



## Doses de nitrogênio e fósforo para produção econômica de milho na Chapada do Apodi, RN

Gerônimo F. da Silva<sup>1</sup>, Fábio H. T. de Oliveira<sup>2</sup>, Rodrigo G. Pereira<sup>3</sup>, Paulo S. L. e Silva<sup>4</sup>, Talita B. A. Diógenes<sup>5</sup> & Antonia R. da C. Silva<sup>6</sup>

<sup>1</sup> UFRPE. Recife, PE. E-mail: [agrogefe@yahoo.com.br](mailto:agrogefe@yahoo.com.br) (Autor correspondente)

<sup>2</sup> UFERSA. Mossoró, RN. E-mail: [fabio@ufersa.edu.br](mailto:fabio@ufersa.edu.br)

<sup>3</sup> UFRPE. Garanhuns, PE. E-mail: [rgpereira2005@hotmail.com](mailto:rgpereira2005@hotmail.com)

<sup>4</sup> UFERSA. Mossoró, RN. E-mail: [paulosergio@ufersa.edu.br](mailto:paulosergio@ufersa.edu.br)

<sup>5</sup> UFERSA. Mossoró, RN. E-mail: [tbabreu@yahoo.com.br](mailto:tbabreu@yahoo.com.br)

<sup>6</sup> UFERSA. Mossoró, RN. E-mail: [agro\\_meirinha@hotmail.com](mailto:agro_meirinha@hotmail.com)

### Palavras-chave:

*Zea mays* L.  
adubação nitrogenada  
adubação fosfatada  
nível crítico

### RESUMO

Este estudo foi realizado no município de Baraúna, RN, no ano agrícola de 2010, em um Cambissolo Háplico eutrófico e derivado de calcário objetivando definir a melhor combinação das doses de nitrogênio (N) e fósforo (P) associadas à máxima produção econômica de grãos de milho, assim como os níveis críticos de N na folha e de P no solo e na folha. Foram aplicados 17 tratamentos sendo 16 resultantes da combinação entre quatro doses de N (30, 60, 90 e 120 kg ha<sup>-1</sup>) e de quatro doses de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> (30, 60, 90 e 120 kg ha<sup>-1</sup>) e um tratamento testemunha no qual não se aplicou nenhuma dose desses nutrientes. O delineamento experimental utilizado foi o de blocos ao acaso, com quatro repetições. A melhor combinação das doses de N e de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> recomendadas para a produção de máxima eficiência econômica de grãos foi de 70 kg ha<sup>-1</sup> de N combinado com 120 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>. Os níveis críticos de N na folha e de P no solo e na folha, associados à produção de máxima eficiência econômica de grãos de milho foram, respectivamente, de 32,93 g kg<sup>-1</sup>, de 7,97 mg dm<sup>-3</sup> e de 3,11 g kg<sup>-1</sup>.

### Key words:

*Zea mays* L.  
nitrogen fertilization  
phosphorus fertilization  
critical level

## Doses of nitrogen and phosphorus for economic production of corn at Chapada do Apodi, RN

### ABSTRACT

The study was conducted during agricultural year 2010, in Typic Inceptisol derived from limestone in the municipality of Baraúna in the state of Rio Grande do Norte, Brazil. The objective of this study was to define the best combination of nitrogen (N) and phosphorus (P) doses for economic production of corn, as well as the critical levels of N in leaf and P in leaf and soil. Seventeen treatments were studied, being 16 resulting from the combination between four doses of N (30, 60, 90 and 120 kg ha<sup>-1</sup>) and four doses of P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> (30, 60, 90 and 120 kg ha<sup>-1</sup>) and a control treatment, without application of these nutrients. The experimental design was in randomized blocks with four repetitions. The best combination of the N and P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> recommended to produce maximum economic efficiency in grain was 70 kg ha<sup>-1</sup> of N combined with 120 kg ha<sup>-1</sup> of P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>. The critical levels of N in leaf and P in leaf and soil associated with maximum economic production efficiency of maize grain were, respectively, 32.93 g kg<sup>-1</sup>, 7.97 mg dm<sup>-3</sup> and 3.11 g kg<sup>-1</sup>.

## INTRODUÇÃO

A Chapada do Apodi, localizada na divisa dos Estados do Rio Grande do Norte e Ceará, tem-se destacado como importante polo de exploração agrícola no Nordeste brasileiro (Mota et al., 2007), onde se pratica agricultura de sequeiro, principalmente a agricultura irrigada.

Nesta região se encontram Latossolos, Argissolos, Chernossolos Rêndzicos, Cambissolos, Neossolos Litólicos, Neossolos Quartzarênicos e Neossolos Flúvicos (Paiva et al., 2012) dentre os quais os Cambissolos são os predominantes e mais cultivados, sendo também derivados de calcário, alcalinos, de textura

argilosa e pobres em matéria orgânica e em fósforo apresentando alta soma de bases trocáveis.

No Rio Grande do Norte a Chapada do Apodi, com ênfase no município de Baraúna, se destaca na produção de melão e de melancia sendo, depois do município de Mossoró, a principal região produtora de melões do Brasil (IBGE, 2011). Essas cucurbitáceas são plantadas durante a estação seca (segundo semestre) em condições de irrigação mas durante a estação chuvosa (primeiro semestre) muitas áreas plantadas com melão e melancia não são cultivadas fazendo com que vários produtores da região busquem culturas alternativas para serem cultivadas na estação chuvosa, dentre elas a cultura do milho (*Zea mays* L.).

A cultura do milho se caracteriza como uma das principais alternativas para o agricultor, justificando sua capacidade de geração de emprego e renda, além de se constituir como fator fundamental na construção de alternativas viáveis ao desenvolvimento rural; entretanto, para que a produção desta cultura seja economicamente viável para os agricultores da Chapada do Apodi, é necessário que se obtenham produtividades elevadas, o que depende muito, dentre outros fatores, do suprimento adequado de nutrientes.

Dentre os principais fatores responsáveis pela baixa produtividade desta cultura na região se destacam as precipitações pluviárias irregulares, os baixos teores de nitrogênio e de fósforo dos solos e a falta de pesquisas de adubação em condições de campo, que definam as melhores doses desses nutrientes para a nutrição adequada das plantas e maior produtividade da cultura (Paiva et al., 2012).

Observam-se, nas principais tabelas de recomendação de adubação para a cultura do milho em uso no país, recomendações de doses de N e de  $P_2O_5$  que variam de 60 a 95 kg de N  $ha^{-1}$  (média de 83 kg  $ha^{-1}$ ) e 0 a 125 kg de  $P_2O_5$   $ha^{-1}$  (média de 85 kg  $ha^{-1}$ ), dependendo da tabela de recomendação de adubação e do teor de P no solo (Paiva et al., 2012).

Ainda de acordo com os autores supracitados, as amplitudes entre as doses recomendadas para esses nutrientes expressam não apenas as grandes discrepâncias entre as tabelas mas também a necessidade de realização de experimentos de adubação nas diferentes regiões produtoras de milho do país tendo em vista a elaboração de recomendação de adubações nitrogenada e fosfatada para esta cultura com base em resultados de pesquisas regionais, evitando a aplicação de doses de nutrientes aquém ou além da carência desta cultura.

Em função do exposto e tendo em vista a ausência de resultados de pesquisas sobre recomendação de adubação nitrogenada e fosfatada para a cultura do milho na Chapada do Apodi, RN, objetivou-se, com este trabalho, definir a melhor combinação das doses de nitrogênio e fósforo associadas à máxima produção econômica de grãos de milho tal como a análise econômica da adubação e a definição dos níveis críticos de N na folha e de P no solo e na folha, em um solo alcalino.

## MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi realizado no período de março a julho de 2010, em um Cambissolo Háplico eutrófico de textura argilosa da cidade de Baraúna, RN, cujas coordenadas geográficas são: 5° 04' 48" S, 37° 37' 00" W e 94 m de altitude. O clima da região, segundo a classificação de Koppen, é do tipo BSw<sub>h</sub>, muito seco, com estação chuvosa no verão, atrasando-se para o outono.

A precipitação pluviária registrada no período de condução do experimento foi de 332,9 mm. Os valores médios das temperaturas (°C) média, máxima e mínima e umidade relativa do ar (%) foram: 28,8; 34,5; 22,9 e 71, respectivamente.

Antes da instalação do experimento, em janeiro de 2010, foi coletada uma amostra composta de solo da área experimental na profundidade de 0 a 20 cm, para caracterização química e granulométrica, realizada no Laboratório de Fertilidade do Solo e Nutrição de Plantas da UFRSA, de acordo com (EMBRAPA, 1997) (Tabela 1).

O preparo do solo foi realizado com uma aração e duas gradagens; em seguida, foram realizadas a demarcação das parcelas, adubação de plantio (aplicação dos tratamentos) e a semeadura do milho híbrido semiprecoce AG 1051 no espaçamento de 0,70 x 0,23 m, realizada no dia 19/03/2010. Cada parcela foi constituída por quatro linhas de 6 m de comprimento espaçadas a 0,7 m entre si, contendo 26 plantas em cada linha. As duas linhas centrais, descartando-se duas plantas em cada extremidade, foram consideradas área útil da parcela e feitas as avaliações. A colheita foi realizada no estágio fenológico R6 aos 112 dias após a emergência das plantas quando os grãos apresentavam teor de umidade em torno de 20%.

O delineamento experimental utilizado foi o de blocos casualizados com quatro repetições. Os tratamentos consistiram na combinação de quatro doses de N (30, 60, 90 e 120 kg  $ha^{-1}$ ) com quatro doses de  $P_2O_5$  (30, 60, 90 e 120 kg  $ha^{-1}$ ), além de um tratamento adicional com ausência de N e de  $P_2O_5$  (testemunha).

Os tratamentos culturais adotados durante a condução do experimento seguiram os padrões utilizados pelos produtores da região. O controle de plantas daninhas foi realizado por meio da aplicação dos herbicidas Atrazina (500 g  $L^{-1}$ ) e Tembotriona (420 g  $L^{-1}$ ), aplicados na fase V2 de desenvolvimento da cultura. Seis pulverizações foram realizadas utilizando-se os inseticidas Metomil (215 g  $L^{-1}$ ) e Clorantropilprole (200 g  $L^{-1}$ ) para o controle da lagarta-do-cartucho (*Spodoptera frugiperda* J. E. Smith). Devido aos frequentes veranicos que ocorrem na região e à alta sensibilidade da cultura do milho ao estresse hídrico (Rufino et al., 2012), o experimento contou com o auxílio de um sistema de irrigação localizada por gotejamento, com espaçamento de 0,30 m entre emissores e vazão 2,3  $L h^{-1}$ , sendo esta lâmina suplementar de irrigação obtida pelo balanço hídrico, considerando-se a precipitação e a evapotranspiração da cultura (ETc).

As doses de N foram parceladas aplicando-se 20% da dose de N na semeadura e os 80% restantes em duas coberturas, aos 20 e 40 dias após a emergência das plântulas. As doses dos demais nutrientes foram aplicadas na semeadura e foram constantes para todos os tratamentos, inclusive na testemunha. As doses de N e  $K_2O$  foram fornecidas por

**Tabela 1.** Características químicas e físicas do solo da área experimental antes da implantação do experimento, avaliadas na camada de 0-20 cm

| pH               | MO                 | N <sub>total</sub> | P   | K <sup>+</sup>      | Na <sup>+</sup> | Ca <sup>2+</sup> | Mg <sup>2+</sup>                   | Al <sup>3+</sup> | (H+Al) | Areia              | Silte | Argila |
|------------------|--------------------|--------------------|-----|---------------------|-----------------|------------------|------------------------------------|------------------|--------|--------------------|-------|--------|
| H <sub>2</sub> O | g kg <sup>-1</sup> |                    |     | mg dm <sup>-3</sup> |                 |                  | cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> |                  |        | g kg <sup>-1</sup> |       |        |
| 6,8              | 11                 | 1,10               | 3,8 | 304                 | 15,0            | 7,1              | 3,5                                | 0,00             | 0,66   | 199                | 310   | 491    |

meio dos fertilizantes ureia (semeadura) e sulfato de amônio (cobertura) e cloreto de potássio, respectivamente. Parte da dose de  $P_2O_5$  foi fornecida por meio do superfosfato simples visando ao fornecimento de 20 kg ha<sup>-1</sup> de S em todos os tratamentos, sendo a outra parte do S (10 kg ha<sup>-1</sup>) fornecida por meio do sulfato de amônio aplicado na primeira cobertura; o restante do  $P_2O_5$  foi fornecido através do fertilizante superfosfato triplo, conforme o tratamento; enfim, as fontes de B, Zn e Cu foram o ácido bórico, sulfato de zinco e sulfato de cobre, respectivamente.

As variáveis mensuradas foram dadas pelo número de plantas em quatro metros lineares dentro da área útil da parcela; nessas plantas foram avaliados: o diâmetro de espigas (utilizando-se um paquímetro graduado em milímetros), o comprimento de espigas (feito com o auxílio de uma trena, medindo-se as espigas longitudinalmente), a massa de 100 grãos (dada pela pesagem ao acaso de quatro amostras de 100 grãos) e ajustada para 13% de umidade. Além disto, foram estimados o número de espigas por hectare e a produtividade de grãos (kg ha<sup>-1</sup>) ajustada para 13% de teor de umidade, sendo ambas as variáveis estimadas com base nas espigas colhidas nos quatro metros lineares dentro da área útil da parcela.

Aos 45 dias após a emergência das plântulas foram coletadas, com trado holandês, na área útil de cada parcela, amostras compostas de solo na profundidade de 0 a 20 cm, de acordo com recomendação de Oliveira et al. (2007), visando à quantificação do teor de P disponível pelo extrator Mehlich-1 (EMBRAPA, 1997).

Por ocasião do aparecimento da inflorescência feminina (embonecamento), em 12 plantas da área útil de cada parcela, foi coletado o terço basal da folha oposta e abaixo da primeira espiga (superior) e excluída a nervura central (Malavolta, 2006) para determinação dos teores de N e de P na folha de acordo Tedesco et al. (1995).

Os dados foram submetidos à análise de variância, sendo testados por contraste de interesse e de importância prática previamente estabelecidos pelo teste F a 5% de probabilidade e à análise de regressão linear múltipla. As médias de cada tratamento foram ajustadas por um modelo de regressão linear múltipla considerando-se as doses de N e de P variáveis independentes sendo os coeficientes dos modelos de regressão ajustados testados pelo teste t utilizando-se, como erro experimental, o quadrado médio do resíduo da análise de variância geral do experimento (Ribeiro Júnior, 2001).

De posse do valor da produtividade de grãos estimado pelo modelo de equação de regressão realizou-se a análise econômica da adubação e se calcularam a receita bruta e líquida e os custos com fertilizantes. Para a realização desta análise econômica foram considerados os custos dos fertilizantes que variaram em função da combinação das suas doses, e o preço de grãos. No cálculo dos custos dos fertilizantes não foram considerados os custos operacionais de suas aplicações com máquinas e serviços; os demais custos, como a semeadura, mão-de-obra, tratos culturais e outros itens envolvidos indiretamente no processo produtivo, como depreciação, despesas administrativas, juros e outros serviços, não foram considerados por serem os mesmos para todos os tratamentos. A receita bruta foi calculada considerando-se a produção estimada pelo modelo de equação de regressão ajustado e o preço de grãos; na propriedade agrícola o saco com 60 kg foi cotado a R\$ 34,00.

No cálculo dos custos com fertilizantes levou-se em consideração o seu custo empregado na adubação do experimento, tendo 1 kg de  $P_2O_5$  via superfosfato simples e triplo custado R\$ 3,50 e R\$ 2,52, respectivamente, 1 kg de N via ureia custado R\$ 4,18 e 1 kg de N via sulfato de amônio custado R\$ 4,75. Com base nessas informações e nos valores das doses de N e de  $P_2O_5$  aplicadas calculou-se o custo da adubação; a receita líquida resultou da diferença entre a bruta e os custos com fertilizantes.

Os níveis críticos de N na folha e de P no solo e na folha foram obtidos mediante a substituição das doses de máxima eficiência econômica de N e de  $P_2O_5$  recomendadas para a obtenção da máxima produção econômica de grãos, em cada uma das equações de regressão ajustadas para os respectivos teores.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Tabela 2 se encontra o resumo da análise de variância para as variáveis número, diâmetro e comprimento de espigas, número de fileiras de grãos por espiga, massa de 100 grãos e produtividade de grãos.

Verifica-se que as doses de N e de  $P_2O_5$  aplicadas no solo não influenciaram significativamente as variáveis número de espigas por hectare e número de fileiras de grãos por espigas.

O aumento no número médio de espigas por hectare em função do aumento das doses de nitrogênio aplicadas no

**Tabela 2.** Resumo da análise de variância para o número, diâmetro e comprimento de espigas, número de fileiras de grãos por espiga, massa de 100 grãos e produtividade de grãos de milho, em função de doses de nitrogênio e de fósforo aplicadas ao solo

| FV         | GL | Quadrado médio           |                     |                        |  |                    |                        |
|------------|----|--------------------------|---------------------|------------------------|--|--------------------|------------------------|
|            |    | Número de espigas        | Diâmetro de espigas | Comprimento de espigas | Número de fileiras de grãos por espiga | Massa de 100 grãos | Produtividade de grãos |
| Bloco      | 3  | 23.148.793               | 0,07323             | 0,18375                | 0,75980                                | 21,39967           | 1.270.017              |
| Tratamento | 16 | 25.362.600 <sup>ns</sup> | 0,23161**           | 6,27183**              | 1,52757 <sup>ns</sup>                  | 18,91908**         | 4.283.301**            |
| Resíduo    | 48 | 31.744.167               | 0,02188             | 0,69371                | 0,93688                                | 2,33023            | 646.497,2              |
| Médias     |    | 55.638                   | 4,8                 | 13,9                   | 14,0                                   | 32,1               | 6.189                  |
| CV (%)     |    | 10,1                     | 3,1                 | 5,9                    | 6,6                                    | 4,7                | 13,0                   |

<sup>ns</sup> Não significativo; \*\*Significativo a 0,01 pelo teste F

solo, também não foi constatado por Aratani et al. (2006) e Freire et al. (2010). Da mesma forma, Valderrama et al. (2011) avaliando o efeito de doses e fontes de N, P e K nos componentes de produção e na produtividade da cultura do milho, não verificaram aumento no número médio de espigas por hectare nem no número de fileiras de grãos por espigas com o aumento das doses de nitrogênio e de fósforo aplicadas no solo.

Por outro lado, Veloso et al. (2006) constataram o efeito da aplicação de nitrogênio no número médio de espigas por hectare. Pelá et al. (2010) constataram, ao avaliar o efeito de doses de NPK sobre a produtividade do milho híbrido simples P30K75, aumento linear no número médio de fileiras por espiga com o incremento da adubação. Esses resultados evidenciam que a resposta dessas características à adubação depende também de outros fatores, a exemplo dos fatores ambientais e genéticos do híbrido utilizado (Freire et al., 2010).

Diferentemente dos resultados referentes ao número de espigas por hectare e do número de fileiras de grãos por espigas, as variáveis diâmetro e comprimento de espigas, massa de 100 grãos e produtividade de grãos foram significativamente influenciadas pelas doses de N e de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> aplicadas ao solo (Tabela 3). Pelos contrastes realizados (Tabela 3) infere-se que é muito importante se adubar com N e com P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, visto que, ao se adubar com esses nutrientes, o diâmetro e o comprimento de espigas, a massa de 100 grãos e a produtividade de grãos são superiores estatisticamente àqueles obtidos sem a aplicação dos mesmos.

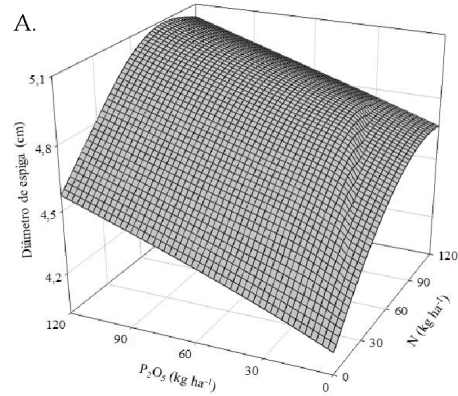
Infere-se, também, que qualquer combinação de doses de N e de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, maior ou igual a 30 kg ha<sup>-1</sup>, é muito mais vantajosa para o aumento dessas variáveis do que não se adubar com esses nutrientes.

O desdobramento dos efeitos dos tratamentos para as variáveis diâmetro e comprimento de espiga por meio da análise de regressão polinomial evidenciou, para ambas as variáveis, efeito quadrático para as doses nitrogênio e linear para doses de fósforo aplicadas no solo (Figuras 1A e 1B).

O máximo diâmetro de espiga estimado pelo modelo de equação de regressão que melhor se ajustou aos dados (Figura 1A) foi obtido com a aplicação das doses de 93 kg ha<sup>-1</sup> de N combinado com 120 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, tendo-se constatado uma variação para esta variável, de 4,10 cm (Testemunha) a 4,75 (93 kg ha<sup>-1</sup> de N + 120 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>). Este resultado era esperado visto que a variável diâmetro de espiga é influenciada positivamente pelas adubações nitrogenada e fosfatada (Cobuci, 1991).

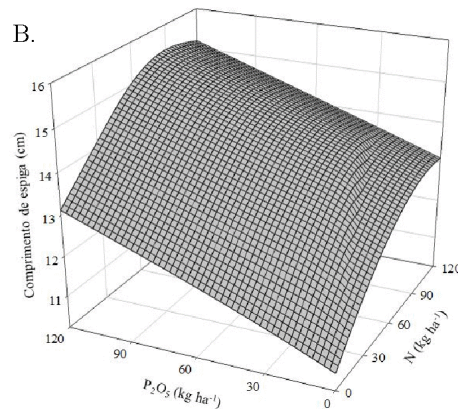
$$\hat{Y} = 4,10577 + 0,0132141**N - 0,0000711**N^2 + 0,0030823**P$$

$$R^2 = 0,94$$



$$\hat{Y} = 10,6231 + 0,057618**N - 0,000307492**N^2 + 0,01726**P$$

$$R^2 = 0,82$$



\*\* : significativo a 0,01

**Figura 1.** Superfície de resposta para o diâmetro (A) e comprimento de espiga de milho (B), em função de doses de nitrogênio e de fósforo aplicadas no solo

Verifica-se, para a variável comprimento de espigas, que os melhores resultados foram obtidos com a aplicação das doses de 94 kg ha<sup>-1</sup> de N combinado com 120 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, sendo possível constatar uma variação estimada de 10,6 cm (Testemunha) a 15,4 (94 kg ha<sup>-1</sup> de N + 120 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>) (Figura 1B). Tais resultados diferem dos obtidos por Fernandes et al. (2005) quando observaram que o incremento nas doses de N aplicadas ao solo não promoveu aumentos significativos no componente do rendimento, no comprimento da espiga e afirmaram que esta característica é de alta herdabilidade e menos dependente do ambiente e da adubação.

Ao desdobrar os efeitos dos tratamentos para a variável massa de 100 grãos e produtividade de grãos verificou-se, para

**Tabela 3.** Resumo da análise realizada por contrastes para as variáveis diâmetro de espigas, comprimento de espigas, massa de 100 grãos e produtividade de grãos de milho em função de doses de nitrogênio e de fósforo aplicadas ao solo

| FV                                       | GL | Quadrado médio      |                        |                    |                        |
|--|----|---------------------|------------------------|--------------------|------------------------|
|  |    | Diâmetro de espigas | Comprimento de espigas | Massa de 100 grãos | Produtividade de grãos |
| Testemunha vs demais tratamentos         | 1  | 2,37098**           | 74,70773**             | 217,27063**        | 40.225.622,06**        |
| Testemunha vs menor combinação das doses | 1  | 0,5202**            | 19,90805**             | 66,5858**          | 80.280.024,5**         |
| Resíduo                                  | 48 | 0,02188             | 0,69373                | 3,32982            | 646.556,379289         |

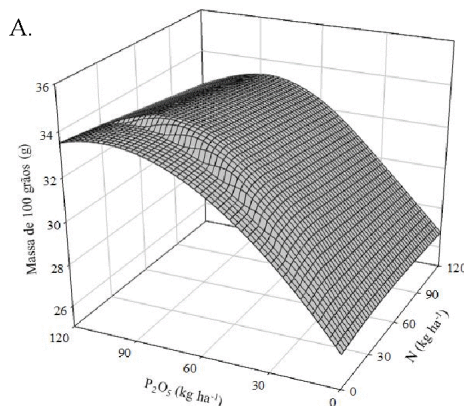
\*\*Significativo a 0,01 pelo teste F

ambas as variáveis, que o modelo de equação de regressão que melhor se ajustou às doses de N aplicados foi o quadrático e para as doses de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> foi o modelo linear positivo (Figuras 2A e 2B).

Com relação à componente de produção massa de 100 grãos verifica-se, na combinação das menores doses (30 kg ha<sup>-1</sup> de N + 30 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>) que houve um acréscimo estimado de aproximadamente 12% em referência à testemunha, de modo que as doses de N e de P estimadas para obtenção do valor máximo foram de 70 kg ha<sup>-1</sup> de N combinados com 120 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> (Figura 2A). As respostas deste componente de

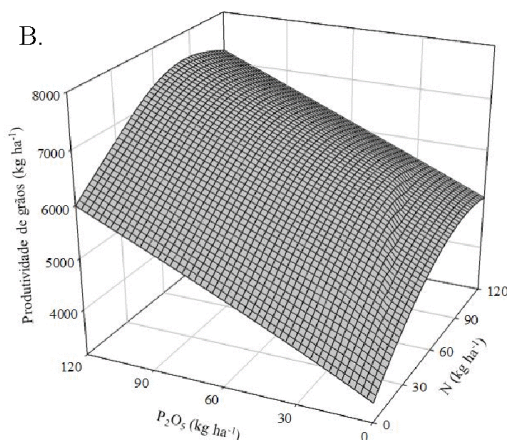
$$\hat{Y} = 27,3487 + 0,098563 * N - 0,000704138 ** N^2 + 0,0315135 ** P$$

$$R^2 = 0,77$$



$$\hat{Y} = 3.481,55 + 41,3814 ** N - 0,235793 ** N^2 + 18,1956 ** P$$

$$R^2 = 0,88$$



\*\* e \*: respectivamente, significativo a 0,01 e a 0,05

**Figura 2.** Superfície de resposta para a massa de 100 grãos (A) e para a produtividade de grãos de milho (B), em função de doses de nitrogênio e de fósforo aplicadas no solo

produção à adubação nitrogenada têm sido muito variáveis; a exemplo disto, Valderrama et al. (2011) não verificaram efeito das doses de N na massa de 100 grãos do milho. Por outro lado, Fernandes & Buzetti (2005) observaram, avaliando o efeito de níveis de N na produtividade de seis cultivares de milho, que os dados de massa de 100 grãos se ajustaram a uma equação linear positiva.

As doses de N e de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> recomendadas pela maioria das literaturas visando à obtenção de produtividades de grãos consideradas elevadas, não diferem com grandes magnitudes das doses de N e de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> recomendadas para a máxima produtividade estimada de grãos (7.480 kg ha<sup>-1</sup>) obtida neste trabalho (88 kg ha<sup>-1</sup> de N + 120 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>) (Figura 2B).

Souza & Soratto (2006) verificaram aumento de produtividade de grãos de 22% quando aplicaram 120 kg ha<sup>-1</sup> de N em cobertura, em relação ao tratamento sem aplicação do nutriente. Já Farinelli & Lemos (2010) obtiveram produtividades máximas de grãos com a dose 92 kg ha<sup>-1</sup> de N. Valderrama et al. (2011) constataram aumento na produtividade de grãos em função do aumento das doses de N e de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> aplicadas no solo, sendo as maiores produtividades obtidas com a combinação das doses de 120 kg ha<sup>-1</sup> de N + 150 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>. Goes et al. (2012) obtiveram, avaliando o efeito de doses crescentes de N sobre a produtividade de grãos, a maior produtividade (7.683,50 kg ha<sup>-1</sup>) com a dose de 80 kg ha<sup>-1</sup> de N porém Vilela et al. (2012) observaram, avaliando o efeito de doses de N sobre produção de grãos, que a maior produtividade de grãos (5.982 kg ha<sup>-1</sup>) foi obtida com a dose de 160 kg ha<sup>-1</sup>.

Os teores de N e de P na folha do milho e de P no solo foram significativamente influenciados pelas doses de N e de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> aplicadas no solo (Tabela 4).

Pelos contrastes realizados (Tabela 5) infere-se ser necessário adubar com N e com P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, visto que, ao se adubar

**Tabela 4.** Resumo da análise de variância para os teores de nitrogênio (N) e de fósforo (P) na folha da planta de milho e P no solo, em função de doses de nitrogênio e de fósforo, aplicadas no solo

| FV         | GL | Quadrado médio |            |           |
|------------|----|----------------|------------|-----------|
|            |    | N na folha     | P na folha | P no solo |
| Bloco      | 3  | 0,51421        | 0,16935    | 0,84823   |
| Tratamento | 16 | 33,38946**     | 0,18255**  | 47,0571** |
| Resíduo    | 48 | 0,64137        | 0,04142    | 0,96001   |
| Médias     |    | 32,6           | 2,7        | 6,8       |
| CV (%)     |    | 2,4            | 7,6        | 14,4      |

\*\*significativo a 0,01 pelo teste F

**Tabela 5.** Resumo da análise realizada por contrastes para os teores de nitrogênio (N) e de fósforo (P) na folha da planta de milho e de P no solo, em função de doses de nitrogênio e de fósforo aplicadas no solo

| FV                                       | GL | Quadrado médio |            |            |
|--|----|----------------|------------|------------|
|  |    | N na folha     | P na folha | P no solo  |
| Testemunha vs demais tratamentos         | 1  | 418,2644**     | 1,01431**  | 77,03148** |
| Testemunha vs menor combinação das doses | 1  | 145,9486**     | 0,33621**  | 7,22**     |
| Resíduo                                  | 48 | 0,6418         | 0,04136    | 0,96001    |

\*\* e \*significativo a 0,01 e a 0,05 pelo teste F, respectivamente

com esses nutrientes, os teores de N e de P na folha e de P no solo, são superiores àqueles verificados na ausência de adubação com tais nutrientes. É imprescindível mencionar, ainda, que qualquer combinação de doses de N e de  $P_2O_5$ , maior ou igual a  $30 \text{ kg ha}^{-1}$ , é mais vantajosa para o aumento dos teores de N na folha e de P no solo e na folha do que não se adubar com os mesmos.

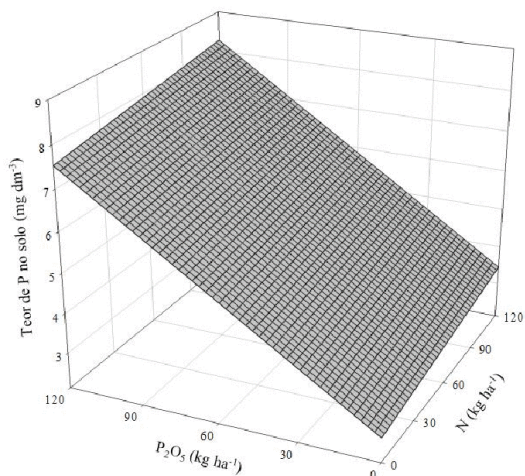
Pela análise de regressão constatou-se que o teor de P no solo aumentou linearmente com o aumento das doses de N e de  $P_2O_5$  aplicadas (Figura 3).

As doses de N e de  $P_2O_5$  aplicadas influenciaram positivamente os teores foliares de N e de P (Figuras 4A e 4B, respectivamente). Para o teor foliar de N, o ponto de máximo foi alcançado com a estimativa de aplicação de  $95 \text{ kg ha}^{-1}$  de N combinado com  $72 \text{ kg ha}^{-1}$  de  $P_2O_5$  (Figura 4A). Estima-se, para P, que a maior concentração do nutriente na folha é obtida com a aplicação no solo de  $120 \text{ kg ha}^{-1}$  de N combinado com  $114 \text{ kg ha}^{-1}$  de  $P_2O_5$  (Figura 4B). Verifica-se que os teores estimados de N na folha variaram de  $24 \text{ g kg}^{-1}$  ( $0 \text{ kg ha}^{-1}$  de N +  $0 \text{ kg ha}^{-1}$  de  $P_2O_5$ ) a  $35,18 \text{ g kg}^{-1}$  ( $90 \text{ kg ha}^{-1}$  de N +  $60 \text{ kg ha}^{-1}$  de  $P_2O_5$ ) (Figura 4A) e os teores de P variaram de  $2,24$  ( $0 \text{ kg ha}^{-1}$  de N +  $0 \text{ kg ha}^{-1}$  de  $P_2O_5$ ) a  $2,93 \text{ g kg}^{-1}$  ( $30 \text{ kg ha}^{-1}$  de N +  $120 \text{ kg ha}^{-1}$  de  $P_2O_5$ ) (Figura 4B).

De acordo com Malavolta (2006), o teor adequado de N nas folhas do milho para o bom desenvolvimento e produção, está situado na faixa de  $28$  a  $35 \text{ g kg}^{-1}$  de matéria seca, tal como o teor de P na faixa de  $2,5$  a  $4,0 \text{ g kg}^{-1}$  de matéria seca. Consta-se, desta forma, que no tratamento testemunha os teores de N e de P nas folhas não foram considerados adequados o que, em parte, pode justificar o aumento na produtividade de grãos pela cultura em função da aplicação de doses crescentes desses nutrientes. Por outro lado, infere-se que na combinação de doses de  $30 \text{ kg ha}^{-1}$  de N +  $30 \text{ kg ha}^{-1}$

$$\hat{Y} = 2,71002 + 0,00615602*N + 0,0402197**P$$

$$R^2 = 0,75$$

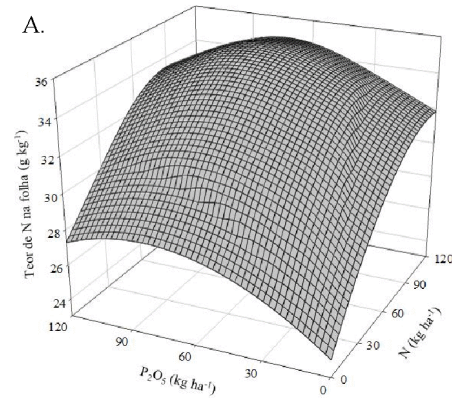


\*\* ,\*significativo a 0,01, a 0,05, respectivamente

**Figura 3.** Superfície de resposta para o teor de fósforo (P) no solo em função de doses de nitrogênio e de fósforo aplicadas no solo

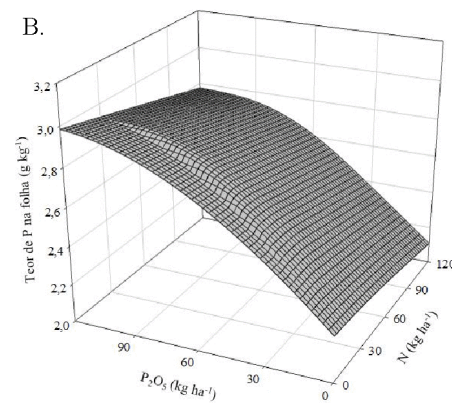
$$\hat{Y} = 24 + 0,15244**N - 0,0008007**N^2 + 0,113**P - 0,00079**P^2$$

$$R^2 = 0,86$$



$$\hat{Y} = 2,24069 + 0,00177319**N + 0,013179**P - 0,000057964**P^2$$

$$R^2 = 0,91$$



\*\*significativo a 0,01

**Figura 4.** Superfície de resposta para os teores de nitrogênio (N) (A) e de fósforo (P) (B) na folha de milho em função de doses de nitrogênio e de fósforo aplicadas no solo

de  $P_2O_5$  os valores desses nutrientes na folha são considerados adequados sugerindo que qualquer combinação de doses de N e de P igual ou superior a  $30 \text{ kg ha}^{-1}$  proporciona a obtenção de teores foliares considerados adequados para a cultura do milho.

Apesar das doses de N e de  $P_2O_5$  estimadas pela equação de regressão linear múltipla (Figura 2B) para a produção de máxima eficiência física terem sido de  $88 \text{ kg ha}^{-1}$  de N combinados com  $120 \text{ kg ha}^{-1}$  de  $P_2O_5$ , a maior receita líquida estimada, de acordo com a análise econômica da adubação, foi de R\$ 3.594,69, correspondendo a uma produção de máxima eficiência econômica de  $7.406,33 \text{ kg ha}^{-1}$ , a qual se torna possível com a aplicação de  $70 \text{ kg ha}^{-1}$  de N +  $120 \text{ kg ha}^{-1}$  de  $P_2O_5$  (Tabela 6) em que, para a obtenção dessa receita líquida máxima, o produtor terá que investir R\$ 626,92 com fertilizantes nitrogenados e fosfatados.

Substituindo esses valores de doses de N e de  $P_2O_5$  nas equações das Figuras 4A, 3 e 4B, estima-se que os teores de N na folha e de P no solo e na folha associados à produção de máxima eficiência econômica de grãos de milho foram, respectivamente, de  $32,93 \text{ g kg}^{-1}$ , de  $7,97 \text{ mg dm}^{-3}$  e de  $3,11 \text{ g kg}^{-1}$ .

**Tabela 6.** Produção estimada de grãos de milho, receita bruta, custos com fertilizantes nitrogenados e fosfatados e receita líquida em função de doses de nitrogênio e de fósforo aplicadas no solo

| Dose de N         | Dose de P <sub>2</sub> O <sub>5</sub><br>kg ha <sup>-1</sup> | Produção de grãos <sup>(1)</sup> | Receita bruta | Custos com fertilizantes<br>R\$ | Receita líquida |
|-------------------|--|----------------------------------|---------------|---------------------------------|-----------------|
| 0                 | 0  | 3.481                            | 1.984,48      | 0,00                            | 1.984,48        |
| 30                | 30   | 5.056                            | 2.882,29      | 214,68                          | 2.667,61        |
| 30                | 60   | 5.602                            | 3.193,43      | 290,28                          | 2.903,15        |
| 30                | 90   | 6.148                            | 3.504,58      | 365,88                          | 3.138,70        |
| 30                | 120  | 6.694                            | 3.815,72      | 441,48                          | 3.374,24        |
| 60                | 30   | 5.661                            | 3.227,02      | 353,76                          | 2.873,26        |
| 60                | 60   | 6.207                            | 3.538,17      | 429,36                          | 3.108,81        |
| 60                | 90   | 6.753                            | 3.849,31      | 504,96                          | 3.344,35        |
| 60                | 120  | 7.299                            | 4.160,46      | 580,56                          | 3.579,90        |
| 70                | 120  | 7.406                            | 4.221,61      | 626,92                          | 3.594,69        |
| 71                | 120  | 7.414                            | 4.226,25      | 631,56                          | 3.594,69        |
| 88 <sup>(2)</sup> | 120 <sup>(2)</sup>   | 7.480                            | 4.263,95      | 709,21                          | 3.554,74        |
| 90                | 30   | 5.841                            | 3.329,84      | 492,84                          | 2.837,00        |
| 90                | 60   | 6.387                            | 3.640,98      | 568,44                          | 3.072,54        |
| 90                | 90   | 6.933                            | 3.952,13      | 644,04                          | 3.308,09        |
| 90                | 120  | 7.479                            | 4.263,27      | 719,64                          | 3.543,63        |
| 120               | 30   | 5.597                            | 3.190,73      | 631,92                          | 2.558,81        |
| 120               | 60   | 6.143                            | 3.501,87      | 707,52                          | 2.794,35        |
| 120               | 90   | 6.689                            | 3.813,02      | 783,12                          | 3.029,90        |
| 120               | 120  | 7.235                            | 4.124,16      | 858,72                          | 3.265,44        |

<sup>(1)</sup>Produção estimada pela equação de regressão linear múltipla apresentada na Figura 2B; <sup>(2)</sup>Doses de N e de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> estimadas pela equação de regressão linear múltipla para a produção de máxima eficiência física

## CONCLUSÕES

1. A melhor combinação das doses de N e de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> recomendadas para a produção de grãos foi de 70 kg ha<sup>-1</sup> de N combinados com 120 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>.

2. Os níveis críticos de N na folha e de P no solo e na folha associados à produção de máxima eficiência econômica de grãos de milho foram, respectivamente, de 32,93 g kg<sup>-1</sup>, de 7,97 mg dm<sup>-3</sup> e de 3,11 g kg<sup>-1</sup>.

## AGRADECIMENTOS

Ao CNPq, pelo financiamento da pesquisa e pela bolsa de estudos, e ao proprietário Antônio Lisboa de Souza Filho, pelo apoio e concessão da área de estudo.

## LITERATURA CITADA

- Aratani, R. G.; Fernandes, F. M.; Mello, L. M. M. Adubação nitrogenada de cobertura na cultura do milho irrigado, em sistema plantio direto. *Revista Científica Eletrônica de Agronomia*, v.5, p.1-10, 2006.
- Cobucci, T. Efeitos de doses e épocas de aplicação em cobertura do adubo nitrogenado no consórcio milho-feijão. Viçosa: UFV, 1991. 94p. Tese Doutorado
- EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Manual de métodos de análises de solo. 2.ed. Rio de Janeiro: EMBRAPA, 1997. 212p.
- Farinelli, R.; Lemos, L. B. Produtividade e eficiência agrônômica do milho em função da adubação nitrogenada e manejos de solo. *Revista Brasileira de Milho e Sorgo*, v.9, p.135-146, 2010.
- Fernandes, F. C. S.; Buzetti, S. Efeitos de níveis de nitrogênio na produtividade de seis cultivares de milho (*Zea mays* L.). *Revista Científica Eletrônica de Agronomia*, v.4, p.1-7, 2005.
- Fernandes, F. C. S.; Buzetti, S.; Aarf, O.; Andrade, J. A. C. Doses, eficiência e uso de nitrogênio em seis cultivares de milho. *Revista Brasileira de Milho e Sorgo*, v.4, p.195-204, 2005.
- Freire, F. M.; Viana, M. C. M.; Mascarenhas, M. H. T.; Pedrosa, M. W.; Coelho, A. M.; Andrade, C. L. T. Produtividade econômica e componentes da produção de espigas verdes de milho em função da adubação nitrogenada. *Revista Brasileira de Milho e Sorgo*, v.9, p.213-222, 2010.
- Goes, R. J.; Rodrigues, R. A. F.; Arf, O.; Vilela, R. G. Nitrogênio em cobertura para o milho (*Zea mays* L.) em sistema plantio direto na safrinha. *Revista Brasileira de Milho e Sorgo*, v.11, p.169-177, 2012.
- IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. (2011). *Estados@*. <<http://www.gov.br/estadosat/temas.php?sigla=rn&tema=lavouratemporaria2011>>. 22 Mar. 2013.
- Malavolta, E. Manual de nutrição mineral de plantas. São Paulo: Agronômica Ceres, 2006. 638p.
- Mota, J. C. A.; Assis Junior, R. N.; Amaro Filho, J.; Romero, R. E.; Mota, F. O. B.; Libard, P. L. Atributos mineralógicos de três solos explorados com a cultura do melão na Chapada do Apodi: RN. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.31, p. 445-454, 2007.
- Oliveira, F. H. T.; Arruda J. A.; Silva, I. F.; Alves, J. C. Amostragem para avaliação da fertilidade do solo em função do instrumento de coleta das amostras e de tipos de preparo do solo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.31, p.973-983, 2007.

- Paiva, M. R. F. C.; Silva, G. F.; Oliveira, F. H. T.; Pereira, R. G.; Queiroga, F. M. Doses de nitrogênio e de fósforo recomendadas para produção econômica de milho-verde na Chapada do Apodi-RN. *Revista Caatinga*, v.25, p.1-10, 2012.
- Pelá, A.; Santana, G. S.; Moraes, E. R.; Pelá, G. M. Plantas de cobertura e adubação com NPK para milho em plantio direto. *Scientia Agrária*, v.11, p.371-377, 2010.
- Ribeiro Júnior, J. I. *Análises estatísticas no SAEG*. Viçosa: Universidade Federal de Viçosa, 2001. 301p.
- Rufino, C. A.; Tavares, L. C.; Vieira, J. F.; Dörr, C. S.; Villela, F. A.; Barros, A. C. S. A. Desempenho genótipos de milho submetidos ao déficit hídrico no estágio vegetativo. *Magistra*, v.24, p.217-225, 2012.
- Souza, E. F. C.; Soratto, R. P. Efeito de fontes e doses de nitrogênio em cobertura, no milho safrinha, em plantio direto. *Revista Brasileira de Milho e Sorgo*, v.5, p.395-405, 2006.
- Tedesco, M. J.; Gianello, C.; Bissani, C. A.; Bohner, H.; Volkweiss, S. J. *Análise de solo, plantas e outros materiais*. 2.ed. Porto Alegre: UFRGS, 1995. 174 p. *Boletim Técnico*, 5
- Valderrama, M.; Buzetti, S.; Benett, C. G. S.; Andreotti, M.; Teixeira Filho, M. C. M. Fontes e doses de NPK em milho irrigado sob plantio direto. *Pesquisa Agropecuária Tropical*, v.41, p.254-263, 2011.
- Veloso, M. E. C.; Duarte, S. N.; Dourado Neto, D.; Miranda, J. H.; Silva, E. C.; Souza, 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, p.382-394, 2006.
- Vilela, R. G.; Arf, O.; Gitti, D. C.; Kappes, C.; Goes, R. J.; Dalbem, E. A.; Portugal, J. R. Manejo do milho e doses de nitrogênio na cultura do milho em sistema de plantio direto. *Revista Brasileira de Milho e Sorgo*, v.11, p.234-242, 2012.