecido para avaliar o estado nutricional em relação ao nutriente N, seguiu a metodologia preconizada por Malavolta (1980), que consiste em detectar o órgão com maior sensibilidade à mudança na disponibilidade

do nutriente no solo e para isso fez-se pela diferença entre o maior e o menor teor de N-Total encontrado dentro de cada órgão ou posição da folha e, considerou-se o mais sensível aquele que apresentou maior diferença entre o maior e menor teor de N-Total.

A altura da espiga e da planta foi determinada aos 128 DAE, em 10 plantas por parcela, em seguida avaliaram-se o comprimento e diâmetro da espiga, número de grãos por fileira e número de fileiras por espiga, mediante uso de 10 espigas. A colheita foi realizada manualmente aos 158 DAE, com posterior trilhagem, pesagem dos grãos, determinação do teor de umidade e, os resultados transformados em kg ha⁻¹ (13% de umidade). Além disso, foi calculada a dose máxima econômica igualando-se a derivada primeira da função de produção, determinada por meio da equação de regressão, à relação de preços do N e do milho (STONE; MOREIRA, 2002). Foram considerados os preços vigentes na região de Londrina, PR, em novembro de 2008, com relação ao N, na forma de uréia tratada com NBPT, e ao milho, R\$ 3,56 kg⁻¹ de N e R\$ 0,30 kg⁻¹ de grão, respectivamente.

Os dados experimentais obtidos foram submetidos aos testes de Levene ($p > 0,01$) (BOX,

1953), para homocedasticidade das variâncias, e de Shapiro-Wilks ($p > 0,01$) (SHAPIRO; WILK, 1965), para normalidade dos erros, utilizando-se o software estatístico SAS (SAS INSTITUTE, 1996). Em seguida, realizou-se à análise de variância (STEEL; TORRIE, 1960), utilizando-se o programa estatístico SISVAR (FERREIRA, 2000), sendo as médias do efeito das doses de N em cobertura sobre as variáveis respostas submetidas à análise de regressão ($p < 0,05$) (CRUZ; REGAZZI, 2001). Calcularam-se ainda os coeficientes de correlação de Pearson (r) entre a quantidade de pixels e o teor de N-Total, aplicando-se o teste t de Student (1908) ($p < 0,05$).

Resultados e Discussão

O incremento nas doses de adubo nitrogenado tratado com a molécula de NBPT proporcionou alterações significativas ($p < 0,05$) para as seguintes variáveis respostas: altura da espiga, altura da planta, comprimento da espiga, diâmetro da espiga, teor de proteína nos grãos, rendimento de grãos (Tabela 1), teores de N-Total e N-NO₃⁻ (Tabela 2) em todas as partes amostradas da planta. O efeito de doses de N só não foi significativo para a variável N-NH₄⁺ nas folhas coletadas F₁₋₃ e F₄₋₅ (Tabela 2).

Tabela 1. Resumo da análise de variância dos parâmetros agrônômicos da cultura do milho, submetidos a diferentes doses em cobertura de N tratado com NBPT.

F.V.	G.L.	Quadrado Médio					
		AE	AP	CE	DE	PROT	REND
Bloco	4	0,0044 ^{n.s.}	0,0190*	1,31 ^{n.s.}	0,52 ^{n.s.}	0,089 ^{n.s.}	820504 ^{n.s.}
Dose	5	0,0290*	0,0995*	2,92*	5,28*	3,316*	16905199*
Resíduo	20	0,0019	0,0044	1,03	0,62	0,157	882208
CV (%)		4,22	2,87	6,01	2,87	5,86	7,94

AE – Altura da espiga; AP – Altura da planta; CE – Comprimento da espiga; DE – Diâmetro da espiga; PROT – Teor de proteína nos grãos; REND – Rendimento de grãos; n.s. – não significativo, * – significativo a 5% de probabilidade pelo teste F.

Fonte: Elaboração dos autores.

Tabela 2. Resumo da análise de variância e coeficiente de variação experimental envolvendo seis doses de N na forma de uréia tratada com NBPT aplicado em cobertura no estádio fenológico V₄ para os teores de N-Total, N-NO₃⁻ e N-NH₄⁺ coletadas nas folhas F₁₋₃, F₄₋₅, F₆, F₇₋₉ e F_{ind} na cultura do milho.

F.V.	G.L.	Quadrado Médio				
		F ₁₋₃	F ₄₋₅	F ₆	F ₇₋₉	F _{ind}
----- N-Total -----						
Bloco	4	7,45 ^{n.s.}	1,04 ^{n.s.}	18,09*	11,42*	3,31 ^{n.s.}
Dose	5	53,06*	53,56*	152,94*	79,48*	61,31*
Resíduo	20	3,63	0,98	4,56	1,10	7,83
CV (%)		10,74	5,77	6,73	6,25	8,86
----- N-NO ₃ ⁻ -----						
Bloco	4	0,0139 ^{n.s.}	0,0054 ^{n.s.}	0,733*	0,0219*	0,118*
Dose	5	0,0317*	0,0860*	0,596*	0,2778*	1,125*
Resíduo	20	0,0096	0,0097	0,088	0,0067	0,031
CV (%)		46,77	32,73	44,30	17,09	19,09
----- N-NH ₄ ⁺ -----						
Bloco	4	0,0015 ^{n.s.}	0,0018*	0,0009 ^{n.s.}	0,0008 ^{n.s.}	0,0011 ^{n.s.}
Dose	5	0,0009 ^{n.s.}	0,0006 ^{n.s.}	0,0024*	0,0024*	0,0004*
Resíduo	20	0,0007	0,0004	0,0011	0,0006	0,0008
CV (%)		37,08	26,11	28,30	23,04	24,61

N-Total – Teor de N-Total no tecido vegetal; N-NO₃⁻ – Teor de N-NO₃⁻ no tecido vegetal; N-NH₄⁺ – Teor de N-NH₄⁺ no tecido vegetal; n.s. – não significativo, * – significativo a 5% de probabilidade pelo teste F.

Fonte: Elaboração dos autores.

Na Figura 2, constata-se que a altura da espiga (Figura 2A), altura da planta (Figura 2B) e comprimento da espiga (Figura 2C) tiveram influência do aumento das doses de N aplicados em cobertura na cultura do milho, observando que o modelo que melhor ajustou aos dados foi a equação quadrática, com exceção dos dados de diâmetro da espiga (Figura 2D) que melhor ajustou-se ao modelo linear. Vale salientar, a importância desses parâmetros na cultura do milho, pois estes estão correlacionados com vigor da planta e, com conseqüente incremento na produtividade (ARAUJO; FERREIRA; CRUZ, 2004; LOURENTE et al., 2007; DUETE et al., 2008; NOVAKOWISKI et al., 2011; OKUMURA et al., 2011).

É sabido que o incremento nas doses de N influenciam positivamente nos valores fitotécnicos da cultura do milho, no entanto, há dúvida de qual dose acarreta o máximo valor, observando na Figura 2 para as características altura da espiga, altura da planta e comprimento da espiga as doses

de 144,44; 120,00 e 120,83 kg ha⁻¹ de N foram as que proporcionaram os máximos valores de 1,12 m; 2,37 m e 17,45 cm, respectivamente.

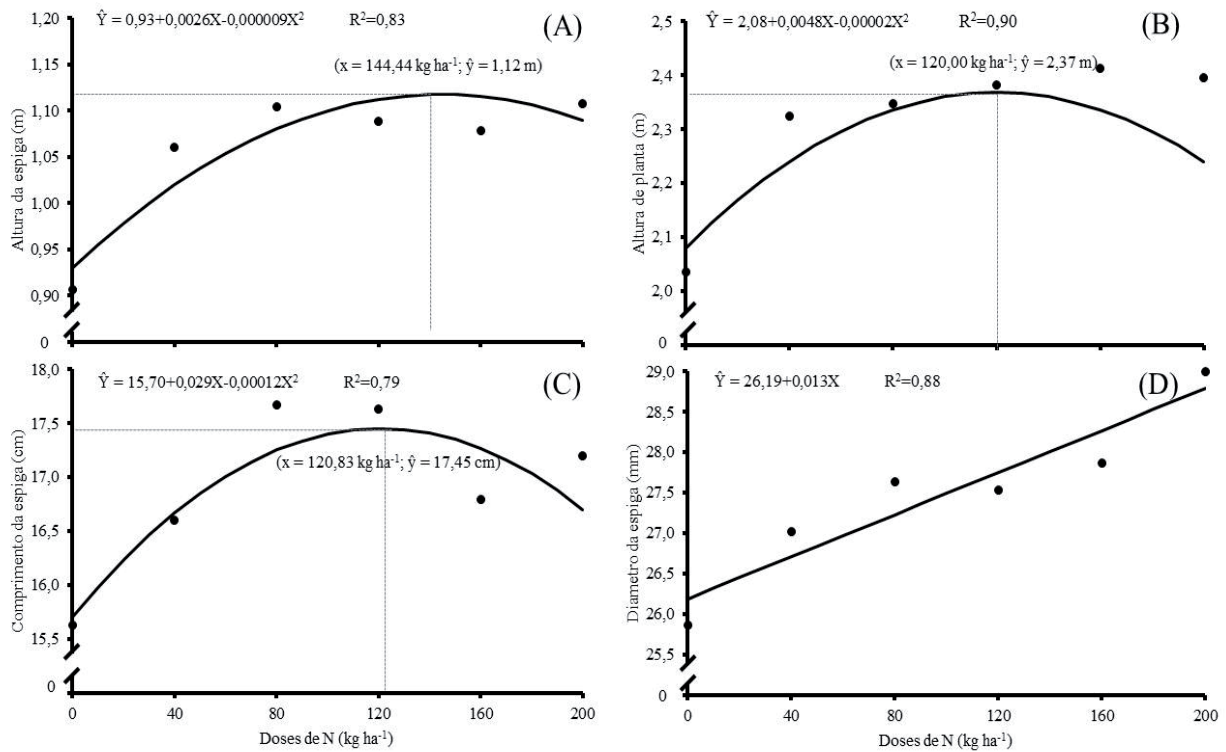
Os aumentos das doses influenciaram positivamente na altura da espiga (Figura 2A), o que justifica também o efeito positivo na altura da planta (Figura 2B). De acordo com Santos et al. (2002), existe correlação positiva entre estas duas características. Esses mesmos autores também evidenciaram correlação positiva destas duas características com a produtividade, indicando que quanto maior a altura da planta, maior a produtividade.

Os teores de proteína nos grãos do milho (Figura 3A) apresentaram uma tendência de aumento linear da porcentagem de proteína com a elevação das doses aplicada de N entre 0 à 200 kg ha⁻¹ de N, essa variação foi de 5,71 à 7,91%, tendência similares são descritos por Ferreira et al. (2001), que constataram variação de 7,5 à 10,5% nas doses de 0 à 210 kg ha⁻¹ de N, com o híbrido AG 612. Silva

et al. (2011), encontraram que os teores de proteína nos grãos variaram linearmente com a aplicação de N tratado com NBPT em cobertura, resultando em

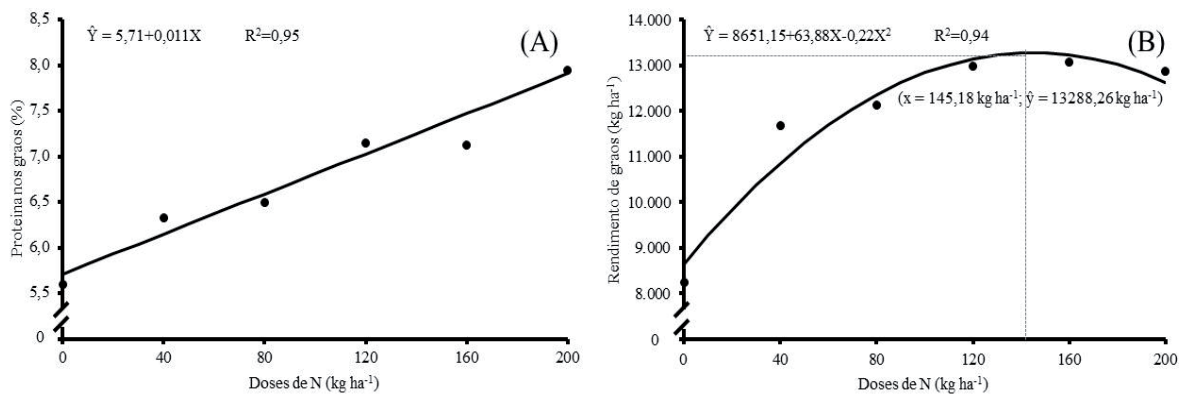
9,78 à 11,98% para as doses de 60 à 240 kg ha⁻¹ de N, respectivamente.

Figura 2. Altura da espiga (A), altura da planta (B), comprimento da espiga (C) e diâmetro da espiga (D) em milho fertilizado com diferentes doses em cobertura de uréia tratada com NBPT, município de Mauá da Serra, PR, na safra agrícola 2007/2008.



Fonte: Elaboração dos autores.

Figura 3. Teor de proteína nos grãos (A) e rendimento de grãos (B) em milho fertilizado com diferentes doses em cobertura de uréia tratada com NBPT, município de Mauá da Serra, PR, na safra agrícola 2007/2008.



Fonte: Elaboração dos autores.

Os valores obtidos para o rendimento de grãos de milho (Figura 3B) em função das doses de N aplicado foram acima da média da região (IBGE, 2008), mesmo na ausência de aplicação de N em cobertura. Essa alta produtividade na região de Mauá da Serra, PR, tem sido garantida pela utilização de híbridos de alta produtividade aliado à política de aumento do teor de matéria orgânica do solo pela adoção do SPD.

Além do manejo adotado, outro fator de extrema relevância foi que a cultura não presenciou condições de deficiência hídrica em nenhum dos estádios de desenvolvimento (Figura 1), principalmente, não houve déficit hídrico no período crítico, ou seja, da floração ao início do enchimento de grãos. De acordo com Matzenauer, Westphalen e Bergamaschi (1983), a cultura do milho requer aproximadamente 573 mm em todo o seu ciclo e, no presente estudo a precipitação ocorrida foi de 1058 mm, sendo que em sistemas de manejo onde não há limitação hídrica o teto de produtividade é maior (BORGHI; MELLO; CRUSCIOL, 2004).

Analisando a Figura 3B, observa-se que houve efeito significativo do aumento das doses de N aplicado, assim como comprovados por Araujo, Ferreria e Cruz (2004), Gomes et al. (2007), Duete et al. (2008), Meira et al. (2009), Gava et al. (2010) e Okumura et al. (2011). Isso é explicado pelo fato do N ter favorecido o crescimento da planta, em decorrência do incremento da área foliar e, com isso ter promovido maior síntese de fotoassimilados (DUETE et al., 2008), ocorrendo translocação dos fotoassimilados sintetizados nas folhas para o enchimento dos grãos.

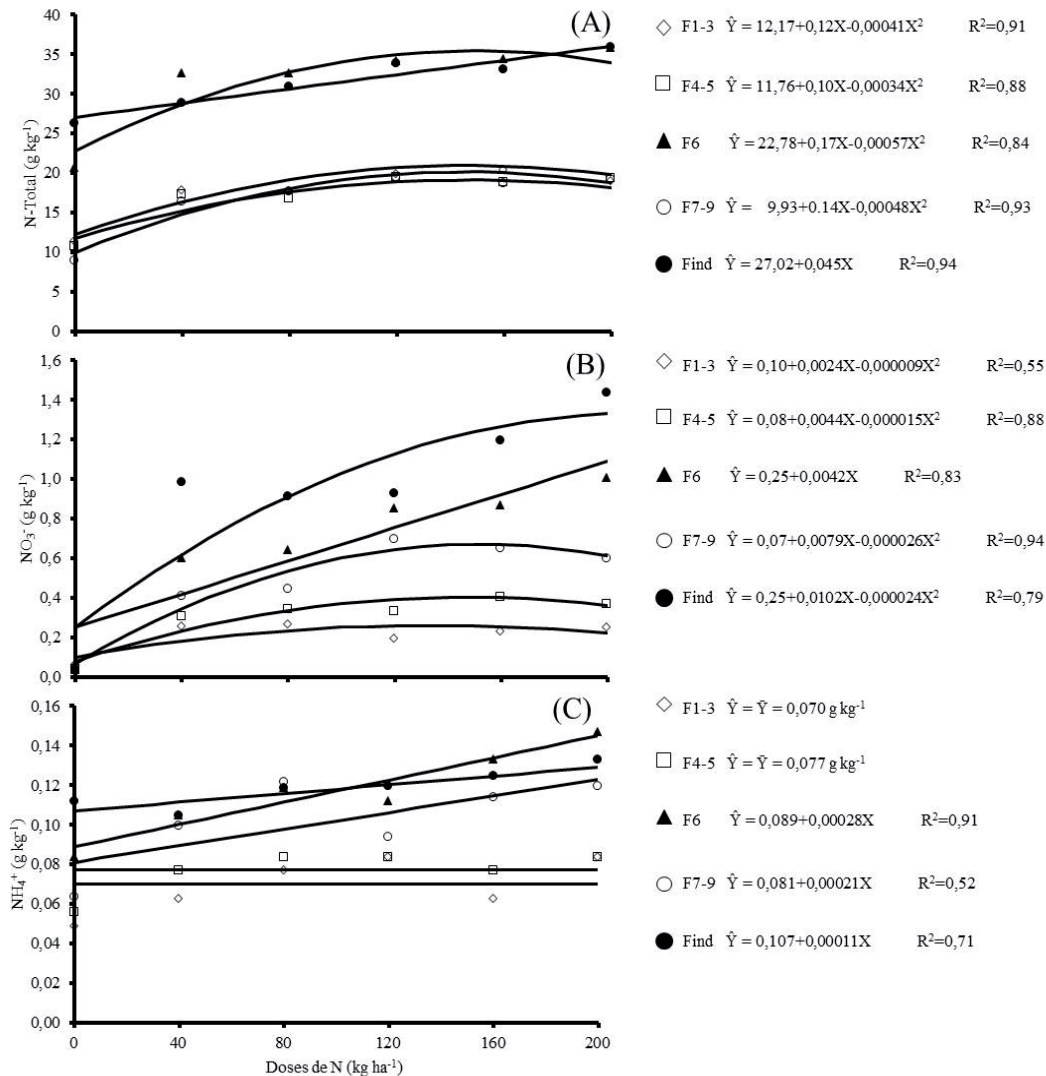
Para o rendimento de grãos do milho, os dados tiveram melhor ajuste para o modelo quadrático, observando que a máxima produtividade (13288,26 kg ha⁻¹) foi obtida com a aplicação de 145,18 kg ha⁻¹ de N (Figura 3B) em cobertura no estádio fenológico V₄. Essa tendência de resposta quadrática está em concordância com os resultados obtidos por Gomes et al. (2007) e Silva et al. (2005), que obtiveram a máxima produtividade nas doses de 150 e 166 kg ha⁻¹ de N, respectivamente.

Silva et al. (2011), em solo com teor de matéria orgânica de 27,9 g kg⁻¹, constataram que a produtividade do milho ajustou-se ao modelo linear para as doses de N tratado com NBPT em cobertura, com variação de 10749,99 à 13416,66 kg ha⁻¹ nas dose de 60 à 240 kg ha⁻¹ de N, corroborando com os valores de rendimento de grãos obtidos no presente estudo.

Em pesquisa desenvolvida por Schlegel, Nelson e Sommers (1986), sob SPD com teor de 36,12 g kg⁻¹ de matéria orgânica do solo, verificou-se que aplicação em cobertura de uréia tratada com NPBT nas doses de 0, 60, 120 e 180 kg ha⁻¹ de N proporcionou incrementos na produtividade do milho de 4000, 6400, 7500 e 8000 kg ha⁻¹, respectivamente.

Na Figura 4 são apresentados os teores de N-Total (Figura 4A), N-NO₃⁻ (Figura 4B) e N-NH₄⁺ (Figura 4C), verificando que todos os tecidos vegetais amostrados foram significativos, com exceção para o F₁₋₃ e F₄₋₅ para o parâmetro N-NH₄⁺ e, que os valores de R² obtidos foram acima de 0,84; 0,55 e 0,51 para o N-Total, N-NO₃⁻ e N-NH₄⁺, respectivamente.

Figura 4. Teores de N-Total (A), N-NO₃⁻ (B) e N-NH₄⁺ (C) nos diversos tecidos vegetais amostrados, em milho fertilizado com diferentes doses em cobertura de uréia tratada com NBPT, município de Mauá da Serra, PR, na safra agrícola 2007/2008.



Fonte: Elaboração dos autores.

As formas de N avaliadas independente da época de amostragem originaram teores maiores nas folhas amostradas inteiras. Esse fato ocorre porque os teores de componentes fibrosos nas nervuras das folhas são maiores que no limbo foliar, além de que a seiva bruta que circula impulsionada pelo fluxo transpiratório na nervura é constituída principalmente pela solução do solo, que é muito diluída.

Com relação às formas de nitrogênio, verifica-

se que independente do tecido amostrado o teor de N-Total é maior que o de N-NO₃⁻ e esse maior que o de N-NH₄⁺, a provável causa do N-NO₃⁻ ser maior que N-NH₄⁺ é porque o nitrato é a forma que o N é absorvido em maior quantidade e até que seja reduzida a amônio, ela permanece como nitrato, além disso, o amônio apresentou-se com baixo teor devido ter sido determinado somente o amônio livre no tecido, ou seja, antes de incorporar a algum esqueleto carbônico.

Analisando a Figura 4A, constata-se que apenas na folha F_{ind} ocorreu efeito linear para as doses de N em cobertura, corroborando com os resultados obtidos por Silva et al. (2011). Os valores de N-Total encontrados para as folhas F_6 e F_{ind} estão de acordo com o nível considerado adequado (28-35 g kg⁻¹ de N) por Malavolta (2006), com exceção da dose 0 kg ha⁻¹ de N que apresentou valores de 20,72 e 26,39 g kg⁻¹ para as folhas F_6 e F_{ind} , respectivamente.

O teor máximo de N-Total obtido para a folha F_{ind} foi de 36,02 g kg⁻¹ na dose de 200 kg ha⁻¹ de N, estando acima do citado por Schlegel, Nelson e Sommers (1986) e Silva et al. (2011), que constatarem valores de 26,5 e 29,58 g kg⁻¹ de N, na dose de 120 e 240 kg ha⁻¹ de N tratado com NBPT, respectivamente.

A Figura 4B, apresenta os resultados obtidos para os teores de N-NO₃⁻ na planta e, diferentemente da Figura 4A o tecido amostrado que proporcionou melhor ajuste da equação linear, neste caso foi a folha F_6 . Com relação a Figura 4C, as folhas F_6 , F_{7-9} e F_{ind} tiveram um melhor ajuste ao modelo linear para as doses de N, enquanto as folhas F_{1-3} e F_{4-5} os efeitos não foram significativos para os tratamentos.

Os dados obtidos com relação a melhor época e posição da folha para fins de avaliação do estado nutricional do N, baseado na metodologia citada por Malavolta (1980), mostraram que a folha F_6 coletada com 38 DAE foi a mais sensível a mudança na disponibilidade de N no solo (Tabela 3).

Tabela 3. Determinação da melhor posição da folha para avaliação do estado nutricional em relação ao nitrogênio baseado na metodologia apresentado por Malavolta (1980).

Folha	Época DAE	A	B	A-B*
		g kg ⁻¹		
Índice	68	41,3	25,2	16,1
F_6	38	38,5	16,1	22,4
F_{1-3}	38	22,4	10,5	11,9
F_{4-5}	38	21,4	9,5	11,9
F_{7-9}	38	23,5	8,4	15,1

A – Maior teor médio de N-Total dentro de cada posição da folha;

B – Menor teor médio de N-Total dentro de cada posição da folha;

A-B = Diferença entre o maior e o menor teor de N-Total;

*O órgão que apresentar a maior diferença entre o maior e o menor teor, considera-se o órgão mais sensível à mudança na disponibilidade de N no solo, neste caso é a F_6 .

Fonte: Elaboração dos autores.

O resultado obtido sugere uma alternativa em relação ao preconizado por Malavolta (2006), que relata que a folha que melhor representa o estado nutricional do milho é a folha abaixo e oposta à espiga principal (F_{ind}), na fase do florescimento pleno da cultura. Portanto, do ponto de vista prático a folha F_6 coletada com 38 DAE é mais interessante do que a folha F_{ind} amostrada aos 68 DAE, pois permite, caso detecte baixo teor, alguma medida de correção como aplicação adicional em cobertura

de fertilizante nitrogenado granulado ou líquido (BINDER; SANDER; WALTERS, 2000).

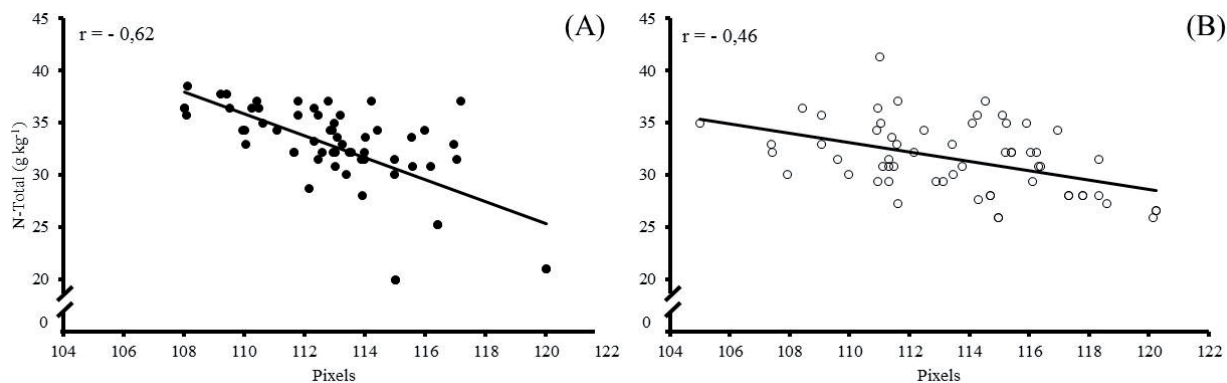
Vale salientar que é nesse período de 38 DAE que ocorre o aumento do desenvolvimento do sistema radicular, sendo observado boa resposta à utilização de fertilizantes nitrogenado (FORNASIERI FILHO, 2007). Com isso, podendo sanar um dos principais problemas do atual sistema de recomendação da adubação, que é o cálculo da determinação da quantidade de N a ser aplicada no milho, que é

definida antes da semeadura (RAMBO et al., 2004), utilizando essa metodologia de analisar a folha F_6 , pode ser feito o monitoramento deste elemento precocemente, isto é, no desenvolvimento da cultura e, conseqüentemente minimizando o problema de subestimar ou superestimar a demanda nitrogenada no milho.

As leituras realizadas no scanner para evidenciar os teores relativos de clorofila nas folhas estão apresentados na Figura 5, constatando pela análise de correlação simples que nos estádios de 38 DAE (Figura 5A) e 68 DAE (Figura 5B) avaliados, as leituras correlacionaram-se negativamente com os teores de N-Total na planta, mostrando que o

aumento dos teores de N-Total no tecido proporciona uma diminuição nos valores de pixels, ou seja, conforme aumenta os teores de N-Total no tecido aumenta-se à quantidade de verde na folha. O que é justificado pelo fato do N fazer parte da molécula de clorofila (MALAVOLTA, 2006), havendo assim correlação significativa entre a intensidade do verde e o teor de clorofila com a concentração de N-Total na folha (GIL et al., 2002). Esses mesmos resultados foram obtidos por Argenta et al. (2001) utilizando o método do clorofilômetro, que observaram correlação positiva e significativa nos estádios de 6-7 folhas, 10-11 folhas e no espigamento.

Figura 5. Relação entre o teor de N-Total (g kg^{-1}) e leitura realizada pelo scanner (pixels) na folha F_6 (A) e folha F_{ind} (B) do milho no município de Mauá da Serra, PR, na safra agrícola 2007/2008.



Fonte: Elaboração dos autores.

Comparando as duas épocas de amostragem da folha para determinação do teor relativo de clorofila no milho, verifica-se que a 1^o amostragem (folha F_6) apresentou uma correlação entre o teor de N-Total e a quantidade de pixel de $r = -0,62$, já a 2^o amostragem (folha F_{ind}) o seu valor foi de $r = -0,46$, valor inferior ao obtido pela 1^o amostragem, sugerindo que a melhor época para realizar esse procedimento foi aos 38 DAE.

Essa informação é importante, pois reforça a constatação de que o melhor tecido para realizar a análise nutricional da planta é a folha F_6 , no período

de 38 DAE constatado pelo método preconizado por Malavolta (1980), no presente estudo. Por outro lado, esse resultado é o oposto do observado por Argenta et al. (2001), que constataram que apesar do medidor portátil de clorofila SPAD correlacionar positivamente com o teor de N nas folhas, essa correlação foi menor no estágio de 6-7 folhas em relação aos outros dois estádios (10-11 folhas e espigamento), indicando que boa parte do N absorvido no estágio inicial é utilizado para produção de outras estruturas na planta e não para formação de clorofila.

A alta correlação entre o teor de N-Total e de clorofila nas folhas do milho evidencia a possibilidade da utilização dessa metodologia para medição do teor relativo de clorofila por meio do escaneamento das folhas com utilização de scanner, que é um equipamento muito barato. No entanto, na literatura, não foram encontrados trabalhos que tenham utilizado essa metodologia para prever o estado nutricional quanto ao teor de N na planta, havendo a necessidade de condução de mais trabalhos para a obtenção de parâmetro de valores críticos do teor relativo de clorofila e de um índice de suficiência do N, com intuito de aumentar a credibilidade da metodologia de escaneamento das folhas.

Considerando os preços praticados na região de Londrina, PR, em novembro de 2008, representados pela relação 3,56:0,30 (preço do kg de N:preço do kg do grão de milho), a dose de máxima eficiência econômica foi de 118,21 kg ha⁻¹ de N. Resultados semelhantes foram obtidos por Pavinato et al. (2008), pesquisando em Latossolo Vermelho distrófico típico sob SPD com mais de 10 anos e, teor de matéria orgânica do solo de 38 g kg⁻¹, na região de Cruz Alta, RS, constataram em seu trabalho que a doses de 157 kg ha⁻¹ de N foi a que proporcionou a máxima eficiência econômica para a cultura do milho em sistema irrigado.

Segundo Silva et al. (2011), pesquisando a utilização de uréia tratada com NBPT nas doses de 60, 120, 180 e 240 kg ha⁻¹ de N, constataram que a dose de 60 e 120 kg ha⁻¹ de N não apresentaram viabilidade, sendo verificada que a maior margem de lucro foi obtido para o tratamento 180 kg ha⁻¹ de N. Segundo esses mesmos autores a aplicação de uréia tratada com NBPT proporciona maiores margem de lucros, apesar do seu custo mais elevado, em comparação a uréia comum.

Conclusões

A dose de 145,18 kg ha⁻¹ de N, na forma de uréia tratada com NBPT, aplicado em cobertura no

estádio fenológico V₄ de desenvolvimento do milho proporciona máximo rendimento de 13288,26 kg ha⁻¹ de grãos. Enquanto, a dose de máxima eficiência econômica é obtida com a dose de 118, 21 kg ha⁻¹ de N.

O melhor tecido para avaliação do estado nutricional do N e do teor de clorofila nas folhas é a folha F₆, coletado aos 38 dias após a emergência.

A utilização da metodologia de escaneamento da folha proporciona uma boa correlação negativa com o teor de N e, é uma ferramenta auxiliar para diagnose de deficiência desse nutriente no tecido vegetal da planta de milho.

Referências

- ARAUJO, L. A. N.; FERREIRA, M. E.; CRUZ, M. C. P. Adubação nitrogenada na cultura do milho. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, v. 39, n. 8, p. 771-777, 2004.
- ARGENTA, G.; SILVA, P. R. F.; BOTOLINI, C. G.; FORSTHOFER, E. L.; STRIEDER, M. L. Relação da leitura do clorofilômetro com os teores de clorofila extraível e de nitrogênio na folha de milho. *Revista Brasileira de Fisiologia Vegetal*, Campinas, v. 13, n. 2, p. 158-167, 2001.
- BINDER, D. L.; SANDER, D. H.; WALTERS, D. T. Maize response to time of nitrogen application as affected by level of nitrogen deficiency. *Agronomy Journal*, Madison, v. 92, n. 6, p. 1228-1236, 2000.
- BORGHI, E.; MELLO, L. M. M.; CRUSCIOL, C. A. C. Adubação por área e por planta, densidade populacional e desenvolvimento do milho em função do sistema de manejo do solo. *Acta Scientiarum-Agronomy*, Maringá, v. 26, n. 3, p. 337-345, 2004.
- BOX, G. E. P. Non-normality and tests on variances. *Biometrika*, London, v. 40, n. 3-4, p. 318-335, 1953.
- BREMNER, J. M.; KEENEY, D. R. Steam distillation methods for determination of ammonium, nitrate and nitrite. *Analytica Chimica Acta*, Amsterdam, v. 32, n. 1, p. 485-495, 1965.
- CANTARELLA, H. Nitrogênio. In: NOVAIS, R. F.; ALVAREZ, V. V. H.; BARROS, N. F.; FONTES, R. L. F.; CANTARUTTI, R. B.; NEVES, J. C. L. (Ed.). *Fertilidade do solo*. Viçosa: SBCS, 2007. p. 375-470.

- CANTARELLA, H.; TRIVELIN, P. C. O.; CONTIN, T. L. M.; DIAS, F. L. F.; ROSSETTO, R.; MARCELINO, R.; COIMBRA, R. B.; QUAGGIO, J. A. Ammonia volatilisation from urease inhibitor-treated urea applied to sugarcane trash blankets. *Scientia Agrícola*, Piracicaba, v. 65, n. 4, p. 397-401, 2008.
- CHRISTIANSON, C. B.; BYRNES, B. H.; CARMONA, G. A comparison of the sulfur and oxygen analogs of phosphoric triamide urease inhibitors in reducing urea hydrolysis and ammonia volatilization. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, Amsterdam, v. 26, n. 1-3, p. 21-27, 1990.
- CRUZ, C. D.; REGAZZI, A. J. *Modelos biométricos aplicados ao melhoramento genético*. Viçosa: UFV, 2001. 390 p.
- 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. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, v. 32, n. 1, p. 161-171, 2008.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos (Rio de Janeiro, RJ). Sistema brasileiro de classificação de solos. Brasília: Embrapa-SPI, Embrapa-CNPq, 1999. 412 p.
- FERREIRA, A. C. B. *Efeitos da adubação com N, Mo e Zn sobre a produção, qualidade dos grãos e concentração de nutrientes no milho*. 1997. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa.
- FERREIRA, A. C. B.; ARAÚJO, G. A. A.; PEREIRA, P. R. G.; CARDOSO, A. A. Características agrônomicas e nutricionais do milho adubado com nitrogênio, molibdênio e zinco. *Scientia Agrícola*, Piracicaba, v. 58, n. 1, p. 131-138, 2001.
- FERREIRA, D. F. *Manual do sistema Sisvar para análises estatísticas*. Lavras: UFLA, 2000. 63 p.
- FORNASIERI FILHO, D. *Manual da cultura do milho*. Jaboticabal: Funep, 2007. 576 p.
- GANS, W.; HERBST, F.; MERBACH, W. Nitrogen balance in the system plant-soil after urea fertilization combined with urease inhibitors. *Plant Soil Environment*, Praha, v. 52, p. 36-38, 2006. Especial.
- GAVA, G. J. C.; OLIVEIRA, M. W.; SILVA, M. A.; JERÔNIMO, E. M.; CRUZ, J. C. S.; TRIVELIN, P. C. O. Produção de fitomassa e acúmulo de nitrogênio em milho cultivado com diferentes doses de ¹⁵N-uréia. *Semina: Ciências Agrárias*, Londrina, v. 31, n. 4, p. 851-862, 2010.
- GIL, P. T.; FONTES, P. C. R.; CECON, P. R.; FERREIRA, F. A. Índice SPAD para o diagnóstico do estado de nitrogênio e para o prognóstico da produtividade da batata. *Horticultura Brasileira*, Campinas, v. 20, n. 4, p. 611-615, 2002.
- GOMES, R. F.; SILVA, A. G.; ASSIS, R. L.; PIRES, F. R. Efeito de doses e da época de aplicação de nitrogênio nos caracteres agrônomicos da cultura do milho sob plantio direto. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, v. 31, n. 5, p. 931-938, 2007.
- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. *Produção agrícola/produção agrícola municipal (anual)*. 2008. Disponível em: <http://www.ibge.gov.br/home/mapa_site/mapa_site.php#download>. Acesso em: 22 ago. 2008.
- LARA CABEZAS, W. A. R.; KORNDORFER, G. H.; MOTTA, S. A. Volatilização de N-NH₃ na cultura de milho: I. Efeito da irrigação e substituição parcial da uréia por sulfato de amônio. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, v. 21, n. 3, p. 481-487, 1997.
- LOURENTE, E. R. P.; ONTOCELLI, R.; SOUZA, L. C. F.; GONÇALVES, M. C.; MARCHETTI, M. E.; RODRIGUES, E. T. Culturas antecessoras, doses e fontes de nitrogênio nos componentes de produção do milho. *Acta Scientiarum-Agronomy*, Maringá, v. 29, n. 1, p. 55-61, 2007.
- MALAVOLTA, E. *Elementos da nutrição mineral de plantas*. São Paulo: Agronômica Ceres, 1980. 251 p.
- _____. *Manual de nutrição mineral de plantas*. Piracicaba: Ceres, 2006. 631 p.
- MALAVOLTA, E.; VITTI, G. C.; OLIVEIRA, S. A. *Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações*. 2. ed. Piracicaba: Potafos, 1997. 319 p.
- MATZENAUER, R.; WESTPHALEN, S. L.; BERGAMASCHI, H. Relações entre a evapotranspiração do milho e as fórmulas de Pennan e Thornthwaite. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, v. 18, n. 11, p. 1207-1214, 1983.
- MEIRA, F. A.; BUZETTI, S.; ANDREOTTI, M.; ARF, O.; SÁ, M. E.; ANDRADE, J. A. C. Fontes e épocas de aplicação do nitrogênio na cultura do milho irrigado. *Semina: Ciências Agrárias*, Londrina, v. 30, n. 2, p. 275-284, 2009.
- NOVAKOWISKI, J. H.; SANDINI, I. E.; FALBO, M. K.; MORAES, A.; NOVAKOWISKI, J. H.; CHENG, N. C. Efeito residual da adubação nitrogenada e inoculação de *Azospirillum brasilense* na cultura do milho. *Semina: Ciências Agrárias*, Londrina, v. 32, p. 1687-1698, 2011. Suplemento 1.

- OKUMURA, R. S.; TAKAHASHI, H. W.; SANTOS, D. G. C.; LOBATO, A. K. S.; MARIANO, D. C.; MARQUES, O. J.; SILVA, M. H. L.; OLIVEIRA NETO, C. F.; LIMA JUNIOR, J. A. Influence of different nitrogen levels on growth and production parameters in maize plants. *Journal of Food, Agriculture & Environment*, Helsinki, v. 9, n. 3-4, p. 510-514, 2011.
- PAVINATO, P. S.; CERETTA, C. A.; GIROTTO, E.; MOREIRA, I. C. L. Nitrogênio e potássio em milho irrigado: análise técnica e econômica da fertilização. *Ciência Rural*, Santa Maria, v. 38, n. 2, p. 358-364, 2008.
- RAMBO, L.; SILVA, P. R. F.; ARGENTA, G.; BAYER, C. Testes de nitrato no solo como indicadores complementares no manejo da adubação nitrogenada em milho. *Ciência Rural*, Santa Maria, v. 34, n. 4, p. 1279-1287, 2004.
- RAWLUK, C. D. L.; GRANT, C. A.; RACZ, G. J. Ammonia volatilization from soils fertilized with urea and varying rates of urease inhibitor NBPT. *Canadian Journal of Soil Science*, Ottawa, v. 81, n. 2, p. 239-246, 2001.
- RITCHIE, S. W.; HANWAY, J. J.; BENSON, G. O. *How a corn plant develops*. Ames: Iowa State University of Science and Technology, 1993. 26 p. (Special report, 48).
- SANTOS, P. G.; JULIATTI, F. C.; BUIATTI, A. L.; HAMAWAKI, O. T. Avaliação do desempenho agrônomo de híbridos de milho em Uberlândia, MG. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, v. 37, n. 5, p. 597-602, 2002.
- SAS INSTITUTE. *The SAS-system for windows: release 6.11 (software)*. Cary: Statistical Analysis System Institute, p. 1-4, 1996.
- SCHLEGEL, A. J.; NELSON, D. W.; SOMMERS, L. E. Field evaluation of urease inhibitors for corn production. *Agronomy Journal*, Madison, v. 78, n. 6, p. 1007-1012, 1986.
- SCIVITTARO, W. B.; GONÇALVES, D. R. N.; VALE, M. L. C.; RICORDI, V. G. Nitrogen losses by ammonia volatilization and lowland rice response to NBPT urease inhibitor-treated urea. *Ciência Rural*, Santa Maria, v. 40, n. 6, p. 1283-1289, 2010.
- SHAPIRO, S. S.; WILK, M. B. An analysis of variance test for normality (complete samples). *Biometrika*, London, v. 52, n. 3-4, p. 591-611, 1965.
- SILVA, D. R. G.; PEREIRA, A. F.; DOURADO, R. L.; SILVA, F. P.; ÁVILA, F. W.; FAQUIN, V. Productivity and efficiency of nitrogen fertilization in maize under different levels of urea and NBPT-treated urea. *Ciência e Agrotecnologia*, Lavras, v. 35, n. 3, p. 516-523, 2011.
- SILVA, E. C.; BUZZETTI, S.; GUIMARÃES, G. L.; LAZARINI, E.; SÁ, M. E. Doses e épocas de aplicação de nitrogênio na cultura do milho em plantio direto sobre Latossolo Vermelho. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, v. 29, n. 3, p. 353-362, 2005.
- STEEL, R. G. D.; TORRIE, J. H. *Principles and procedures of statistics*. New York : McGraw-Hill, 1960. 481 p.
- STONE, L. F.; MOREIRA, J. A. Resposta do feijoeiro ao nitrogênio em cobertura, sob diferentes lâminas de irrigação e preparo do solo. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, v. 36, n. 3, p. 473-481, 2002.
- STUDENT. The probable error of a mean. *Biometrika*, London, v. 6, n. 1, p. 1-25, 1908.
- VILLEGAS, E.; ORTEGA, E.; BAUER, R. *Métodos químicos usados en el CIMMYT para determinar la calidad de proteína de los cereales*. México, DF: Centro Internacional de Mejoramiento de Mayz y Trigo. 1985. 34 p.
- WATSON, C. J. *Urease activity and inhibition – principles and practice*. London: The International Fertilizer Society. 2000. 40 p. (Proceedings, 454).

