

Fertilização nitrogenada, densidade de plantas e rendimento de milho cultivado no sistema plantio direto¹

Nitrogen fertilization, plant density and maize yield cropped under no-tillage system

Francisco de Brito Melo^{2*}, José Eduardo Corá³ e Milton José Cardoso⁴

Resumo - Na cultura do milho (*Zea mays* L.), o suprimento inadequado de nitrogênio e a densidade de plantio são considerados fatores limitantes ao rendimento de grãos. Objetivou-se, neste trabalho, avaliar a influência de doses de nitrogênio e diferentes densidades de plantas nos componentes de produção e no rendimento da cultura de milho. O experimento foi instalado na Região de cerrado do sul do Maranhão, MA, em um Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico, textura argilosa, cultivado há seis anos em sistema de plantio direto (SPD). O delineamento experimental utilizado foi o de blocos casualizados, com quatro repetições, e os tratamentos segundo o arranjo em um esquema fatorial 5 x 4. Os tratamentos foram constituídos pela combinação de cinco doses de nitrogênio, na forma de uréia (0; 50; 100; 150 e 200 kg ha⁻¹), e quatro densidades de plantas (25.000; 50.000; 75.000 e 100.000 plantas ha⁻¹). O número e massa de grãos por espiga e massa de grãos por planta aumentaram com o acréscimo da dose de N e com o decréscimo da densidade de plantas. Maiores rendimentos de grãos foram obtidos com acréscimos, concomitantemente, nas doses de N e nas densidades de plantas. A máxima produtividade de grãos de milho (11,9 Mg ha⁻¹) foi obtida com 120 kg ha⁻¹ de N e 83.000 plantas ha⁻¹.

Palavras-chave - Milho. Planta-efeito do Nitrogênio. Plantio direto.

Abstract - In maize (*Zea mays* L.), the inadequate nitrogen supply and planting density are considered limiting factors to the grain yield. The objective of this study was to evaluate the influence of different nitrogen levels and plant densities to the maize yield components and productivity. The experiment was carried out in the Cerrado region, located in the southern of the Maranhão State, Brazil, in a clay Oxisol (Ustox), cropped under the no-tillage system for six years. The randomized completed blocks experimental design with four replications was used, with treatments arrangement in a 5 x 4 factorial. The treatments were a combination of five doses of nitrogen as urea (0, 50, 100, 150 and 200 kg ha⁻¹) and four plant densities (25,000; 50,000; 75,000 and 100,000 plants ha⁻¹). The grain number and mass per spike and grain mass per plant were improved by increased N and decreased plant density. Higher incomes of grains were obtained with adding concomitantly in N doses and in plants density. The maximum grain yield (11,9 Mg ha⁻¹) was obtained with 120 kg ha⁻¹ of N and 83,000 plants ha⁻¹.

Key words - Corn. Plant-Nitrogen effect. No-tillage.

* Autor para correspondência

¹Recebido para publicação em 29/01/2010; aprovado em 01/02/2011

Parte da Tese de Doutorado do primeiro autor realizada na Universidade Estadual Paulista-UNESP; projeto financiado pelo convênio Embrapa Meio-Norte/PETROBRÁS

²Pesquisador da Embrapa Meio-Norte, Av. Duque de Caxias, 5650, Bairro Buenos Aires, Teresina-PI, Brasil, 64.006-220, brito@cpamn.embrapa.br

³Professor Associado do Departamento de Solos/UNESP, Campus de Jaboticabal, Jaboticabal-SP, Brasil, 14.884-900, cora@fcav.unesp.br

⁴Pesquisador da Embrapa Meio-Norte, Teresina-PI, Brasil, miltoncardoso@cpamn.embrapa.br

Introdução

No Brasil, na safra 2006/07, foram cultivados 9.425 milhões de ha e colhidos 36,123 milhões de toneladas de grãos de milho (IBGE, 2008). Nesse período, foram cultivados 367,079 mil hectares e colhidos 469,789 mil toneladas de grãos de milho no Estado do Maranhão, representando 4,0% e 1,3% da área colhida e da produção de grãos do país (IBGE, 2008).

O nitrogênio (N) é o nutriente exigido em maior quantidade e o que mais influencia a produtividade do milho, ainda, é o principal fator que onera o custo de produção desta cultura. Devido às dificuldades de recomendação de N com base na análise de solo, a quantidade deste nutriente tem sido estudada e recomendada regionalmente com base na curva de calibração, considerando-se o tipo e manejo do solo e na produtividade esperada e, em algumas situações, nos teores foliares do elemento.

Silva et al. (2005a), nas condições de cerrado, utilizando o Sistema de Plantio Direto (SPD), reportaram que a máxima produtividade de milho foi alcançada com a dose de 166 kg ha⁻¹ de N. De acordo com Silva et al. (2005b), o melhor resultado quando da aplicação de N em milho sob SPD foi com a incorporação do fertilizante no plantio e uma cobertura aos 15 dias após a emergência. Em outro experimento, a máxima eficiência técnica foi alcançada com doses entre 144 e 174 kg ha⁻¹ de N (SILVA et al., 2006).

Veloso et al. (2006), em condições de irrigação, observaram que a máxima produtividade de grãos de milho (10,5 mg ha⁻¹) foi obtida com a dose de 180 kg ha⁻¹ de N. No entanto, Araújo et al. (2004) alcançaram a maior produtividade de grãos de milho, 11,2 Mg ha⁻¹, com a dose de 240 kg ha⁻¹ de N, e Bastos et al. (2008), em condições similares, no estado do Piauí, observaram efeito linear quando aplicaram doses crescentes de N na cultura do milho cultivado em SPD, obtendo-se produtividade de grãos de 7,7 mg ha⁻¹ com 180 kg ha⁻¹ de N.

A densidade de plantas é uma das práticas culturais que mais interfere no rendimento de grãos de milho devido à sua baixa capacidade de emissão de aflhos férteis, à sua organização floral monóica e ao curto período de florescimento (PIANA, 2008). Com o acréscimo na densidade de plantas, é possível maximizar a eficiência da interceptação de luz pelo aumento do índice foliar mesmo nos estádios fenológicos iniciais, melhorando o aproveitamento de água e nutrientes, reduzindo a competição inter e intra-específica por esses fatores, aumentando a matéria seca e a produção de grãos (ALMEIDA, 2000; AMARAL FILHO et al., 2005).

Von Pinho et al. (2008) conseguiram a máxima produtividade de grãos com a densidade de 85.000 plantas ha⁻¹, estando esse resultado de acordo com os observados por Almeida (2000), Penariol et al. (2003), Resende (2003), e Shioiga et al. (2004). Nesse sentido, há necessidade de estudos regionais devido às interações que ocorrem entre as plantas de milho e o ambiente, afetando a arquitetura da planta, alterando o padrão de crescimento e desenvolvimento e influenciando na produção de carboidratos.

Objetivou-se, neste trabalho, avaliar a influência de doses de N e diferentes densidades de plantas nos componentes de produção e no rendimento da cultura de milho.

Material e métodos

O experimento foi conduzido no município de São Raimundo das Mangabeiras, MA (latitude 6° 49' 48" S; longitude 45° 23' 52" W; altitude 475 m). O clima da região, segundo a classificação de Köppen, é do tipo Aw, com verão chuvoso e inverno seco, sendo que o período com chuvas se inicia em novembro e termina em abril (EMBRAPA, 1986). Foram registradas precipitações, da emergência das plantas à colheita, de 1.085 mm, umidade relativa média do ar de 83,9% e temperatura média do ar de 24 °C.

O solo da área experimental é um Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico, textura argilosa (EMBRAPA, 1986). Há seis anos a área vem sendo cultivada sob SPD, utilizando-se como rotação as culturas de soja e milho e como cultura para produção de palha, o milheto, semeado após a colheita da cultura principal.

Na caracterização química e física inicial do solo, realizada na camada de 0,0 - 0,2 m, foram determinados: pH em H₂O de 5,4; pH em CaCl₂ de 4,7; teores de 76,9 mmol_c dm⁻³ de acidez potencial (H+Al); teor de 1,9 mmol_c dm⁻³ de alumínio trocável; 3,0 mmol_c dm⁻³ de Potássio (K⁺); 46,7 mmol_c dm⁻³ de Cálcio (Ca²⁺); 10,4 mmol_c dm⁻³ de Magnésio (Mg²⁺); 15,2 g kg⁻¹ de Carbono (C); 24 mg dm⁻³ de fósforo (P) (Mehlich-1); 137 mmol_c dm⁻³ de Capacidade de Troca de Cátions (CTC); 44% de saturação por bases (V%); 419 g kg⁻¹ da fração areia; 185 g kg⁻¹ da fração silte; 396 g kg⁻¹ da fração argila e 1,23 g cm⁻³ de densidade do solo. As análises químicas e físicas foram realizadas seguindo as recomendações contidas no manual de métodos de análise de solo (EMBRAPA, 1997).

O delineamento experimental foi o de blocos casualizados, com quatro repetições, e os tratamentos

dispostos em um arranjo fatorial 5 x 4. Os tratamentos foram constituídos pela combinação de cinco doses de nitrogênio (0; 50; 100; 150 e 200 kg ha⁻¹) e quatro densidades de plantas (25.000; 50.000; 75.000 e 100.000 plantas ha⁻¹).

As parcelas foram constituídas de seis fileiras de 5,0 m de comprimento, espaçadas de 0,80 m entre fileiras; na linha foram distribuídas sementes em excesso para possibilitar, após o desbaste (realizado aos 15 dias após emergência), atingir as densidades de plantas desejadas. A área útil da parcela foi constituída de 8,0 m², formada pelas duas fileiras centrais, deixando as duas linhas externas como bordadura. Foi utilizado o híbrido simples BRS 1001, de ciclo médio e de alto potencial de resposta ao N, semeado em 10/12/2006.

A adubação de semeadura com fósforo, potássio e zinco foi realizada manualmente, em sulcos paralelos com 0,15 m de profundidade e distanciados de 0,10 m das linhas de semeadura, utilizando 60 kg ha⁻¹ de P₂O₅, 70 kg ha⁻¹ de K₂O e 3 kg ha⁻¹ de Zn, nas formas de superfosfato triplo, cloreto de potássio e sulfato de zinco, respectivamente.

A adubação nitrogenada foi efetuada com uréia, colocando-se metade do N, definido para cada tratamento, por ocasião da semeadura e o restante sendo aplicado em cobertura, realizada a lanço, distanciada 0,10 m da linha de plantio, com o solo úmido e no final da tarde, no momento da abertura da 6ª folha.

Por ocasião do florescimento, foram coletadas dez folhas de milho, por parcela, para avaliar o teor foliar de N total, utilizando-se o terço central da folha da base da espiga, na fase de pendramento (50% das plantas da parcela com pendão). Para a determinação do N nos tecidos foliares, foi utilizado o método semimicro-Kjeldahl (SILVA, 2002).

A colheita foi realizada, manualmente, aos 130 dias após a emergência, quando foram avaliados os seguintes componentes: altura de planta; altura de inserção de espiga; massa de mil grãos; número de grãos por espiga; massa de grãos por espiga; massa de grãos por planta e produtividade de grãos, com a massa de grãos corrigida para 130 g kg⁻¹ de umidade.

Para a análise estatística dos dados obtidos em função das doses de N e das densidades de plantas, utilizou-se o software SAS (SAS INSTITUTE, 2000). Foram ajustadas funções de resposta do tipo $Z = \gamma_0 + \gamma_1 N + \gamma_2 N^2 + \gamma_3 D + \gamma_4 D^2 + \gamma_5 ND$, sendo Z correspondente à variável dependente, γ os coeficientes da regressão, N e D as variáveis independentes. Quando a análise de variância indicou efeito significativo ($P < 0,01$), foram calculadas as doses de N e/ou densidade de plantas que proporcionaram os máximos das superfícies ajustadas.

Resultados e discussão

Os componentes de produção número e massa de grãos por espiga, massa de grãos por planta e produtividade de grãos foram influenciados pelos tratamentos. O número de grãos por espiga, massa de grãos por espiga e massa de grãos por planta, seguiram modelos quadráticos com coeficientes para N a 1% de probabilidade. Com dose de N em torno de 125 kg ha⁻¹ foram obtidos os maiores valores para todos os componentes de produção, embora com acentuadas variações nas densidades de plantas (FIG.1A; 1B e 1C). A literatura revisada relata que esse comportamento é consequência da menor competição intra-específica apresentada pelas plantas de milho (ALMEIDA, 2000; AMARAL FILHO et al., 2005).

Quanto à produtividade de grãos a resposta aos tratamentos, seguiu também um modelo quadrático, com coeficientes tanto para N como para densidades de plantas a 1% de probabilidade e apresentando coeficiente de determinação $R^2 = 0,92$ e máxima produtividade de grãos de milho (11,9 Mg ha⁻¹), com 120 kg ha⁻¹ de N e densidade de 83.000 plantas ha⁻¹ (FIG. 1D). As maiores variações de produtividade de grãos foram obtidas com as menores densidades de plantas.

Com densidade de plantas superiores a 83.000 plantas ha⁻¹, provavelmente, não houve interferência expressiva no aproveitamento da luminosidade e a dose de 120 kg ha⁻¹ de N seria a ideal para a planta expressar o seu máximo potencial produtivo. Maiores doses de N causam um consumo de luxo pela planta, pois a mesma aumentou a concentração de N na parte aérea e diminuiu o rendimento de grãos (FIG. 2).

Os resultados obtidos estão de acordo com os observados por Penariol et al. (2003), Resende (2003), Shioga et al. (2004), Bastos et al. (2008) e Von Pinho et al. (2008). No entanto, é importante ressaltar que outros autores, em outras Regiões do Brasil, com clima, solo, material genético e sistemas de manejo diferentes, encontraram rendimentos de grãos de milho diferentes e com doses de N superiores às obtidas nesse trabalho (PAVINATO et al., 2008; SILVA et al., 2005a; SILVA et al., 2005b; SILVA et al., 2006).

Os atributos altura de plantas e de inserção de espigas e massa de mil grãos não foram influenciadas pelos tratamentos ($P > 0,05$), ficando a altura média de plantas com 248 cm, altura de inserção de espigas com 137 cm e massa de mil grãos com 333 g.

Os resultados obtidos para alturas de plantas e de inserção de espigas situam-se na faixa de valores

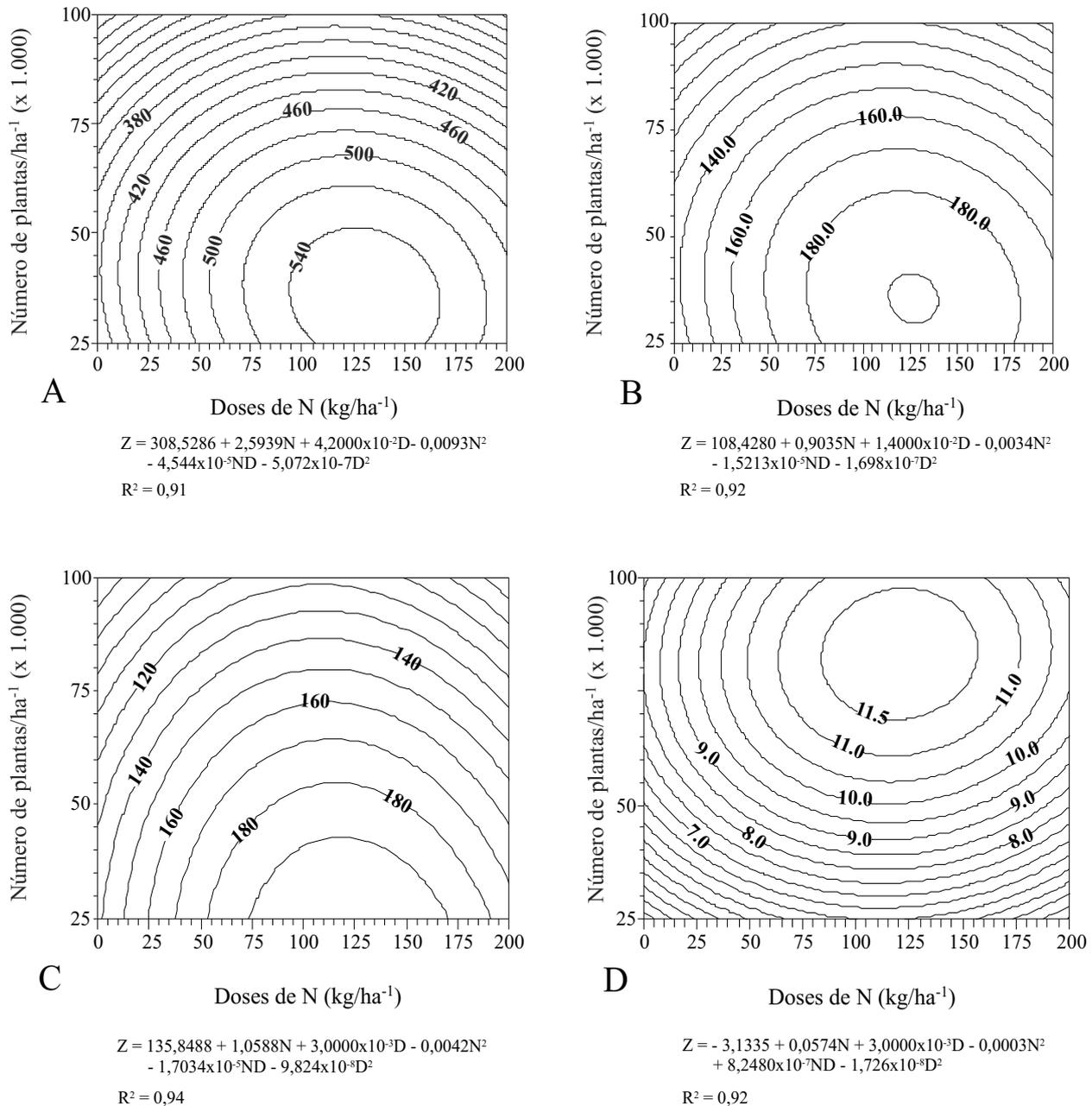
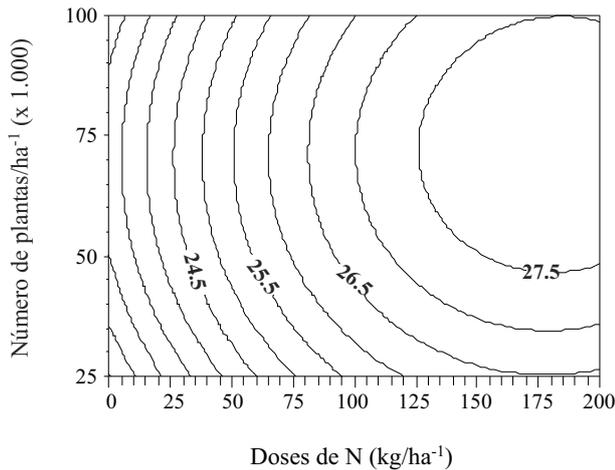


Figura 1 - Número de grãos por espiga (a), massa de grãos por espiga (b), massa de grãos por planta (c) e produtividade de grãos (d) em função das doses de nitrogênio e da densidade de plantas sob SPD

considerados característicos do híbrido avaliado, quando cultivado em condições ideais, ou seja, sem deficiência de nutrientes e água no solo.

A concentração de nitrogênio total na folha teste de milho cresceu com a elevação das doses de nitrogênio aplicadas e com o incremento da densidade de plantas, seguindo um modelo de resposta quadrático

com coeficiente para N a 1% de probabilidade (FIG. 2), estando esse resultado de acordo com os observados por Silva et al. (2005a). Segundo os autores, a ocorrência de valores menores do que os sugeridos como adequados pela literatura podem ser devido ao sistema de cultivo, que causou menor variação de temperatura e/ou umidade do solo e à característica genética do híbrido utilizado nos diferentes trabalhos.



$$Z = 20,1667 + 0,0499N + 8,8112 \times 10^{-4}D - 0,0001N^2 + 2,3200 \times 10^{-7}ND - 6,304 \times 10^{-9}D^2$$

$$R^2 = 0,92$$

Figura 2 - Teor de nitrogênio total na folha em função das doses de N e da densidade de plantas

Conclusões

1. Os componentes de produção número e massa de grãos por espiga e massa de grãos por planta aumentaram com o acréscimo da dose de N e com o decréscimo da densidade de plantas;
2. Maiores rendimentos de grãos foram obtidos com acréscimos concomitantemente nas doses de N e nas densidades de plantas;
3. O máximo rendimento de grãos de milho foi obtido com 120 kg ha⁻¹ de N e densidade de 83.000 plantas ha⁻¹.

Referências

- ALMEIDA, M. L. de. Incremento na densidade de plantas: uma alternativa para aumentar o rendimento de grãos de milho em regiões de curta estação estival de crescimento. **Ciência Rural**, v. 30, n. 01, p. 23-29, 2000.
- AMARAL FILHO, J. P. R. *et al.* Espaçamento, densidade populacional e adubação nitrogenada na cultura do milho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 29, n. 03, p. 467-473, 2005.
- ARAÚJO, E. S. *et al.* Quantificação do N do solo derivado das raízes da soja utilizando o isótopo ¹⁵N. **Revista Universidade Rural**, v. 24, n. 01, p. 7-12, 2004.
- BASTO, E. A. *et al.* Doses e formas de parcelamento de nitrogênio para a produção de milho sob plantio direto. **Revista Ciência Agrônoma**, v. 39, n. 02, p. 275-280, 2008.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA (EMBRAPA). Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos. **Levantamento exploratório-reconhecimento de solos do Estado do Maranhão**. Rio de Janeiro, 1986. 964 p. v. 2. (EMBRAPA-SNLCS. Boletim de Pesquisa, 35; SUDENE. Recursos de Solos, 17).

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA (EMBRAPA). Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos. **Manual de métodos de análise de solo**. 2. ed. Rio de Janeiro: EMBRAPA-CNPq, 1997. 212 p.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Levantamento Sistemático da Produção Agrícola**. Rio de Janeiro, 2008. p. 56-58.

PAVINATO, S. P. *et al.* Nitrogênio e potássio em milho irrigado: análise técnica e econômica da fertilização. **Ciência Rural**, v. 38, n. 02, p. 358-364, 2008.

PENARIOL, F. G. *et al.* Comportamento de cultivares de milho semeadas em diferentes espaçamentos entre linhas e densidades populacionais, na safrinha. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, v. 02, n. 02, p. 52-60, 2003.

PIANA, A. T. Densidade de plantas de milho híbrido em semeadura precoce no Rio Grande do Sul. **Ciência Rural**, v. 38, n. 09, p. 2608-2612, 2008.

RESENDE, S. G. Influência do espaçamento entre linhas e da densidade de plantio no desempenho de cultivares de milho. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, v. 02, n. 01, p. 34-42, 2003.

SAS INSTITUTE Inc. **SAS/STAT: user's guide**, version 8.1. Cary, 2000. 943 p. v. 1.

SHIOGA, P. S.; OLIVEIRA, E. L.; GERAGE, A. C. Densidade de plantas e adubação nitrogenada em milho cultivado na safrinha. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, v. 03, n. 03, p. 381-390, 2004.

SILVA, D. J. Análise de alimentos: métodos químicos e biológicos. In: SILVA, D. J. & QUEIROZ, A. C. de. **Determinação do Nitrogênio Total e da Proteína Bruta**. 3. ed. Viçosa:UFV, 2002. p. 57-75.

SILVA, E. C. da *et al.* Doses e épocas de aplicação de nitrogênio na cultura do milho em plantio direto sobre Latossolo Vermelho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 29, n.3, p. 353-362, 2005a.

SILVA, E. C. da *et al.* Épocas e formas de aplicação de nitrogênio no milho sob plantio direto em solo de cerrado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 29, n.5, p. 725-733, 2005b.

SILVA, E. C. da *et al.* Manejo de nitrogênio no milho sob plantio direto com diferentes plantas de cobertura, em Latossolo Vermelho. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.41, n.3, p. 477-486, 2006.

VELOSO, M. E. da C. *et al.* Doses de nitrogênio na cultura do milho, em solos de várzea, sob sistema de drenagem subterrânea. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, v. 03, n. 03, p. 382-394, 2006.

VON PINHO, R. G. *et al.* Adubação nitrogenada, densidade e espaçamento de híbridos de milho em sistema plantio direto na Região Sudeste do Tocantins. **Bragantia**, v. 67, n. 03, p. 733-739, 2008.