



ARTIGO ORIGINAL

Fabricio Ribeiro Andrade¹
Fabiano André Petter^{2*}
Júlio César Azevedo Nóbrega³
Leandro Pereira Pacheco⁴
Alan Mario Zuffo⁵

¹Universidade Federal de Lavras – UFLA, Programa de Pós-graduação em Ciência do Solo, Lavras, MG, Brasil

²Universidade Federal de Mato Grosso – UFMT, Instituto de Ciências Agrárias e Ambientais, Sinop, MT, Brasil

³Universidade Federal do Recôncavo da Bahia – UFRB, Centro de Ciências Agrárias, Ambientais e Biológicas, Cruz das Almas, BA, Brasil

⁴Universidade Federal de Mato Grosso – UFMT, Instituto de Ciências Agrárias e Tecnológicas, Rondonópolis MT, Brasil

⁵Universidade Federal de Lavras – UFLA, Programa de Pós-graduação em Fitotecnia, Lavras, MG, Brasil

Autor Correspondente:

*E-mail: petter@ufmt.br

PALAVRAS-CHAVE

Adubação nitrogenada
Manejo
Zea mays L.

KEYWORDS

Nitrogen fertilization
Management
Zea mays L.

Desempenho agrônômico do milho a doses e épocas de aplicação de nitrogênio no Cerrado piauiense

Maize Agronomic performance under different nitrogen rates and timing of application in the Cerrado of Piauí state, Brazil

RESUMO: O Estado do Piauí não apresenta por parte dos órgãos de pesquisa uma recomendação oficial de adubação nitrogenada para a cultura do milho no Cerrado piauiense. Objetivou-se avaliar a eficiência de doses e épocas de aplicação de nitrogênio (N) no desenvolvimento e produtividade do milho no Cerrado piauiense. O delineamento experimental foi o de blocos ao acaso, com quatro repetições e 21 tratamentos, dispostos em esquema fatorial incompleto 4x5+1 tratamento adicional como controle (ausência aplicação de N). Os demais tratamentos constituíram-se da combinação de quatro doses de N (50; 100; 150 e 200 kg ha⁻¹) e cinco formas de parcelamento do fertilizante: dose total na semeadura; dose total no estágio fenológico V6; 30% da dose na semeadura + 70% da dose no estágio fenológico V6; 50% da dose na semeadura + 50% da dose no estágio fenológico V6; 70% da dose na semeadura + 30% da dose no estágio fenológico V6. No período de pleno florescimento do milho, foram avaliados a concentração de N na folha, teor relativo de clorofila, altura das plantas, fitomassa seca da parte aérea e diâmetro do colmo das plantas. Na maturidade fisiológica, foi avaliada a altura de inserção, comprimento e número de fileiras por espiga, massa de mil grãos, produtividade, eficiência agrônômica e índice de colheita de grãos. A maior produtividade foi verificada com a aplicação de 30% do N na semeadura e o restante em cobertura. A máxima produtividade de grãos foi de 6.520 kg ha⁻¹, utilizando a dose estimada de 134 kg ha⁻¹ de N. Essa mesma forma de parcelamento do fertilizante (30% do N na semeadura e o restante em cobertura no Cerrado piauiense) também proporcionou maior eficiência agrônômica no uso do N.

ABSTRACT: There is no official recommendation by research agencies regarding nitrogen fertilization for maize for the cerrado area of Piauí state. This study aimed to evaluate the nitrogen (N) rates and times of N application on the development and yield of maize in the cerrado of Piauí State, Brazil. The experiment was carried out in a randomized block design with four replicates and 21 treatments arranged in an incomplete 4 x 5 factorial scheme + 1 additional treatment as control (without N application). The other treatments were the combination of four N rates (50, 100, 150, and 200 kg ha⁻¹) and five times of application: total N rate in seeding stage; total N rate in growth stage V6; 30% of the N rate at sowing + 70% of the N rate in growth stage V6; 50% of the N rate at sowing + 50% of the N rate in growth stage V6; and 70% of the N rate at sowing + 30% of the N rate in growth stage V6. The following attributes were evaluated during the full blooming of maize: leaf N content, relative chlorophyll content, plant height, dry matter of shoots, and stem diameter. The following properties were assessed during physiological maturity: insertion height, length and number of rows per ear, thousand grain weight, grain yield, agronomic efficiency, and grain harvest index. The highest yield was obtained with the application of 30% of the N rate at sowing + 70% of the N rate in growth stage V6. The maximum grain yield obtained was 6520 kg ha⁻¹, using the estimated N rate of 134 kg ha⁻¹. The application of this fertilizer (30% of the N rate at sowing + 70% of the N rate in growth stage V6) in the cerrado provided the highest agronomic N use efficiency.

Recebido: 27 jul. 2014

Aceito: 15 ago. 2014

1 Introdução

O milho (*Zea mays* L.) é o terceiro cereal mais cultivado no mundo, com aproximadamente 140 milhões de hectares (Fageria et al., 2011). No Brasil, a área ocupada pelo cereal na safra 2011/2012 foi aproximadamente de 15 milhões de hectares distribuídos no cultivo do milho safra e safrinha (Conab, 2012). O Piauí responde por aproximadamente 4% da área plantada de milho safra, no entanto sua participação no cultivo de milho safrinha tem sido praticamente inexistente (Conab, 2012).

Dentre os fatores que acarretam a baixa produtividade brasileira na cultura do milho, considerando-se seu potencial produtivo acima de 16.000 kg ha⁻¹, com a utilização de alto nível tecnológico (Duete et al., 2009), destacam-se o baixo consumo e o manejo incorreto dos fertilizantes nitrogenados. Nesse sentido, e devido à grande quantidade absorvida pela cultura, o nitrogênio (N) é considerado o nutriente que mais frequentemente limita a produtividade de grãos, além de onerar demasiadamente os custos de produção (Malavolta, 2006).

A disponibilidade de N no solo é controlada, basicamente, pela decomposição da MO e pela adubação nitrogenada (Alva et al., 2005). Como na região do Cerrado brasileiro predominam os Latossolos, que em geral apresentam baixos teores de MO, a adubação nitrogenada se torna uma prática indispensável para atingir altos índices produtivos pela cultura do milho (Silva et al., 2005). Nesse sentido, o manejo da adubação nitrogenada deve atender à demanda da cultura nos períodos críticos e minimizar o impacto ambiental por meio da redução de perdas do N (Silva et al., 2005).

No solo, o N aplicado na forma de fertilizantes minerais segue diferentes destinos ou rotas, sendo uma parte absorvida pelas plantas, outra, perdida no sistema por processos de lixiviação, volatilização, erosão e desnitrificação, e o restante permanece no solo, predominantemente, na forma orgânica (Alva et al., 2005). Com isso, estudos têm demonstrado que há respostas diferenciadas quanto à dose, ao número de parcelamentos e época de aplicação. Tal fato se deve ao efeito de algumas variáveis que condicionam as transformações do N no solo, as quais são mediadas por microrganismos e dependentes das condições edafoclimáticas, sobretudo do tipo de solo, sistema de cultivo, precipitação pluvial e temperatura (Sainz Rozas et al., 2004).

Para mitigar as perdas e aumentar a eficiência dos fertilizantes nitrogenados pela cultura do milho, o parcelamento e a época de aplicação do N constituem-se em alternativas viáveis, pois há maior aproveitamento do N, resultante da sincronização entre as aplicações e o período de alta demanda do nutriente (Silva et al., 2005; Farinelli; Lemos, 2012). De maneira geral, têm se aplicado não mais que 50 kg ha⁻¹ de N na semeadura, já que doses elevadas no sulco favorecem a salinização.

Na prática, a época de aplicação de N pode variar, sendo comum a aplicação de parte do N recomendado na semeadura e o restante em cobertura, quando as plantas estão com 4 a 8 folhas. No entanto, a dose e a época de aplicação de N é variável em função das condições edafoclimáticas de cada região. Tal fato, se reforça com os resultados divergentes verificados por alguns autores (Silva et al., 2005; Gomes et al.,

2007; Duete et al., 2008) quanto às doses e épocas de aplicação de N.

A obtenção de modelos que fomentam o diagnóstico da fertilidade do solo associado à recomendação de doses econômicas e ambientalmente corretas de fertilizantes para as diferentes culturas e tipos de solo ainda é complexa (Rheinheimer et al., 2007). Atualmente há a necessidade de pesquisas que subsidiem os produtores do Cerrado piauiense e pesquisas futuras quanto à fertilização nitrogenada para a cultura do milho, uma vez que o Estado do Piauí ainda não apresenta, por parte de órgãos de pesquisa, uma recomendação técnica ou uma aproximação para o uso de fertilizantes para essa cultura. Assim, objetivou-se avaliar a eficiência de doses e épocas de aplicação do nitrogênio no desenvolvimento e na produtividade do milho cultivado no Cerrado piauiense.

2 Material e Métodos

O experimento foi realizado a campo na safra 2011/2012, na Fazenda União (Serra das Laranjeiras) localizada no município de Currais, Estado do Piauí e as coordenadas pontuais são 08°38'12" de latitude sul e 44°40'11" de longitude oeste, com altitude média de 550 m. O solo foi classificado como Latossolo Amarelo distrófico – LAd, textura franco arenosa (argila: 160, silte: 50 e areia: 790 g kg⁻¹), cuja composição química apresentou: pH (H₂O): 4,6; P (método de Mehlich): 53 mg dm⁻³; K⁺: 74 mg dm⁻³; Ca²⁺: 2,1 cmol_c dm⁻³; Mg²⁺: 1,0 cmol_c dm⁻³; Al³⁺: 0,2 cmol_c dm⁻³; H⁺+Al³⁺: 3,3 cmol_c dm⁻³; V: 51%; CTC: 6,39 cmol_c dm⁻³; M.O.: 15,0 g kg⁻¹.

O histórico da área é caracterizado pelo cultivo em monocultura da soja (*Glycine max*) desde o ano de 2004, recebendo aplicações anuais de 500 kg ha⁻¹ do fertilizante N-P₂O₅-K₂O (00-20-20). De maneira geral e considerando a classificação de fertilidade para o cerrado da região Centro-Oeste, esse solo se enquadra como de média fertilidade.

O clima da região é do tipo Aw, segundo a classificação climática global de Köppen, com duas estações bem definidas, sendo uma seca, que vai de maio a setembro, e outra chuvosa, que vai de outubro a abril. Os dados de precipitação acumulada e temperatura média durante a realização do experimento encontram-se na Figura 1.

O delineamento experimental foi o de blocos ao acaso, com quatro repetições e 21 tratamentos, dispostos em esquema fatorial incompleto 4 × 5 + 1 tratamento adicional como controle (sem aplicação: 0 kg ha⁻¹ de N). Os demais tratamentos constituíram-se na combinação de quatro doses de N (50; 100; 150 e 200 kg ha⁻¹) e cinco formas de parcelamento: dose total na semeadura; dose total no estádio fenológico V6; 30% da dose na semeadura + 70% da dose no estádio fenológico V6; 50% da dose na semeadura + 50% da dose no estádio fenológico V6; 70% da dose na semeadura e 30% da dose no estádio fenológico V6, utilizando ureia (45% de N) como fonte de N.

Cada parcela foi composta por oito fileiras espaçadas em 0,5 m entre si e com 5 m de comprimento, totalizando 20,0 m². Como área útil, foram consideradas as quatro linhas centrais, tendo-se desprezado 1 m em cada extremidade, perfazendo uma área de 6 m². Para a aplicação dos tratamentos, foram realizadas distribuições manuais a lanço.

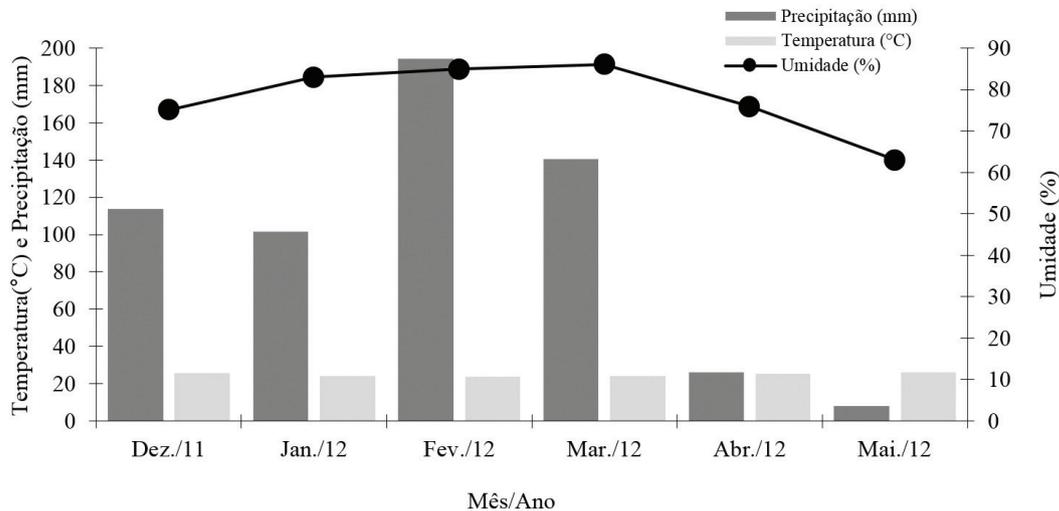


Figura 1. Temperatura média, umidade relativa e precipitação durante a condução do experimento na Fazenda União – Currais, PI (Cerrado piauiense).
Figure 1. Mean temperature, relative humidity and rainfall during the study period at 'Fazenda União' – municipality of Currais, Piauí state (Cerrado).

A semeadura do milho foi realizada mecanicamente, utilizando-se o híbrido simples Pioneer 30F35 H, de ciclo precoce, na densidade de 60 mil sementes por hectare, previamente tratadas com inseticida Imidacloprido + Thiodicarb, na dose de 45 + 135 g de i.a. e fungicida Carbendazim + Thiran na dose de 40 + 87,5 g de i.a. por 100 kg de sementes. A adubação de semeadura foi de 70 kg ha⁻¹ de P₂O₅ e 60 kg ha⁻¹ de K₂O aplicados a 0,08 m abaixo e ao lado das sementes.

Antes da semeadura do milho, foram aplicados os herbicidas glifosato e 2,4-D, nas doses de 1.440 e 806 g ha⁻¹ i.a., respectivamente. O controle de plantas daninhas em pós-emergência foi realizado com o milho no estágio de cinco folhas (V5), utilizando-se o herbicida Atrazina, na dose de 1.500 g ha⁻¹ i.a. No período anterior ao florescimento, procedeu-se à aplicação do fungicida Epoxiconazole + Pyraclostrobin na dose de 99,7 + 87,5 g de i.a. ha⁻¹ associado aos inseticidas Metomil e Imidacloprido + Thiodicarb, na dose de 12,9 e 45 + 135 g de i.a. ha⁻¹.

No período de pleno florescimento, foram determinadas as concentrações de N na folha (NFoliar), teor relativo de clorofila (TRC), altura de plantas (AP), fitomassa seca da parte aérea (FSPA) e diâmetro do colmo (DC). Quando a cultura atingiu a fase de maturidade fisiológica, foi avaliada a altura de inserção de espiga (AIE) e produtividade de grãos (PG). Determinou-se posteriormente o comprimento de espiga (CE), número de fileiras por espiga (NFE) e massa de mil grãos (PM). Foram utilizadas cinco plantas e espigas por parcela para mensuração das variáveis acima descritas. O teor relativo de clorofila foi mensurado utilizando-se clorofilômetro (clorofilLOG CFL 1030), com avaliação do ponto central da folha diagnóstico, localizado na região oposta à espiga.

Para a determinação da fitomassa seca da parte aérea, as plantas foram levadas à estufa de circulação forçada a 60 °C, por 72 h, e, em seguida, pesadas. Posteriormente, determinou-se a concentração de N foliar em pleno florescimento por meio da coleta da folha diagnóstico localizada na região oposta à inserção da espiga em cinco plantas de cada parcela. Esse material foi moído em moinho Willey equipado com peneira

de malha 40 *mesh*, sendo a determinação do N foliar realizada pelo método analítico semimicro Kjeldahl, após digestão sulfúrica. A colheita de grãos foi realizada em toda a área útil da parcela, as espigas foram trilhadas mecanicamente e a produção transformada em kg ha⁻¹ de grãos, padronizada a 13% de umidade.

Determinou-se a eficiência agrônômica (EA): produção econômica obtida (grãos, no caso de culturas anuais) por unidade de nutriente aplicado, a partir da seguinte Equação 1:

$$(EA) = (PGca - PGsa)/(QNa), (\text{kg kg}^{-1}) \quad (1)$$

em que: EA é a eficiência agrônômica; PGca é a produção, em kg, com adubação; PGsa é a produção, em kg, sem adubação; QNa é a quantidade de nutriente aplicado, em kg.

Determinou-se também o índice de colheita de grãos (ICG) da seguinte forma: ICG = produtividade de grãos/produtividade de grãos + palha.

Para a determinação do ponto de máxima eficiência técnica e de máxima dose de N, foram utilizados os dados a partir da primeira derivada de cada equação de regressão e igualando-as a zero.

Depois da análise de variância, e no caso de significância ($p \leq 0,05$), os fatores qualitativos foram comparados pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$), utilizando o programa computacional SISVAR, enquanto os fatores quantitativos foram submetidos à análise de regressão polinomial utilizando o programa computacional SigmaPlot.

3 Resultados e Discussão

Exceto o diâmetro do colmo, teor de N foliar, produtividade de grãos, eficiência agrônômica e índice de colheita de grãos, as demais variáveis não foram influenciadas pelas épocas de aplicação de N, sendo que a aplicação 100% do N na semeadura proporcionou os menores valores, enquanto que, as aplicações de 100% do N em cobertura proporcionaram os maiores valores (Tabela 1). Esses resultados diferem dos obtidos por Biscaro et al. (2011), que não verificaram aumento no diâmetro do colmo das plantas de milho que receberam N em cobertura; todavia, assemelham-se aos obtidos por

Tabela 1. Características agrônomicas e fisiológicas do milho em função das épocas de aplicação de nitrogênio no Cerrado piauiense, safra 2011/2012.
Table 1. Agronomic and physiological attributes of maize, depending on the time of nitrogen application, in the Cerrado region of Piauí state, 2011/12 crop season.

Época	DC (mm)	N foliar (g kg ⁻¹)	PG (k ha ⁻¹)	EA (kg kg ⁻¹)	ICG
100% na S	20,65 b	19,48 c	5592,46 a	25,77 ab	0,418 ab
30% S + 70% C	21,37 ab	23,20 ab	5836,59 a	30,53 a	0,419 a
50% S + 50% C	21,36 ab	22,38 ab	5731,06 a	28,25 a	0,415 ab
70% S + 30% C	21,02 ab	24,53 ab	5759,41 a	29,70 a	0,416 ab
100% em C	21,92 a	25,27 a	5162,35 b	21,61 b	0,399 b

Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem entre si a 5% de probabilidade pelo teste de Tukey; ns: não significativo; S: semeadura; C: cobertura.

Gomes et al. (2007), que observaram as maiores concentrações de N nas folhas quando as aplicações de N foram realizadas em cobertura.

O maior diâmetro do colmo, com a aplicação do N total em cobertura, pode estar relacionado com a maior disponibilidade de N durante a fase de formação dessa estrutura, já que o N apresenta função estrutural, por fazer parte da molécula de compostos orgânicos, como os aminoácidos e proteínas, sendo ainda ativador de muitas enzimas (Fageria et al., 2011).

Apesar de a aplicação de 100% do N em cobertura ter proporcionado de maneira geral os maiores valores para diâmetro do colmo e concentrações de N foliar, o mesmo não ocorreu para as características agrônomicas como a produtividade, eficiência no uso do N e no índice de colheita de grãos, os quais apresentaram os menores valores (Tabela 1). A produtividade foi de 10% a 12% inferior aos demais tratamentos quando a aplicação do N foi realizada 100% em cobertura, reflexo este, da menor eficiência agrônômica no uso do N para a aplicação nessa época, que foi, na média, 25% inferior aos demais tratamentos. Esses resultados corroboram os obtidos por Bruns e Abel (2003), que também observaram maior produtividade do milho com aplicações parceladas de N, no entanto diferem dos resultados obtidos por Gomes et al. (2007), Souza et al. (2011) e Pissinati et al. (2013), que não verificaram diferenças da aplicação de N total em semeadura da aplicação em cobertura.

Esses resultados divergentes atestam a hipótese de que a eficiência da aplicação de fertilizantes é altamente influenciada pelas condições edafoclimáticas da região (Petter et al., 2012a). Segundo esses autores, esses resultados divergentes reforçam a necessidade de se definir a adubação em função das condições edafoclimáticas específicas de cada região, não podendo extrapolar recomendações de fertilizantes de outras regiões, mesmo que dentro do mesmo bioma.

De maneira geral, os maiores valores verificados para os parâmetros avaliados com a aplicação do N parcelado, sendo parte na semeadura e parte em cobertura pode ser atribuída à maior eficiência de recuperação do N pelas plantas, e, possivelmente, à menor perda de N, principalmente por lixiviação. Este fato ganha ainda mais importância à medida que os cultivos são realizados em solos arenosos e/ou baixos teores de MO, pois, normalmente, as perdas de N por lixiviação, principalmente na forma de nitrato (NO₃⁻) são mais evidentes em solos com essas condições. A eficiência agrônômica reflete em maior eficiência econômica no uso do N, podendo os custos de produção ser reduzidos em função do manejo de adubação.

Considerando-se que a máxima produtividade estimada foi de 6.520 kg ha⁻¹ (Figura 6b), as doses necessárias para atingir esse valor em função da eficiência agrônômica no uso do N foram: 102 kg ha⁻¹, 86 kg ha⁻¹, 93 kg ha⁻¹, 89 kg ha⁻¹ e 122 kg ha⁻¹, para aplicações em 100% na semeadura, 30% na semeadura + 70% em cobertura, 50% na semeadura + 50% em cobertura, 70% na semeadura + 30% em cobertura, e 100% em cobertura, respectivamente. As aplicações parceladas de N proporcionaram uma economia no uso do fertilizante de aproximadamente 12,5% e 27% quando comparadas com as aplicações somente na semeadura e cobertura, respectivamente.

As doses de N influenciaram significativamente a altura (Figura 2a) e a fitomassa seca da parte aérea (Figura 2b) das plantas de milho. Para esses parâmetros, os resultados se ajustaram ao modelo quadrático de regressão. A altura máxima de plantas de milho (2,74 m) foi verificada com a dose de 200 kg ha⁻¹ de N. Resultados semelhantes foram verificados por Veloso et al. (2006) e Silva et al. (2005) com aplicações de 190 kg ha⁻¹ de N e 171 kg ha⁻¹ de N, respectivamente. Segundo esses autores, o efeito positivo das doses de N no aumento da altura está relacionado ao fato de uma planta bem nutrida em N apresentar melhor desenvolvimento da parte aérea e do sistema radicular, proporcionando maior divisão e expansão celular e interferindo diretamente no processo fotossintético.

Para a fitomassa seca da parte aérea (Figura 2b), os dados evidenciam que o máximo acúmulo foi obtido na dose de 150 kg ha⁻¹ de N, dose superior à verificada por Fernandes et al. (2005), em que o máximo acúmulo de fitomassa seca foi obtido com a aplicação de 100 kg ha⁻¹ de N. Além das condições climáticas, essa diferença nas quantidades aplicadas pode ser atribuída ao tipo de solo em que foram conduzidos os experimentos, ou seja, o presente trabalho foi conduzido em Latossolo Amarelo e o referenciado, em Latossolo Vermelho, com maiores teores de argila e MO.

Houve incremento linear nas concentrações de N e teor relativo de clorofila total nas folhas de milho (Figuras 3a, b), evidenciando uma relação direta entre os níveis de N nas folhas e a síntese de clorofila. O aumento nas concentrações de N em plantas de milho também foram verificados Gomes et al. (2007) e Souza et al. (2011), com a aplicação de doses de N. Contudo, vale ressaltar que as concentrações de N observadas no presente estudo, estão abaixo dos valores descritos como adequados (27,0 – 35,0 g de N kg⁻¹ de matéria seca) segundo Raji (2011). Fernandes et al. (2005), estudando doses de N em seis cultivares de milho em plantio direto, também constataram concentrações de N nas folhas inferiores ao descrito como adequado para a maioria das doses e cultivares estudados.

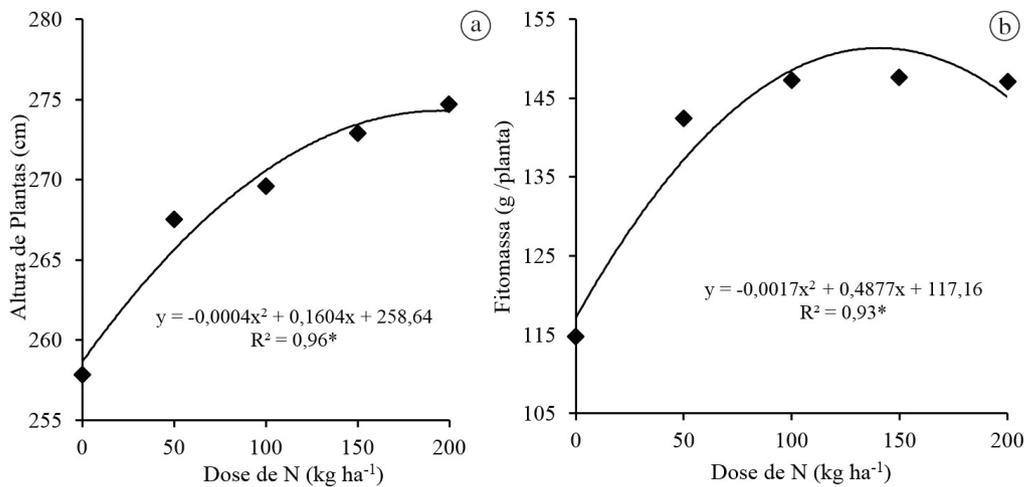


Figura 2. Altura (a) e fitomassa seca da parte aérea (b) de plantas de milho em função de doses de N no Cerrado piauiense. ** e * significativo a 1% e 5% de probabilidade pelo teste “F”, respectivamente.

Figure 2. Height (a) and shoot dry matter (b) of maize plants as a function of N rates in the Cerrado region of Piauí state. ns: not significant; ** and * significant at 1 and 5% probability levels by the “F” test, respectively.

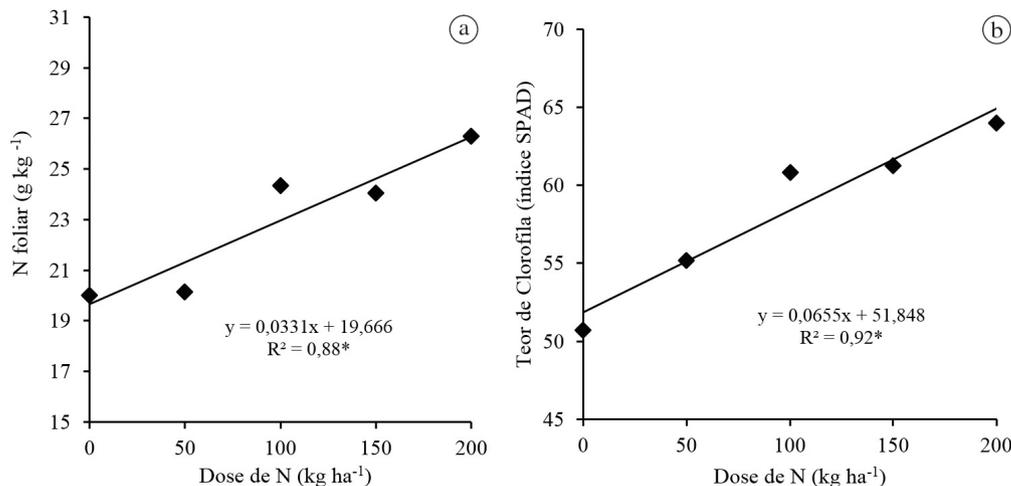


Figura 3. Concentração de N (a) e teor relativo de clorofila (b) na folha de plantas de milho em função das doses de N no Cerrado piauiense. ** e * significativo a 1% e 5% de probabilidade pelo teste “F”, respectivamente.

Figure 3. N content (a) and relative chlorophyll content (b) in maize plant leaves as a function of N rates in the Cerrado region of Piauí state. ns: not significant; ** and * significant at 1 and 5% probability levels by the “F” test, respectively.

Para o teor relativo de clorofila total, os dados corroboram com os obtidos por Amaral Filho et al. (2005), que verificaram aumento linear dos teores de clorofila com o aumento da dose do fertilizante nitrogenado. A relação direta entre o teor de clorofila nas folhas, obtida por meio da leitura com clorofilômetro portátil, e as concentrações de N nos tecidos tem sido verificada em plantas de milho utilizando o índice SPAD e, dessa maneira, como forma de determinar o estado nutricional das plantas e prever a adubação nitrogenada. Portanto, o aumento linear nos valores de N foliar e o teor relativo de clorofila podem ser justificados pela consequente participação do N como constituinte da molécula de clorofila, no processo fotossintético e na formação de aminoácidos e proteínas (Debaeke et al., 2006).

No entanto, a predisposição de doses de N a partir de medições indiretas de clorofila (medidores portáteis) deve

ser tratada com cautela (Petter et al., 2012b), pois há a possibilidade de aumento nos teores relativos de clorofila em função da redução na turgescência das células em condições de déficit hídrico. Nestas condições, resultariam em um aumento da concentração de clorofila por unidade de área avaliada e não propriamente do aumento na sua síntese.

O diâmetro do colmo (Figura 4a) e a altura de inserção de espiga (Figura 4b) foram influenciados significativamente pelas doses de N. Para ambos os parâmetros, os resultados se ajustaram ao modelo quadrático de regressão. O máximo diâmetro de colmo (22,03 mm) e a altura máxima de inserção da espiga (107,68 cm) nas plantas de milho foram verificados nas doses de 134 e 160 kg ha⁻¹, respectivamente.

Estes resultados diferem dos encontrados por Biscaro et al. (2011), que, estudando a adubação nitrogenada de cobertura na cultura do milho irrigado em sistema de plantio direto,

observaram que o diâmetro do colmo e altura de inserção da espiga não foram influenciados pelo incremento na dose de N. Já Silva et al. (2005), avaliando doses de N na cultura do milho em Latossolo no Cerrado, verificaram tendência de distribuição seguindo o modelo quadrático para altura de inserção de espiga nas plantas em função das doses de N, sendo a dose de 158 kg ha⁻¹ de N a que proporcionou a maior altura de inserção, corroborando os resultados encontrados no presente estudo.

O incremento do diâmetro de colmo constitui um fator importante do ponto de vista fisiológico, uma vez que o colmo não possui apenas função de sustentação de folhas e inflorescências, mas, principalmente, como uma estrutura destinada ao armazenamento de sólidos solúveis que são utilizados posteriormente na formação dos grãos (Carmo et al., 2012), além de reduzir o acamamento das plantas, ocasionando menores perdas dos grãos no ato de colheita.

Já o aumento na altura de inserção da espiga, ocasionado pelo incremento nas doses de N, se deve, principalmente, ao comportamento semelhante da altura de plantas (Figura 2a), pois plantas mais altas tendem a proporcionar altura maior de inserção de espiga. Esse fato está diretamente relacionado ao papel que o N desempenha no desenvolvimento vegetativo, influenciando a altura das plantas e o acúmulo de fitomassa (Silva et al., 2005). Essa característica de inserção mais alta da espiga é desejável do ponto de vista operacional, pois proporciona vantagens significativas na colheita, principalmente em cultivos consorciados com espécies de *Brachiaria*, por exemplo, em sistemas de integração lavoura-pecuária.

Os maiores valores no número de fileiras de grão (Figura 5a) e comprimento de espiga (Figura 5b) de milho em função das aplicações de N foram verificados com a dose de 100 kg ha⁻¹ e 150 kg ha⁻¹, respectivamente. Resultados semelhantes foram

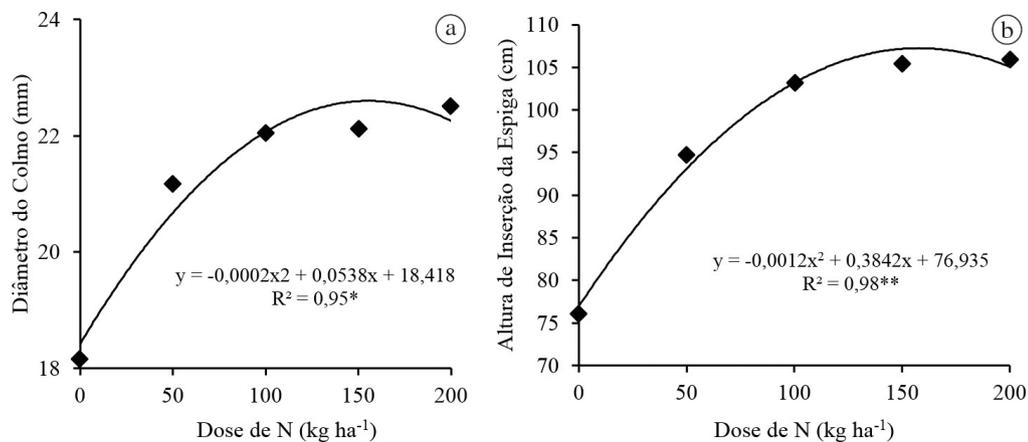


Figura 4. Diâmetro do colmo (a) e altura de inserção da espiga (b) de plantas de milho em função das doses de N no Cerrado piauiense. ** e * significativo a 1% e 5% de probabilidade pelo teste “F”, respectivamente.

Figure 4. Stem diameter (a) and ear insertion height (b) of maize plants as a function of N rates in the Cerrado region of Piauí state. ns: not significant; ** and * significant at 1 and 5% probability levels by the “F” test, respectively.

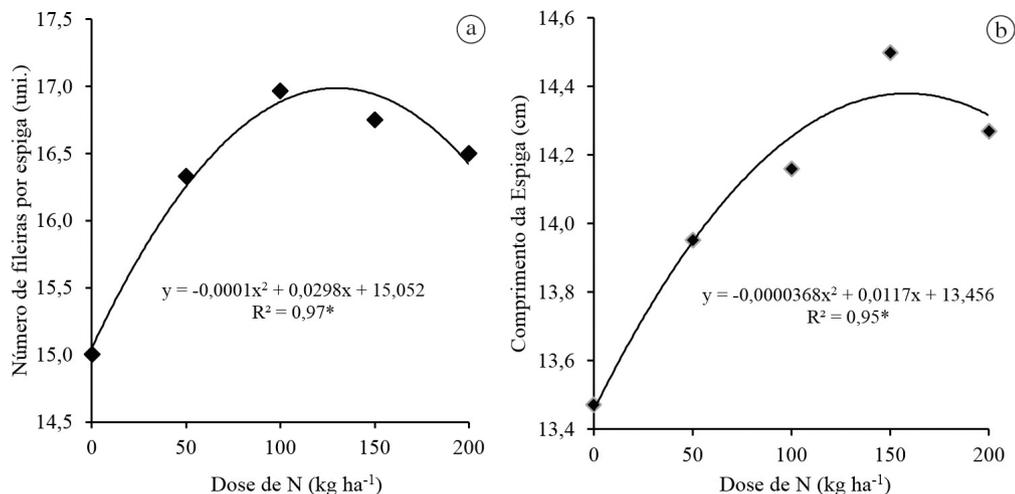


Figura 5. Número de fileiras por espiga (a) e comprimento da espiga (b) de plantas de milho em função de doses de nitrogênio no Cerrado piauiense. ns: não significativo; ** e * significativo a 1% e 5% de probabilidade pelo teste “F”, respectivamente.

Figure 5. Number of rows per ear (a) and ear length (b) of maize plants as a function of N rates in the Cerrado region of Piauí state. ns: not significant; ** and * significant at 1 and 5% probability levels by the “F” test, respectively.

verificados por Silva et al. (2005), no entanto, divergentes dos verificados por Fernandes et al. (2005). Segundo Kappes et al. (2009), o comprimento médio de espiga é um dos caracteres que pode interferir diretamente no número de grãos por fileira e, conseqüentemente, na produtividade do milho.

O aumento das doses de N proporcionou decréscimo linear significativo na massa de mil grãos (Figura 6a). As respostas das massas de grãos às adubações nitrogenadas são contraditórias, uma vez que alguns autores (Sangoi et al., 2011) verificaram efeitos positivos, enquanto que outros, não (Gomes et al., 2007; Souza et al., 2011). Por participar diretamente na síntese de proteínas e carboidratos, esperava-se aumento na massa de grãos, no entanto, apesar de não verificar esse efeito, a produtividade foi significativamente influenciada pelas doses de N (Figura 6b). O efeito negativo do incremento das doses de N pode estar relacionado ao fato de, nas doses elevadas de N, ocorrer aumento no acúmulo de fitomassa seca (Figura 2b), aumentando assim a respiração de manutenção e, conseqüentemente, reduzindo a translocação de fotoassimilados para os grãos. Outro aspecto a considerar, é que houve aumento no comprimento da espiga (Figura 5b), o que pode proporcionar grãos de tamanho reduzido.

A produtividade máxima de grãos ou eficiência técnica máxima obtida foi de 6.520 kg ha⁻¹, utilizando a dose estimada de 134 kg ha⁻¹ de N, o que representa uma produtividade, aproximadamente 67% superior à testemunha (3.884 kg ha⁻¹). Fernandes et al. (2005) verificaram a produtividade máxima de 6.000 kg ha⁻¹ de grãos utilizando 110 kg ha⁻¹ de N. Similarmente, Silva et al. (2005), Gomes et al. (2007) e Farinelli e Lemos (2011) verificaram produtividade máxima de grãos (7.000 kg ha⁻¹) utilizando 150, 166 e 174 kg ha⁻¹ de N, respectivamente. O modelo quadrático da resposta à adubação nitrogenada pode estar relacionado ao fato de que a eficiência de absorção de nutrientes reduz com altas aplicações de fertilizantes, já que as plantas regulam para baixo seus mecanismos de transporte, absorvendo os nutrientes apenas

a taxas suficientes para atender às demandas de crescimento (Fageria et al., 2011).

A eficiência agrônômica no uso do N apresentou decréscimo com o aumento da dose do nutriente (Figura 7a), sendo que o modelo de equação que melhor se ajustou aos dados foi a exponencial convexa, ou seja, à medida que se aumentaram as doses de N, as respostas em produtividade não seguiram a mesma tendência em proporção.

A maior eficiência agrônômica no uso do N foi verificada com a aplicação de 50 kg ha⁻¹, indicando que a dose aplicada que proporcionou maior produtividade (100 kg ha⁻¹) não foi a dose que proporcionou a maior eficiência agrônômica. Dessa forma, os resultados do presente estudo reforçam e corroboram a lei dos rendimentos decrescentes de Mitscherlich, a qual afirma que a resposta da produtividade é reduzida de forma exponencial à medida que se aumenta a dose de um determinado fertilizante.

No presente estudo, o índice de colheita de grãos seguiu a tendência da maioria dos parâmetros analisados, ajustando-se ao modelo quadrático de regressão, e o valor máximo estimado de ICG (0,44) foi obtido com a aplicação de 131 kg ha⁻¹ de N (Figura 7b). Gava et al. (2010) obtiveram resultados muito próximos aos do presente estudo, com ICG de 0,48 com a aplicação de 125 kg ha⁻¹ de N, evidenciando que houve boa translocação de fotoassimilados das folhas para os grãos, ou seja, a eficiência de conversão de fitomassa em grãos foi satisfatória, demonstrando estar dentro da faixa proposta pelos respectivos autores para cultivares de alta produtividade.

A utilização deste índice permite identificar a habilidade de um cultivar combinar elevada capacidade de produção total e de destinar a matéria seca acumulada para componentes de interesse econômico, neste caso, a produção de grãos (Dourado Neto; Fancelli, 2000). Segundo os mesmos autores, o índice de colheita de grãos pode variar de 0,60, para cultivares de alta produtividade, a 0,10, para cultivares de baixa produtividade.

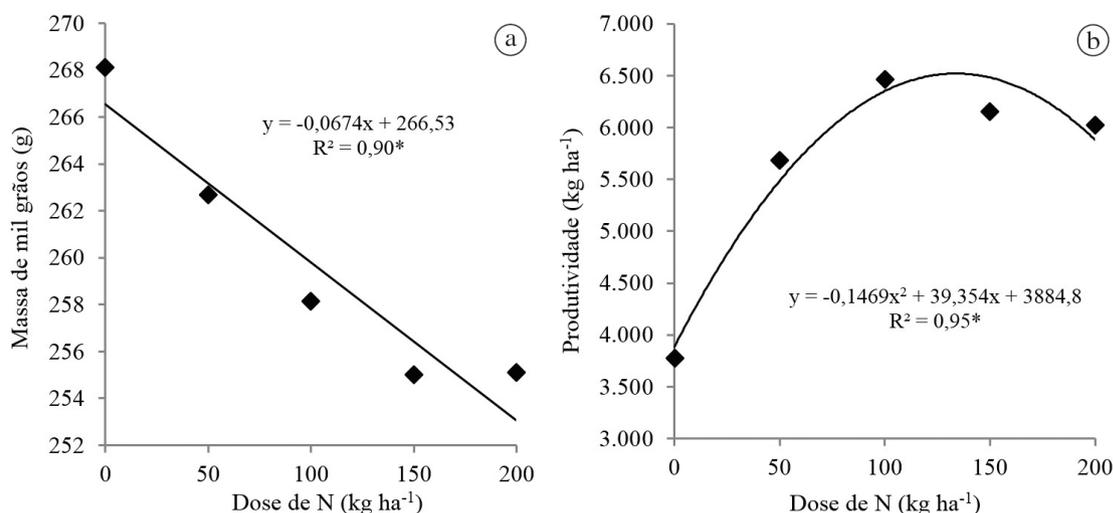


Figura 6. Massa de mil grãos (a) e produtividade de grãos (b) da cultura do milho em função das doses de nitrogênio no Cerrado piauiense. ** e * significativo a 1% e 5% de probabilidade pelo teste F, respectivamente.

Figure 6. Thousand grain mass (a) and grain yield (b) of maize crop as a function of N rates in the Cerrado region of Piauí state. ns: not significant; ** and * significant at 1 and 5% probability levels by the "F" test, respectively.

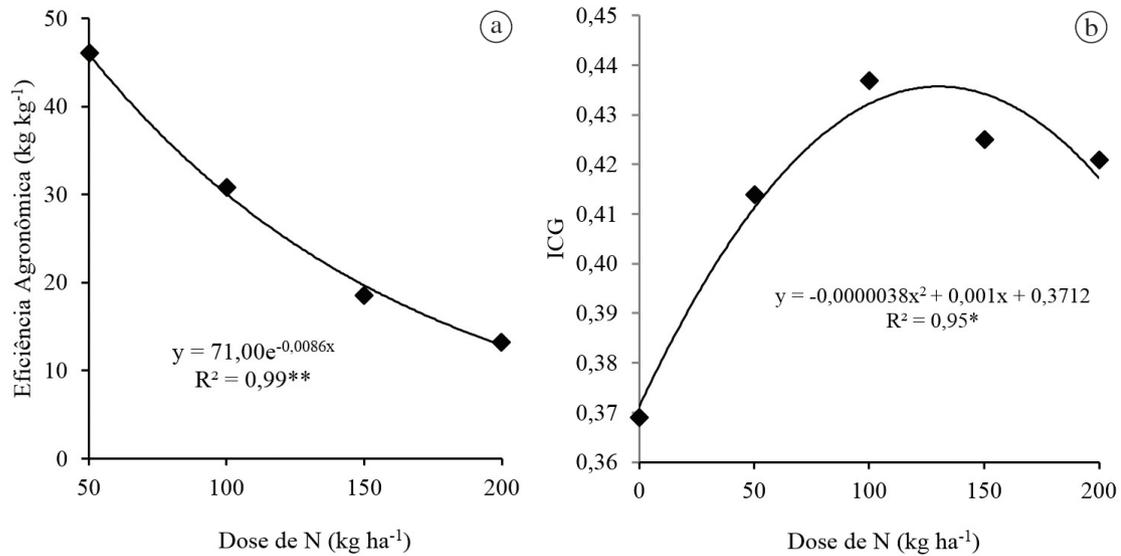


Figura 7. Eficiência agrônômica (a) e índice de colheita de grãos (b) da cultura do milho em função de doses de nitrogênio no Cerrado piauiense. ** e * significativo a 1% e 5% de probabilidade pelo teste “t” de Student, respectivamente.

Figure 7. Agronomic efficiency (a) and harvest index (b) of maize crop as a function of N rates in the Cerrado region of Piauí state. ns: not significant; ** and * significant at 1 and 5% probability levels by the “F” test, respectively.

4 Conclusões

Aplicações de N parceladas em Latossolo Amarelo distrófico do Cerrado piauiense proporcionaram maior eficiência agrônômica no uso do nutriente, melhor índice de colheita e produtividade de grãos de milho, com destaque para a aplicação de 30% na semeadura e o restante em cobertura.

Os maiores valores de fitomassa seca, diâmetro do colmo, índice de colheita e produtividade de grãos são verificados com a aplicação de 130 a 145 kg ha⁻¹ de N.

Referências

ALVA, A. K.; PARAMASIVAM, S.; FARES, A.; DELGADO, J. A.; MATTOS JÚNIOR, D.; SAJWAN, K. Nitrogen and irrigation management practices to improve nitrogen uptake efficiency and minimize leaching losses. *Journal of Crop Improvement*, v. 15, n. 2, p. 369-420, 2005. http://dx.doi.org/10.1300/J411v15n02_11

AMARAL FILHO, J. P. R.; FORNASIERI FILHO, D.; FARINELLI, R.; BARBOSA, J. C. Espaçamento, densidade populacional e adubação nitrogenada na cultura do milho. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 29, n. 3, p. 467-473, 2005. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-06832005000300017>

BISCARO, G. A.; MOTOMIYA, A. V. A.; RANZI, R.; VAZ, M. A. B.; PRADO, E. A. F.; SILVEIRA, B. L. R. Desempenho do milho safrinha irrigado submetido a diferentes doses de nitrogênio via solo e foliar. *Revista Agrarian*, v. 4, n. 11, p. 10-19, 2011.

BRUNS, H. A.; ABEL, C. A. Nitrogen fertility effects on Bt δ -endotoxin and nitrogen concentrations of maize during early growth. *Agronomy Journal*, n. 95, p. 207-211, 2003. <http://dx.doi.org/10.2134/agronj2003.0207>

CARMO, M. S.; CRUZ, S. C. S.; SOUZA, E. J.; CAMPOS, L. F. C.; MACHADO, C. G. Doses e fontes de nitrogênio no desenvolvimento e produtividade da cultura de milho doce (*Zea mays convar. saccharata var. rugosa*). *Bioscience Journal*, v. 28, p. 223-231, 2012. Suplemento 1.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO – CONAB. *Acompanhamento de safra brasileira: Grãos, 2ª Levantamento*. Brasília, 2012. 33 p.

DEBAEKE, P.; ROUET, P.; JUSTES, E. Relationship between the normalized SPAD index and the nitrogen nutrition index: application to Durum Wheat. *Journal of Plant Nutrition*, v. 29, p. 75-92, 2006. <http://dx.doi.org/10.1080/01904160500416471>

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*, v. 32, n. 1, p. 161-171, 2008. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-06832008000100016>

DUETE, R. R. C.; MURAOKA, T.; SILVA, E. C.; TRIVELIN, P. C. O.; AMBROSANO, E. J. Viabilidade econômica de doses e parcelamentos da adubação nitrogenada na cultura do milho em Latossolo Vermelho eutrófico. *Acta Scientiarum Agronomy*, v. 31, n. 1, p. 175-181, 2009. <http://dx.doi.org/10.4025/actasciagr.v31i1.6646>

DOURADO NETO, D.; FANCELLI, A. L. *Produção de milho*. Guaíba: Agropecuária, 2000. 360 p.

FAGERIA, N. K.; BALIGAR, V. C.; JONES, C. A. Corn. In: FAGERIA, N. K.; BALIGAR, V. C.; JONES, C. A. (Eds.). *Growth and mineral nutrition of field crops*. 3. ed. Madison: Marcel Decker, p. 313-342. 2011.

FARINELLI, R.; LEMOS, L. B. Nitrogênio em cobertura na cultura do milho em preparo convencional e plantio direto consolidados. *Pesquisa Agropecuária Tropical*, v. 42, n. 1, p. 63-70, 2012. <http://dx.doi.org/10.1590/S1983-40632012000100009>

FERNANDES, F. C. S.; BUZETTI, S.; ARF, O.; ANDRADE, J. A. C. Doses, eficiência e uso de nitrogênio por seis cultivares de milho. *Revista Brasileira de Milho e Sorgo*, v. 4, n. 2, p. 195-204, 2005.

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*, v. 31, n. 4, p. 851-862, 2010. <http://dx.doi.org/10.5433/1679-0359.2010v31n4p851>

GOMES, R. F.; SILVA, A. G.; ASSIS, R. L.; PIRES, F. R. Efeito de doses e época de aplicação de nitrogênio nos caracteres agrônômicos da cultura do milho sob plantio direto. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 31, n. 3, p. 931-938, 2007. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-06832007000500010>

KAPPES, C.; CARVALHO, M. A. C.; YAMASHITA, O. M.; SILVA, J. A. N. Influência do nitrogênio no desempenho produtivo do milho cultivado na segunda safra em sucessão à soja. *Pesquisa Agropecuária Tropical*, v. 39, n. 3, p. 251-259, 2009.

MALAVOLTA, E. Manual de nutrição mineral de plantas. Piracicaba: Editora Ceres, 2006. 631 p.

PETTER, F. A.; PACHECO, L. P.; ALCÂNTARA NETO, F.; SANTOS, G. G. Respostas de cultivares de soja à adubação nitrogenada tardia em solos de Cerrado. *Revista Caatinga*, v. 25, n. 1, p. 67-72, 2012a.

PETTER, F. A.; SILVA, J. A.; PACHECO, L. P.; ALMEIDA, F. A.; ALCÂNTARA NETO, F.; ZUFFO, A. M.; LIMA, L. B. Desempenho agrônômico da soja a doses e épocas de aplicação de potássio no cerrado piauiense. *Revista Ciências Agrárias*, v. 55, n. 3, p. 190-196, 2012b. <http://dx.doi.org/10.4322/rca.2012.057>

PISSINATI, A.; OLIVEIRA, M. A.; PISSINATI, A.; MOREIRA, A. Management and cost of urea application in maize grown in northern Paraná State, Brazil. *Revista Ciências Agrárias*, v. 56, n. 3, p. 235-241, 2013.

RAIJ, B. Fertilidade do solo e manejo dos nutrientes. Piracicaba: IPNI, 2011. 420 p.

RHEINHEIMER, D. S.; SILVA, L. S.; CERETTA, C. A.; KAMINSKI, J.; PELLEGRINI, J. B. R. Desafios da fertilidade do solo: modelo e interdisciplinaridade. *Boletim Informativo da SBCS*, v. 32, p. 28-36, 2007.

SANGOI, L.; VARGAS, V. P.; SCHIMITT, A.; PLETSCH, A. J.; VIEIRA, J.; SALDANHA, A.; SIEGA, E.; CARNIEL, G.; MENGARDA, R. T.; PICOLI JUNIOR, G. J. Disponibilidade de nitrogênio, sobrevivência e contribuição dos perflhos ao rendimento de grãos do milho. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 35, n. 1, p. 183-191, 2011. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-06832011000100017>

SAINZ ROZAS, H. R.; ECHEVERRÍA, H. E.; BARBIERI, P. A. Nitrogen balance as affected by application time and nitrogen fertilizer rate in irrigated no-tillage maize. *Agronomy Journal*, v. 96, n. 6, p. 1622-1631, 2004. <http://dx.doi.org/10.2134/agronj2004.1622>

SILVA, E. C.; BUZETTI, 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*, v. 29, p. 353-362, 2005. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-06832005000300005>

SOUZA, J. A.; BUZETTI, S.; TEIXEIRA FILHO, M. C. M.; ANDREOTTI, M.; SÁ, M. E.; A. R. F. O. Adubação nitrogenada na cultura do milho safrinha irrigado em plantio direto. *Bragantia*, v. 70, n. 2, p. 447-454, 2011. <http://dx.doi.org/10.1590/S0006-87052011000200028>

VELOSO, M. E. C.; DUARTE, S. N.; DOURADO NETO, D.; MIRANDA, J. H.; SILVA, E. C.; SOUSA, V. F. Doses de nitrogênio na cultura do milho, em solos de várzea, sob sistema de drenagem subterrânea. *Revista Brasileira de Milho e Sorgo*, v. 5, n. 3, p. 382-394, 2006.

Contribuição dos autores: Fabricio Ribeiro Andrade – Condução do experimento, redação científica e análise estatística; Fabiano André Petter – Condução do experimento, análise estatística e redação científica; Júlio Cezar Azevedo Nóbrega - Redação científica; Leandro Pereira Pacheco - Redação científica; Alan Mario Zuffo - Condução do experimento e redação científica.

Agradecimentos: À Universidade Federal do Piauí – UFPI pela infraestrutura de apoio para a realização da pesquisa. À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - CAPES pela concessão da bolsa de Mestrado ao Discente Fabricio Ribeiro Andrade.

Fonte de financiamento: Não houve fonte de financiamento.

Conflito de interesse: Os autores declaram não haver conflito de interesse.