

## Recomendação de Adubações Nitrogenada e Potássica nas Produtividades Técnica e Econômica de Milho



*Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária  
Embrapa Meio-Norte  
Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento*

**BOLETIM DE PESQUISA  
E DESENVOLVIMENTO  
132**

**Recomendação de Adubações Nitrogenada  
e Potássica nas Produtividades  
Técnica e Econômica de Milho**

*Francisco de Brito Melo  
Edson Alves Bastos  
Milton José Cardoso  
Aderson Soares de Andrade Júnior*

**Embrapa Meio-Norte**  
*Teresina, PI  
2021*

Exemplares desta publicação podem ser adquiridos na:

Embrapa Meio-Norte  
Av. Duque de Caxias, 5.650, Bairro Buenos Aires  
Caixa Postal 01  
CEP 64008-480, Teresina, PI  
Fone: (86) 3198-0500  
Fax: (86) 3198-0530  
www.embrapa.br/meio-norte]  
Serviço de Atendimento ao Cidadão(SAC)  
www.embrapa.br/fale-conosco/sac

Comitê Local de Publicações  
da Unidade Responsável

Presidente  
*Rosa Maria Cardoso Mota de Alcantara*

Secretário-Executivo  
*Jeudys Araújo de Oliveira*

Membros  
*Ligia Maria Rolim Bandeira, Edvaldo Sagrilo,  
Orlane da Silva Maia, Luciana Pereira dos Santos  
Fernandes, Francisco Jose de Seixas Santos, Paulo  
Henrique Soares da Silva, João Avelar Magalhães,  
Paulo Fernando de Melo Jorge Vieira, Alexandre  
Kemenes, Ueliton Messias, Marcos Emanuel da  
Costa Veloso, Jose Alves da Silva Câmara*

Supervisão editorial  
*Ligia Maria Rolim Bandeira*

Revisão de texto  
*Francisco de Assis David da Silva*

Normalização bibliográfica  
*Orlane da Silva Maia*

Editoração eletrônica  
*Jorimã Marques Ferreira*

Foto da capa  
*Francisco de Brito Melo*

**1ª edição**  
1ª impressão (2021): formato digital

**Todos os direitos reservados.**

A reprodução não autorizada desta publicação, no todo ou em parte,  
constitui violação dos direitos autorais (Lei nº 9.610).

**Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)**  
Embrapa Meio-Norte

---

Recomendação de adubações nitrogenada e potássica nas produtividades técnica e econômica de milho /  
Francisco de Brito Melo... [et al.]. - Teresina : Embrapa Meio-Norte, 2021.  
PDF (21 p.) : il. ; 16 cm x 22 cm. - (Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento / Embrapa Meio-Norte,  
ISSN 1413-1455 ; 132).

1. Nutrição vegetal. 2. Nutriente mineral. 3. Cerrado. 4. Latossolo Amarelo Distrocoeso. 5. *Zea mays*.  
I. Melo, Francisco de Brito. II. Embrapa Meio-Norte. III. Série.

CDD 633.15 (21. ed.)

---

*Orlane da Silva Maia* (CRB 3/915)

© Embrapa, 2021

## Sumário

---

Resumo .....	5
Abstract .....	7
Introdução.....	7
Material e Métodos .....	11
Resultados e Discussão .....	13
Conclusões.....	19
Referências .....	19

# Recomendação de Adubações Nitrogenada e Potássica nas Produtividades Técnica e Econômica de Milho

Francisco de Brito Melo<sup>1</sup>

Edson Alves Bastos<sup>2</sup>

Milton José Cardoso<sup>3</sup>

Aderson Soares de Andrade Júnior<sup>2</sup>

**Resumo** - O nitrogênio e o potássio são os nutrientes requeridos em maior quantidade pela cultura do milho. O objetivo deste trabalho foi avaliar as máximas produtividades técnicas e econômicas decorrentes da aplicação de doses crescentes de nitrogênio e de potássio em milho. Utilizou-se um delineamento em blocos ao acaso, com os tratamentos dispostos no arranjo fatorial 4 x 4, ou seja, quatro níveis de nitrogênio (0, 60, 120 e 180 kg ha<sup>-1</sup> de N) e quatro de potássio (0, 50, 100 e 150 kg ha<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>O), com três repetições, utilizando-se a variedade BRS Catingueiro. Com as doses de nitrogênio de 117 kg ha<sup>-1</sup> e de 54 kg ha<sup>-1</sup> são obtidas, respectivamente, as maiores produtividades de grãos secos de milho para produtividade técnica (3.019 kg ha<sup>-1</sup>) e para produtividade econômica (2.826 kg ha<sup>-1</sup>). Com as doses de K<sub>2</sub>O de 69 kg ha<sup>-1</sup> e de 50 kg ha<sup>-1</sup>, são obtidas, respectivamente, as maiores produtividades de grãos secos de milho, para produtividade técnica (3.004 kg ha<sup>-1</sup>) e para produtividade econômica (2.975 kg ha<sup>-1</sup>). O componente de produção que influencia a produtividade de grãos de milho, tanto para a aplicação de N como para a de K<sub>2</sub>O, é a produtividade de espigas despalhadas.

**Termos para indexação:** *Zea mays*, nutrição mineral, Cerrado brasileiro, Latossolo Amarelo Distrocoeso.

---

<sup>1</sup>Engenheiro-agrônomo, doutor em Produção Vegetal, pesquisador da Embrapa Meio-Norte, Teresina, PI

<sup>2</sup>Engenheiro-agrônomo, doutor em Irrigação e Drenagem, pesquisador da Embrapa Meio-Norte, Teresina, Piauí

<sup>3</sup>Engenheiro-agrônomo, doutor em Fitotecnia, pesquisador da Embrapa Meio-Norte, Teresina, PI.

## Recommendation of N and K Fertilization in Technical and Economic Productivity of Grains of Maize

**Abstract** - Nitrogen and potassium are the nutrients most required by corn. The objective of this work was to evaluate the maximum technical and economic productivity resulting from the application of increasing doses of nitrogen and potassium in corn. A randomized block design was used, with the treatments arranged in a 4 x 4 factorial arrangement, that is, four nitrogen levels (0, 60, 120 and 180 kg of N ha<sup>-1</sup>) and four potassium (0, 50, 100 and 150 kg of K<sub>2</sub>O ha<sup>-1</sup>), with three replications, using the variety BRS Catingueiro. With the nitrogen doses of 117 kg ha<sup>-1</sup> and 54 kg ha<sup>-1</sup>, respectively, the highest dry grain yields are obtained, both for technical productivity (3,019 kg ha<sup>-1</sup>) and for economic productivity (2,826 kg ha<sup>-1</sup>). With the K<sub>2</sub>O doses of 69 kg ha<sup>-1</sup> and 50 kg ha<sup>-1</sup>, the highest dry grain yields are obtained, respectively, both for technical productivity (3,004 kg ha<sup>-1</sup>) and for economic productivity (2,975 kg ha<sup>-1</sup>). The production component that influence the productivity of corn grains, both for the application of N and for K<sub>2</sub>O, is the productivity of unshelled ears.

**Index terms:** Zea mays, mineral nutrition, Brazilian Cerrado, Oxisol Yellow Distrocoeso.

## Introdução

---

O milho (*Zea mays* L.) é um cereal de grande importância no Brasil e no mundo, pois é uma cultura que se destaca pelo alto potencial produtivo e grande valor socioeconômico. Isso se deve à sua larga utilização tanto na indústria de rações para produção animal, quanto para a alimentação humana, sendo esta última em menor escala.

A cultura é produzida nas mais diversas regiões do País, com destaque para o Centro-Oeste, Sudeste e Sul. Essa expansão agrícola se justifica, em parte, pelo melhoramento genético que busca, entre outras características agrônomicas, e adaptações às diferentes condições climáticas (Borém; Miranda, 2013; Vidal, 2015). Segundo o Acompanhamento da Safra Brasileira de Grãos (2020), a estimativa de área cultivada com milho primeira safra, na safra 2019/2020, é de 4,23 milhões de hectares, 3,2% maior que a área cultivada na safra 2018/2019, influenciada pelas boas cotações atuais do cereal. Mato Grosso, principal estado produtor, é o mais adiantado no plantio do milho, com mais de 92% semeados até o fim de fevereiro, e expectativa de incremento de 9% na área de milho, tendo em vista a sua rentabilidade atual e as condições climáticas favoráveis ao cultivo. No Maranhão, a área plantada apresentou acréscimo de 23,5% em relação à safra anterior, saindo de 218,6 mil hectares para 270 mil hectares, na safra 2019/2020. Uma das razões desse incremento, além da janela de plantio favorável, foi a migração da área de soja para milho ocorrida na região sul do estado. O rendimento médio estimado está previsto para atingir 4.585 kg h<sup>-1</sup>. Nos últimos anos, sua produtividade tem aumentado significativamente, principalmente devido às mudanças ocorridas no manejo da cultura e à associação de fatores como condições edafoclimáticas favoráveis, uso de cultivares melhoradas, correto manejo da adubação e monitoramento da fertilidade do solo (Cruz et al., 2006).

A adubação é um dos fatores que mais contribuem para o aumento da produtividade do milho e quando realizada de forma adequada às exigências da cultura, esta tenderá a responder com o máximo de seu potencial

produtivo. O nitrogênio e o potássio são os nutrientes requeridos em maior quantidade pela cultura do milho (Pinho et al., 2009; Meneses, 2014). A ureia [CO(NH<sub>2</sub>)<sub>2</sub>] tem sido a fonte de nitrogênio mais utilizada pelos produtores de milho devido, principalmente, ao menor custo do fertilizante e a maior porcentagem de N ( $\pm$  45%), porém essa fonte está sujeita a maiores perdas por volatilização da amônia, de até 70% do N disponibilizado às culturas (Zavaschi, 2010). As maiores perdas por volatilização são favorecidas pela aplicação do fertilizante em cobertura, sem incorporação ao solo, e por fatores como altas temperaturas e umidade, proporcionando rápida hidrólise da ureia.

O potássio é classificado como macronutriente essencial às plantas. Entretanto alguns fatores podem diminuir sua disponibilidade, como a baixa concentração nos solos, a falta de reposição por meio de programas de adubação e o manejo inadequado das adubações, podendo levar à indisponibilidade para as plantas pelo processo de lixiviação. As perdas de potássio por lixiviação são mais expressivas em solos com baixa capacidade de troca de cátions, muito comum nos Neossolos Quartzarênicos e Latossolos Distróficos (Garcia et al., 2015).

Em solos da região de cerrados do Brasil, essas perdas variam de 37% a 48% do total aplicado. Os atributos químicos que mais afetam a lixiviação são a capacidade de troca de cátions (CTC) e o pH, e solos com alta CTC apresentam maior capacidade de adsorção dos cátions, tornando-se menos suscetíveis à lixiviação. Com o aumento do pH, a CTC do solo se eleva e, conseqüentemente, os cátions disporão de maior número de cargas para adsorção (Santos et al., 2002). O cloreto de potássio, por ser o adubo mineral mais utilizado como fonte de K<sup>+</sup> e por ter alta solubilidade no solo, agrava ainda mais a ocorrência do fator lixiviação de potássio nos solos do Brasil (Sanzonowicz; Mielniczuc, 1983).

Em um estudo conduzido por Rosolem et al. (2006) referente à dinâmica de potássio no solo, verificou-se um aumento da lixiviação de K no perfil de um solo de textura média, quando foram aplicadas doses acima de 80 kg ha<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>O por ano, independentemente do modo de aplicação do fertilizante.

Garcia et al. (2015), ao testarem duas fontes de potássio, uma organomineral contendo 30% de  $K_2O$  e 8% de carbono orgânico e outra o cloreto de potássio com 58 % de  $K_2O$ , concluíram que a fonte organomineral lixiviou menos K, principalmente nas maiores doses aplicadas ao solo, devido aos benefícios ocasionados pela associação do adubo mineral à matéria orgânica. A fonte organomineral proporcionou menor caminhamento do potássio ao longo do perfil, dado pela menor concentração do elemento na profundidade de 20-40 cm, diminuindo o processo de lixiviação de potássio nas maiores doses estudadas.

Lucena et al. (2000), ao testarem doses de N na variedade de milho BR 5033, obtiveram resposta significativa ao nitrogênio até a dose de 111 kg ha<sup>-1</sup> de N. Wendling et al. (2008) obtiveram aumento do rendimento de 11,7 kg de grãos de milho para cada kg de  $K_2O$  aplicado, em solo com teor de K abaixo do nível crítico de 0,19 cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>. Schlindwein et al. (2011) obtiveram resposta positiva à aplicação de  $K_2O$ , com aumento de 40,2 kg de grãos de milho para cada kg de  $K_2O$  aplicado ao solo.

Goes et al. (2013), ao avaliarem o efeito de doses de N na cultura do milho, obtiveram efeito significativo sobre os teores de N nas folhas, cujo teor máximo foi de 24,9 g kg<sup>-1</sup>. Para o aumento da disponibilidade de nutrientes no solo, é indispensável um bom programa de calagem e adubação.

Por meio das adubações, devem-se colocar à disposição da planta as quantidades de nutrientes que ela extrai. A extração total de nutrientes pelo milho durante o processo de produção dependerá da produtividade esperada e da acumulação desses nutrientes nas partes vegetativas e nos grãos (Broch; Ranno, 2012).

As recomendações atuais de adubação para a cultura do milho na região Meio-Norte do Brasil estão sendo baseadas em boletins técnicos, muitas vezes elaborados em outras regiões do País e até mesmo desatualizados, pois as expectativas de produtividade muitas vezes se encontram abaixo das obtidas tanto em experimentos, quanto por produtores mais tecnificados. Assim, para uma recomendação de adubação adequada, é necessário

o conhecimento das exigências nutricionais da planta, principalmente para variedades, quando o público envolvido é o pequeno agricultor, nos diferentes ecossistemas brasileiros, para que se possa suprir a necessidade de nutrientes da cultura, melhorando também a eficiência do uso dos fertilizantes aplicados. Portanto pesquisas locais ou regionais são de grande importância, pois favorecem o uso de doses de nitrogênio e de potássio com melhor eficiência e garantem a racionalização dos custos e o aumento da produtividade das lavouras (Bastos et al., 2008).

A adubação da cultura do milho, no passado, já foi uma das mais estudadas entre as diversas culturas agrícolas, existindo muitos trabalhos principalmente com híbridos sobre adubações nitrogenada, potássica e fosfatada. Entretanto trabalhos envolvendo variedades, por serem mais plantadas pelo pequeno produtor descapitalizado, sobre as exigências nutricionais da cultura, bem como as respectivas marchas de absorção, apresentam-se já ultrapassados, uma vez que foram desenvolvidos com híbridos e variedades mais antigas de baixo potencial produtivo e adaptadas, principalmente, às regiões Sul e Sudeste do Brasil, que mesmo nessas regiões não são mais utilizadas pelos produtores.

Tendo em vista que o melhoramento genético tem apresentado variedades cada vez mais produtivas e exigentes em nutrição, estudos atuais devem ser realizados a fim de contribuir para o entendimento das maiores demandas para cada ecossistema de cada região e das quantidades de nutrientes exigidos pelas variedades mais recentemente apresentadas ao mercado. O objetivo deste trabalho foi avaliar as máximas produtividades técnicas e econômicas decorrentes da aplicação de doses crescentes de nitrogênio e de potássio, utilizando-se a variedade de milho BRS Catingueiro nas condições do Cerrado do leste maranhense.

## Material e Métodos

---

O experimento foi conduzido no período de 13/02/2019 a 20/06/2019, em um talhão da fazenda Weisul Agrícola, no município de Magalhães de Almeida, MA, em área de vegetação de cerrado, latitude de 03°20'44"S, longitude de 42°17'52"W e altitude de 104 m. O clima local é quente, subúmido, excedente hídrico moderado no verão (Aw), temperatura média anual de 26 °C, precipitação anual de 1.250 mm, concentrada nos meses de fevereiro a maio (Correia Filho et al., 2011).

A precipitação total durante o ensaio foi de 799 mm, registrada em pluviômetro na área experimental, com excelente distribuição temporal (março = 235 mm, abril = 273 mm e maio = 199 mm). O solo do experimento é classificado como Latossolo Amarelo Distrocoeso de textura média.

A caracterização inicial do solo, realizada na camada de 0-20 cm, constituiu-se de: determinação de pH em H<sub>2</sub>O = 5,3; teores de H+Al = 4,2 cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>; K<sup>+</sup> = 0,12 cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>; Al<sup>3+</sup> = 0,1 cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>; Ca<sup>2+</sup> = 2,4 cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>; Mg<sup>2+</sup> = 0,9 cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>; matéria orgânica = 12 g dm<sup>-3</sup>; fósforo (Mehlich) = 19 mg dm<sup>-3</sup>; CTC = 3,5 cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>; teor de areia total = 832 g ha<sup>-1</sup>; teor de silte = 46 g ha<sup>-1</sup>; e teor de argila = 122 g ha<sup>-1</sup>.

Utilizou-se um delineamento em blocos ao acaso, com os tratamentos dispostos no arranjo fatorial 4 x 4, ou seja, quatro níveis de nitrogênio (0, 60, 120 e 180 kg ha<sup>-1</sup> de N) e quatro de potássio (0, 50, 100 e 150 kg ha<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>O) nas formas de ureia (45% de N) e cloreto de potássio (60% de K<sub>2</sub>O), respectivamente, com três repetições. Utilizou-se a variedade de milho BRS Catingueiro.

Realizaram-se adubações de fundação definidas para os tratamentos com as doses de N e de K<sub>2</sub>O; para o fornecimento de fósforo e de zinco, foram utilizados 80 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> e 3 kg ha<sup>-1</sup> de Zn nas formas de superfosfato triplo (45% de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>) e de sulfato de zinco (20% de Zn), respectivamente, constante para todos os tratamentos, aplicados no sulco de plantio

juntamente com as doses de N e de  $K_2O$ , definidas pelos tratamentos na ocasião do plantio. As doses de nitrogênio e de potássio, de acordo com cada tratamento, foram aplicadas 50% por ocasião do plantio e 50%, na emissão da 6ª folha, que correspondeu a aproximadamente 30 dias após a emergência das plantas.

Quinze dias após a emergência das plantas, realizou-se o desbaste, deixando-se uma população de 80 mil plantas  $ha^{-1}$ . Cada parcela continha quatro fileiras de plantas, espaçadas de 0,5 m e comprimento de 8,0 m. As duas fileiras centrais foram consideradas como área útil (8,0  $m^2$ ) para colheita de grãos e determinação dos demais componentes de produção.

Por ocasião da floração (50% das plantas com espigas e estigmas aparentes), coletaram-se na área útil 15 folhas, obtidas de 15 plantas ao acaso, em posição oposta à primeira espiga, para posterior lavagem no laboratório de bromatologia da Embrapa Meio-Norte, em Teresina, PI, com água destilada e secagem em estufa de ventilação forçada a uma temperatura de 65 °C por 48 horas. Após essa etapa, realizou-se a moagem das folhas de cada parcela separadamente e determinaram-se os seus teores de N e de K. Na mesma ocasião, foram coletadas amostras deformadas de solo em cada parcela, nas profundidades de 0-10 cm, 10-20 cm e 30-40 cm, para realizar análise de potássio, através da metodologia contida em Donagema et al. (2011).

A análise de potássio nas folhas-teste foi efetuada por meio da digestão nitroperclórica e posterior leitura em espectrofotômetro de absorção atômica. O nitrogênio foi obtido pelo método Kjeldahl (Silva, 2006).

Foram medidos os parâmetros estande final de plantas, altura de plantas, altura de espiga, número de espigas  $m^{-2}$ , massa de espigas despalhadas, massa de grãos secos, massa de cem grãos e calculadas a produtividade de espigas despalhadas e secas e a produtividade de grãos secos (13% de umidade).

Para as análises de variâncias dos dados obtidos na execução do experimento, utilizou-se o programa estatístico do pacote R CORE (Team, 2017).

A dose econômica foi calculada igualando-se a primeira derivada da função de produção, determinada por meio da equação de regressão, à relação de preço do adubo nitrogenado pelo preço do milho (Stone; Moreira, 2001). Foram considerados os preços praticados e fornecidos pelo gerente da fazenda Weisul Agrícola Ltda. A ureia foi comprada em fevereiro/2019 a R\$ 1,45 kg<sup>-1</sup>, o cloreto de potássio a R\$ 2,78 kg<sup>-1</sup> e o grão de milho, comercializado em setembro/2019 na própria fazenda, a R\$ 43,00/saca de 60 kg, que correspondeu a R\$ 0,72 kg<sup>-1</sup> de grãos.

## Resultados e Discussão

---

A análise de variância indicou que a produtividade de espigas despalhadas (PED) e a produtividade de grãos secos (PGS) responderam, tanto em relação à aplicação de nitrogênio (N), quanto à de potássio (K<sub>2</sub>O) e ao teor de N nas folhas (NF), apenas com a aplicação de N ao solo (**Tabela 1**).

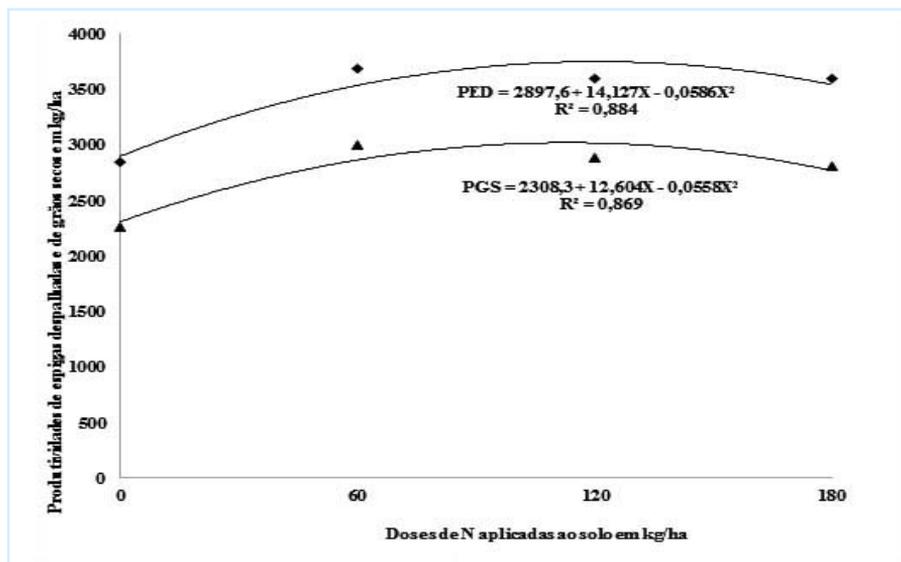
Os componentes de produção produtividade de espigas despalhadas e produtividade técnica de grãos secos foram influenciados pelas doses de nitrogênio e de K<sub>2</sub>O. Ambos seguiram um modelo quadrático tanto para N quanto para K<sub>2</sub>O. Em relação à aplicação de N, a equação que melhor se ajustou à produtividade de espigas despalhadas foi  $PED = 2.897,6 + 14,127X - 0,0586X^2$  e à produtividade de grãos secos foi  $PGS = 2.308,3 + 12,604X - 0,0558X^2$ , com coeficientes de significância para N nos dois componentes ( $p < 0,001$ ) de  $R^2 = 0,884$  e  $0,869$ , com as respostas máximas para as doses de 120 ha<sup>-1</sup> e 117 kg ha<sup>-1</sup>, respectivamente. Os maiores valores, tanto de produtividade de espigas despalhadas (3.749 kg ha<sup>-1</sup>) como de produtividade técnica máxima de grãos secos (3.019 kg ha<sup>-1</sup>), são apresentados da **Figura 1**. O comportamento das duas curvas é muito similar, ou seja, com a aplicação das doses de N, os percentuais de grãos nas espigas foram elevados, de 80%. O sabugo representou apenas 20% da massa total.

**Tabela 1.** Análise de variância (QM) do conteúdo de nitrogênio das folhas (NF), produtividade de espigas despalhadas (PED) e produtividade de grãos secos (PGS) em função dos níveis de N e de K<sub>2</sub>O aplicados ao solo.

FV	GL	NF	PED	PGS
Bloco	2	54,128***	1452942*	673888°
Nitrogênio	3	7,465*	1849150***	1283492***
Potássio	3	2,172 <sup>ns</sup>	1847150**	1209473**
N versus K	9	5,581 <sup>ns</sup>	255680 <sup>ns</sup>	144027 <sup>ns</sup>
Resíduo	30	1,691 <sup>ns</sup>	361539	269242
CV (%)		4,69	17,53	18,94

FV: fonte de variação; N: níveis de nitrogênio no solo; K<sub>2</sub>O: níveis de potássio no solo; GL: graus de liberdade; CV: coeficiente de variação (%); NF: conteúdo de N nas folhas; PED: produtividade de espigas despalhadas; PGS: produtividade de grãos secos a 13% de umidade. Níveis de significância pelo teste F:

<sup>ns</sup>p>0,1; ° p<0,1; \* p<0,05; \*\* p<0,01; \*\*\* p<0,001.



**Figura 1.** Produtividade de espigas despalhadas (kg ha<sup>-1</sup>) e produtividade de grãos secos (kg ha<sup>-1</sup>) em função das doses de nitrogênio aplicadas ao solo. Magalhães de Almeida, MA, 2019.

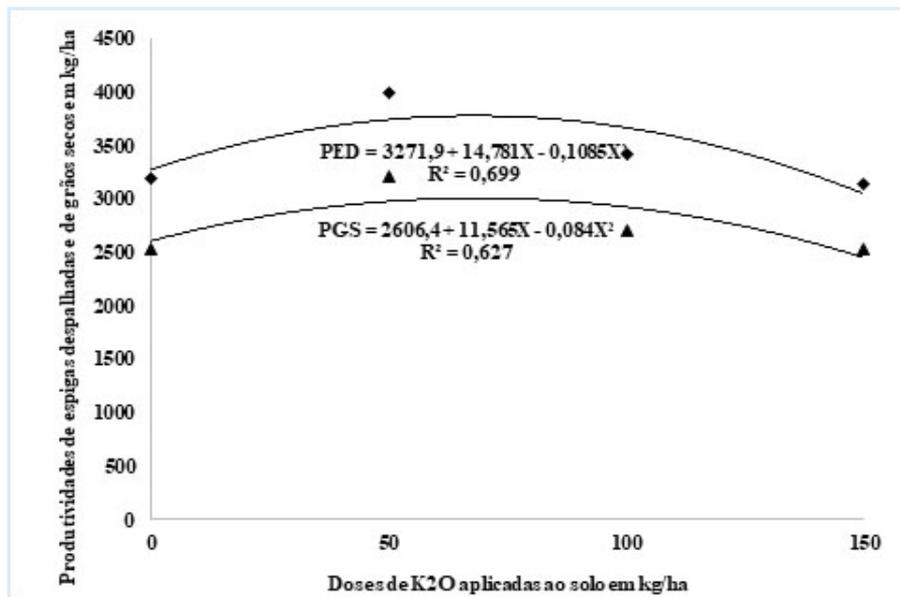
Com as doses de nitrogênio de  $117 \text{ kg ha}^{-1}$  e  $54 \text{ kg ha}^{-1}$ , foram obtidos, respectivamente, os maiores rendimentos de grãos, tanto para a produtividade técnica de grãos secos a 13% de umidade ( $3.019 \text{ kg ha}^{-1}$ ), como para a produtividade econômica do milho ( $2.826 \text{ kg ha}^{-1}$ ). A primeira situação corresponde à produção de 25,8 kg de grãos secos por cada kg de N aplicado ao solo. A segunda situação corresponde à produção de 52,3 kg de grãos secos por cada kg de N aplicado ao solo. Com a dose econômica de N produz-se uma quantidade de grãos secos por kg de N, superior a duas vezes mais do que com a dose técnica máxima.

A dose de  $117 \text{ kg ha}^{-1}$  de N, nas condições em que o estudo foi realizado, é a dose técnica ideal para a variedade de milho utilizada expressar o seu máximo potencial produtivo. Maiores doses de N causaram um consumo de luxo pela planta, pois ela aumentou a concentração de N na parte aérea, atingindo o valor máximo de  $28,3 \text{ g kg}^{-1}$  de massa seca de folha com a dose de  $149 \text{ kg ha}^{-1}$  de N e diminuiu a produtividade de grãos (Figuras 1 e 3).

Os resultados alcançados neste trabalho foram superiores aos obtidos por Lucena et al. (2000) no município de Areia, PB, microrregião do Brejo paraibano, os quais obtiveram produtividade técnica máxima de  $2.257 \text{ kg ha}^{-1}$  com a dose de N aplicada ao solo de  $111 \text{ kg ha}^{-1}$ , utilizando a variedade BR 5033.

Os componentes PED e PGS foram influenciados pelas doses de  $\text{K}_2\text{O}$  aplicadas ao solo ( $p < 0,01$ ). Em relação à aplicação de  $\text{K}_2\text{O}$ , as equações que melhor se ajustaram foram:  $\text{PED} = 3.271,9 + 14,781X - 0,1085X^2$  e  $\text{PGS} = 2.606,4 + 11,565X - 0,084X^2$ , com coeficientes de significância para  $\text{K}_2\text{O}$ , nos dois componentes ( $p < 0,01$ ), e  $R^2 = 0,699$  e  $0,627$ , com valores máximos para as doses de  $68 \text{ kg ha}^{-1}$  e  $69 \text{ kg ha}^{-1}$  de  $\text{K}_2\text{O}$ , respectivamente. Os valores máximos, tanto de PED ( $3.775 \text{ kg ha}^{-1}$ ) como de PGS ( $3.004 \text{ kg ha}^{-1}$ ), são apresentados na Figura 2. O comportamento das duas curvas é muito similar, ou seja, com a aplicação das doses de  $\text{K}_2\text{O}$ , os percentuais de grãos nas espigas foram elevados e semelhantes à aplicação das doses de N, de 80% para os grãos secos e apenas 20% para o sabugo. Com as doses

de  $K_2O$  de  $69 \text{ kg ha}^{-1}$  e de  $50 \text{ kg ha}^{-1}$ , foram obtidas, respectivamente, as maiores produtividades máximas, tanto para produtividade técnica de grãos secos a 13% de umidade ( $3.004 \text{ kg ha}^{-1}$ ), como para produtividade máxima econômica de grãos de milho ( $2.975 \text{ kg ha}^{-1}$ ).



**Figura 2.** Produtividade de espigas despalhadas ( $kg ha^{-1}$ ) e produtividade de grãos secos ( $kg ha^{-1}$ ) em função das doses de  $K_2O$  aplicadas ao solo. Magalhães de Almeida, MA, 2019.

A primeira situação corresponde à produção de  $43,5 \text{ kg}$  de grãos secos por cada  $kg$  de  $K_2O$  aplicado ao solo. A segunda situação corresponde à produção de  $59,5 \text{ kg}$  de grãos secos por cada  $kg$  de  $K_2O$  aplicado ao solo. Com a dose econômica de  $K_2O$ , produz-se uma quantidade de grãos secos por  $kg$  de  $K_2O$  superior a 36% do que é produzido com a dose técnica máxima.

Alguns trabalhos informam que *não há* resposta do milho em relação à produtividade grãos à aplicação de potássio ao solo. Bastos et al. (2005) não observaram resposta na produtividade de grãos secos de milho, híbrido

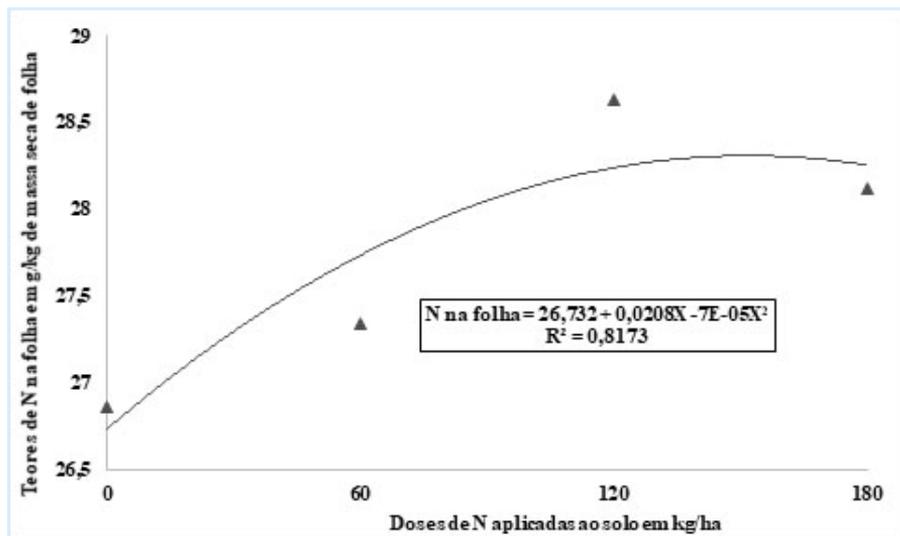
BR 3123, ao avaliarem a aplicação de cinco doses de N (0, 50, 100, 150 e 200 kg ha<sup>-1</sup>) e de K<sub>2</sub>O (0, 30, 60, 90 e 120 kg ha<sup>-1</sup>) em solo classificado como Latossolo Amarelo *Álico*, de textura arenosa a média.

Segundo Melo et al. (1998), efeitos positivos da adubação potássica em milho têm sido verificados em solos arenosos e naqueles com teores de K<sup>+</sup> inferiores a 0,23 cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>, na camada de 0-0,2 m. Nessas condições, doses de até 60 kg ha<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>O proporcionam as melhores respostas. O solo da área experimental apresenta teor de K no solo de 0,12 cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>, na camada de 0-0,2 m, corroborando as informações obtidas por Melo et al. (1998).

Os resultados obtidos foram, aproximadamente, quatro vezes superiores aos obtidos por Wendling et al. (2008), que obtiveram aumento do rendimento de 11,7 kg de grãos para cada kg de K<sub>2</sub>O aplicado, em solo com teor de K abaixo do nível crítico de 0,19 cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>. Schindwein et al. (2011) também obtiveram resposta positiva na produtividade técnica de grãos secos de milho, com a aplicação de K<sub>2</sub>O, com resultados semelhantes aos obtidos no presente trabalho, com aumento de 40,2 kg de grãos secos para cada kg de K<sub>2</sub>O aplicado ao solo.

Quanto ao conteúdo de N nas folhas, o valor máximo de 28,3 g kg<sup>-1</sup> foi obtido com a aplicação de 149 kg ha<sup>-1</sup> de N ao solo (Figura 3). Incremento quadrático do conteúdo de nitrogênio total nas folhas, com o acréscimo dos níveis de N no solo, foi observado em alguns estudos. Melo et al. (2011) encontraram valores máximos de N na folha em teste de milho, de 28,0 g kg<sup>-1</sup>, com a aplicação de 175,0 kg ha<sup>-1</sup> de N associada a 7,5 plantas m<sup>-2</sup>, semelhantes aos resultados alcançados no presente estudo. Os resultados estão também de acordo com os observados por Silva et al. (2005).

Quanto ao potássio nas folhas, destaca-se que não ocorreu resposta, mesmo o elemento apresentando resposta quadrática, tanto de PED quanto de PGS (Figura 2).



**Figura 3.** Teores de N total na folha ( $\text{g kg}^{-1}$ ) em função das doses de N aplicadas ao solo. Magalhães de Almeida, MA, 2019.

Os demais atributos, como estande final, altura de plantas, altura de inserção de espigas, número de espigas por  $\text{m}^2$ , massa de cem grãos e K na folha em teste, não foram influenciados pelos tratamentos ( $p > 0,05$ ), apresentando o estande final médio com 51 plantas, a altura média de plantas de 177 cm, a altura média de inserção de espigas de 84 cm, o número médio de espigas por  $\text{m}^2$  igual a 6 espigas, a massa média de cem grãos de 31 g e o K na folha em teste de  $22 \text{ g kg}^{-1}$ . Os resultados obtidos dos atributos situam-se na faixa de valores considerados característicos da variedade avaliada, quando cultivada em condições ideais, ou seja, sem deficiência de nutrientes e água no solo.

## Conclusões

---

1. Com as doses de nitrogênio de 117 kg ha<sup>-1</sup> e de 54 kg ha<sup>-1</sup>, são obtidas, respectivamente, as maiores produtividades de grãos secos, tanto para produtividade técnica (3.019 kg ha<sup>-1</sup>), como para produtividade econômica de grãos de milho (2.826 kg ha<sup>-1</sup>).
2. Com as doses de K<sub>2</sub>O de 69 kg ha<sup>-1</sup> e 50 kg ha<sup>-1</sup>, são obtidas, respectivamente, as maiores produtividades de grãos secos, tanto para produtividade técnica (3.004 kg ha<sup>-1</sup>), como para produtividade econômica de grãos de milho (2.975 kg ha<sup>-1</sup>).
3. O componente de produção que influencia a produtividade de grãos de milho, tanto para a aplicação de N como para a de K<sub>2</sub>O, é a produtividade de espigas despalhadas.

## Referências

---

ACOMPANHAMENTO DA SAFRA BRASILEIRA [DE] GRÃOS: safra 2019/20: sétimo levantamento, v. 7, n. 7, p. 1-66, abr. 2020.

BASTOS, E. A.; CARDOSO, M. J.; MELO, F. de B.; RIBEIRO, V. Q.; ANDRADE JÚNIOR, A. S. de. Doses e formas de parcelamento de nitrogênio para a produção de milho sob plantio direto. **Revista Ciência Agronômica**, v. 39, n. 2, p. 275-280, abr./jun. 2008.

BASTOS, E. A.; CARDOSO, M. J.; MELO, F. de B.; RIBEIRO, V. Q.; ANDRADE JÚNIOR, A. S. de. **Produtividade de grãos de milho sob diferentes doses de nitrogênio e potássio em solos de cerrado do sudoeste piauiense**. Teresina: Embrapa Meio-Norte, 2005. 17 p. (Embrapa Meio-Norte. Boletim de pesquisa e desenvolvimento, 59).

BORÉM, A.; MIRANDA, G. V. **Melhoramento de plantas**. 6. ed. rev. e ampl. Viçosa, MG: UFV, 2013. 523 p.

BROCH, D. L.; RANNO, S. K. Fertilidade do solo, adubação e nutrição da cultura do milho. In: **TECNOLOGIA e produção: soja e milho: 2011 - 2012**. Maracaju: Fundação-MS, 2017. Cap. 12, p. 240-252.

CORREIA FILHO, F. L.; GOMES, E. R.; NUNES, O. O.; LOPES FILHO, J. B. **Projeto cadastro de fontes de abastecimento por água subterrânea, estado do Maranhão**: relatório diagnóstico do município de Magalhães de Almeida. Teresina: CPRM - Serviço Geológico do Brasil, 2011. 31 p.

CRUZ, J. C.; PEREIRA FILHO, I. A.; ALVARENGA, R. C.; GONTIJO NETO, M. M.; VIANA, J. H. M.; OLIVEIRA, M. F. de; SANTANA, D. P. Manejo da cultura do milho em sistema plantio direto. **Informe Agropecuário**, v. 27, n. 233, p. 42-53, jul./ago. 2006.

DONAGEMA, G. K.; CAMPOS, D. V. B. de; CALDERANO, S. B.; TEIXEIRA, W. G.; VIANA, J. H. M. (org.). **Manual de métodos de análise de solo**. 2. ed. rev. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2011. 230 p. (Embrapa Solos. Documentos, 132).

GARCIA, J. C.; BONETI, J. E. B.; AZANIA, C. A. M.; BELUCI, L. R.; VITORINO, R. Fonte de adubação potássica na lixiviação de potássio em Neossolo Quartzarênico. **Revista Eletrônica Thesis**, ano 12, n. 24, p. 76-89, 2. sem. 2015.

GOES, R. J.; RODRIGUES, R. A. F.; TAKASU, A. T.; ARF, O. Características agronômicas e produtividade do milho sob fontes e doses de nitrogênio em cobertura no inverno. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, v. 12, n. 3, p. 250-259, 2013.

LUCENA, L. de F. C.; OLIVEIRA, F. A. de; SILVA, I. de F. da; ANDRADE, A. P. de. Resposta do milho a diferentes dosagens de nitrogênio e fósforo aplicados ao solo. **Revista Brasileira Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 4, n. 3, p. 334-337, 2000.

MELO, F. de B.; CARDOSO, M. J.; ANDRADE JUNIOR, A. S. de. Nutrição e adubação. In: CARDOSO, M. J. (org.). **A cultura do milho no Piauí**. 2. ed. rev. e atual. Teresina: EMBRAPA-CPAMN, 1998. p. 46-67. (EMBRAPA-CPAMN. Circular técnica, 12).

MELO, F. de B.; CORÁ, J. E.; CARDOSO, M. J. Fertilização nitrogenada, densidade de plantas e rendimento de milho cultivado no sistema plantio direto. **Revista Ciência Agronômica**, v. 42, n. 1, p. 27-31, jan./mar. 2011.

MENESES, N. B. **Marcha de acúmulo de matéria-seca e de nutrientes pelo milho superdoce**. 2014. 53 f. Tese (Mestrado em Agronomia) - Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal.

PINHO, R. G. von; BORGES, I. D.; PEREIRA, J. L. de A. R.; REIS, M. C. dos. Marcha de absorção de macronutrientes e acúmulo de matéria seca em milho. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, v. 8, n. 2, p. 157-173, 2009.

ROSOLEM, C. A.; SANTOS, F. P. dos; FOLONI, J. S. S.; CALONEGO, J. C. Potássio no solo em consequência da adubação sobre a palha de milheto e chuva simulada. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 41, n. 6, p. 1033-1040, jun. 2006.

SANTOS, A. B. dos; FAGERIA, N. K.; ZIMMERMANN, F. J. P. Atributos químicos do solo afetado pelo manejo da água e do fertilizante potássico na cultura de arroz irrigado. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 6, n. 1, p. 12-16, jan./abr. 2002.

SANZONOWICZ, C.; MIELNICZUC, J. Adubação potássica em solos de baixa retenção de cátions II. Distribuição do potássio no perfil do solo. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 19., 1983, Curitiba. **Resumos...** Curitiba: SBSC, 1983. p. 64.

SCHLINDWEIN, J. A.; BORTOLON, L.; GIANELLO, C. Calibração de métodos de extração de potássio em solos cultivados sob Sistema de plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo** v. 35, n. 5, p. 1669-1677, out. 2011.

SILVA, D. J. Determinação do nitrogênio total e da proteína bruta. In: SILVA, D. J.; QUEIROZ, A. C. de. **Análise de alimentos: métodos químicos e biológicos**. 3. ed. Viçosa, MG: UFV, 2006. p. 57-75.

SILVA, E. C.; BUZZETTI, S.; GUIMARÃES, G. L.; LAZARINE, 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, n. 3, p. 353-362, jun. 2005.

STONE, L. F.; MOREIRA, J. A. A. Resposta do feijoeiro ao nitrogênio em cobertura, sob diferentes lâminas de irrigação e preparos do solo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 36, n. 3, p. 473-481, mar. 2001.

TEAM, R. C. **R: a language and environment for statistical computing**. Vienna: The R Foundation, 2017. Disponível em: <https://www.R-project.org/>. Acesso em: 15 dez. 2018.

VIDAL, M. V. S. **Inovação na agricultura brasileira: a contribuição da Embrapa na conquista do cerrado pela soja**, 121p. Tese (Mestrado), Universidade Federal do Paraná. Curitiba, 2015.

WENDLING, A.; ELTZ, F. L. F.; CUBILLA, M. M.; AMADO, T. J. C.; MIELNICZUK, J. Recomendação de adubação potássica para o trigo, milho e soja sob sistema de plantio direto no Paraguai. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 32, n. 5, p. 1929-1939, set./out. 2008.

ZAVASCHI, E. **Volatilização de amônia e produtividade do milho em função da aplicação de ureia revestida com polímeros**. 2010. 92 f. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba.

**Embrapa**

---

**Meio-Norte**

MINISTÉRIO DA  
AGRICULTURA, PECUÁRIA  
E ABASTECIMENTO



**PÁTRIA AMADA  
BRASIL**  
GOVERNO FEDERAL