GERÔNIMO FERREIRA DA SILVA

ADUBAÇÃO NITROGENADA E FOSFATADA PARA PRODUÇÃO DE MILHO VERDE E DE GRÃOS NA CHAPADA DO APODI-RN

MOSSORÓ-RN

2013

GERÔNIMO FERREIRA DA SILVA

ADUBAÇÃO NITROGENADA E FOSFATADA PARA PRODUÇÃO DE MILHO VERDE E DE GRÃOS NA CHAPADA DO APODI-RN

Tese apresentada a Universidade Federal Rural do Semi-Árido UFERSA, para obtenção do título de Doutor em Agronomia: Fitotecnia.

ORIENTADOR: Prof. Fábio Henrique Tavares de Oliveira (UFERSA)
CO-ORIENTADOR: Prof. Paulo Sérgio Lima e Silva (UFERSA)

MOSSORÓ – RN

MARÇO DE 2013

Ficha catalográfica preparada pelo setor de classificação e catalogação da Biblioteca "Orlando Teixeira" da UFERSA

S586a Silva, Gerônimo Ferreira da.

Adubação nitrogenada e fosfatada para produção de milho verde e de grãos na Chapada do Apodi-RN / Gerônimo Ferreira da Silva. -- Mossoró, 2013.

121 f. : il.

Tese (Doutorado em Fitotecnia / Área: Agricultura Tropical) – Universidade Federal Rio do Norte.

Orientador: Profº. Dr. Sc. Fábio Henrique Tavares de Oliveira
Co-orientador: Profº Dr. Sc. Paulo Sergio Lima e Silva

1.Zea mays L. 2.Nitrogênio. 3.Fósforo. I.Título.

CDD: 633.15

Bibliotecária: Marilene Santos de Araújo
CRB_5 1033

GERÔNIMO FERREIRA DA SILVA

ADUBAÇÃO NITROGENADA E FOSFATADA PARA PRODUÇÃO DE MILHO VERDE E DE GRÃOS NA CHAPADA DO APODI-RN

Tese apresentada a Universidade Federal Rural do Semi-Árido UFERSA, para obtenção do título de Doutor em Agronomia: Fitotecnia.

APROVADA EM: 20/03/2013

Prof. Fábio Henrique Tavares de Oliveira
Orientador - UFERSA

Dr. Jaeveson da Silva
Examinador - Embrapa/CNPMF

Profa. Jeane Cruz Portela
Examinadora - UFERSA

Profa. Eulene Francisco da Silva
Examinadora - UFERSA

Dra. Adriana Araújo Diniz
Examinadora - PNPD/CAPES/UFERSA

A minha querida mãe Edenice Ferreira da Silva responsável pela minha criação, formação e educação.

Ao meu irmão Edvailson Ferreira, a minha cunhada Maria de Lourdes, aos meus sobrinhos Elisson e Anderson, pelo apoio moral e profissional e toda confiança depositada em mim.

OFEREÇO

Inicialmente a Deus, que me concede a cada dia saúde, paz e coragem para vencer de forma leal e honesta.

À minha querida filha Jeniffer Kelly por ser meu sonho realizado.

À minha querida esposa Iolanda que com amor e carinho está ao meu lado, apoiando-me e torcendo pelo nosso sucesso.

DEDICO

AGRADECIMENTOS

A Deus, pelo dom da vida, por Ele ter me permitido chegar até aqui, pela força e perseverança concedidas e pelo fortalecimento nas horas em que pensava fraquejar;

À minha mãe por todo o seu esforço, dedicação e confiança depositada em mim para a concretização dos meus sonhos;

Ao meu irmão Edvailson Ferreira, a minha cunhada Maria de Lourdes e aos meus sobrinhos Anderson e Elisson, pelo incentivo, apoio e confiança;

À minha esposa e companheira Iolanda e minha filha Jeniffer Kelly, pelo carinho e por se fazer presente em minha vida, apoiando-me e torcendo pelo nosso sucesso;

Ao Departamento de Ciências Vegetais da Universidade Federal Rural do Semi-Árido, em especial ao Programa de Pós-Graduação em Fitotecnia, pela acolhida e oportunidade de realização do curso.

Ao professor Dr. Fábio Henrique Tavares de Oliveira, muito obrigado por tudo, pela valiosa orientação técnica, profissional e moral e pela amizade, apoio, confiança e incentivo dispensados a minha pessoa. Sinto-me privilegiado em tê-lo tido como orientador;

Ao meu co-orientador, o professor Paulo Sérgio Lima e Silva pela co-orientação e apoio na realização deste trabalho.

Ao CNPq pela concessão de bolsa de estudos e pelo financiamento desta pesquisa.

Aos professores de Pós-Graduação em Fitotecnia e em Manejo de Solo e Água;

Aos Colegas Engenheiros Agrônomos Rodrigo Gomes Pereira; Priscilla Vanúbia, Fábio Martins, Antônio Lisboa, Antonia Rosimeire, Talita Barbosa; Maria Regilene, José Novo Júnior e Cheyla Linhares camaradas, companheiros de pesquisa e que tanto auxiliaram na execução dos trabalhos e projeto.

Enfim, a todos os professores que estiveram envolvidos em meu processo de aprendizagem, funcionários e demais colegas que contribuíram para a realização desse desafio.

BIOGRAFIA

GERÔNIMO FERREIRA DA SILVA, filho de Edenice Ferreira da Silva, nasceu em Areia - PB, em 28 de dezembro de 1979.

Graduou-se em Agronomia pelo Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal da Paraíba em abril de 2004, onde também foi bolsista de Iniciação Científica do PIBIC/CNPq/UFPB, no período de agosto de 2001 a julho de 2003.

Em julho de 2004 ingressou como Estagiário da Embrapa Algodão junto a Unidade de Controle Biológico, onde foi bolsista de Apoio Técnico do CNPq, no período de julho de 2004 a junho de 2006.

Em julho de 2006 iniciou o curso de mestrado em Manejo de Solo e Água pelo Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal da Paraíba.

Em março de 2010 ingressou no curso de doutorado em Fitotecnia na Universidade Federal Rural do Semi-Árido.

SUMÁRIO

Página

LISTA DE TABELAS..... X

LISTA DE FIGURAS..... XIII

RESUMO..... XV

ABSTRACT..... XVI

1. INTRODUÇÃO..... 01

2. REVISÃO DE LITERATURA..... 04

2.1. A Chapada do Apodi..... 04

2.2. Aspectos gerais da cultura do milho..... 05

2.3. Adubação nitrogenada na cultura do milho..... 07

2.4. Adubação fosfatada na cultura do milho..... 10

2.5. Exigência nutricional da cultura do milho..... 12

2.6. Recomendação de adubação nitrogenada e fosfatada para a cultura do milho..... 15

3. MATERIAL E MÉTODOS..... 21

3.1. Descrição geral das áreas experimentais..... 21

3.2. Delineamento experimental e tratamentos..... 22

3.3. Operações de cultivo..... 24

3.4. Avaliações..... 25

3.4.1. Rendimento de espigas verdes..... 25

3.4.2. Rendimentos de grãos e componentes de produção..... 25

3.4.3. Altura de plantas e da inserção de espigas, diâmetro do colmo e matéria seca..... 26

3.4.4. Análises de solo e de tecido vegetal..... 26

3.4.5. Análises estatísticas..... 27

3.4.6. Análise econômica da adubação para a produção de milho verde e de grãos..... 28

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO..... 29

4.1. Experimento conduzido no município de Baraúna-RN..... 29

4.1.1. Rendimento e características das espigas de milho verde..... 29

4.1.2. Análise econômica da adubação para a produção de milho verde 36

4.1.3. Altura de plantas e da inserção de espigas, diâmetro do colmo e matéria seca..... 39

4.1.4. Rendimento e características das espigas de milho seco..... 43
4.1.5. Teores de nitrogênio e de fósforo no solo e na planta..... 51
4.1.6. Análise econômica da adubação para a produção de grãos..... 55
4.1.7. Níveis críticos de N e de P no solo e na planta para a produção de milho verde e de grãos..... 57
4.2. Experimento conduzido no município de Mossoró-RN..... 58
4.2.1. Rendimento e características das espigas de milho verde..... 58
4.2.2. Análise econômica da adubação para a produção de milho verde 65
4.2.3. Altura de plantas e da inserção de espigas, diâmetro do colmo e matéria seca..... 68
4.2.4. Rendimento e características das espigas de milho seco..... 73
4.2.5. Teores de nitrogênio e de fósforo no solo e na planta..... 80
4.2.6. Análise econômica da adubação para a produção de grãos..... 84
4.2.7. Níveis críticos de N e de P no solo e na planta para a produção de milho verde e de grãos..... 87
5. CONSIDERAÇÕES FINAIS..... 89
6. CONCLUSÕES..... 91
7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS..... 92

LISTA DE TABELAS

		Página
Tabela 1 -	Extração média de nutrientes pela cultura do milho destinada à produção de grãos e silagem em diferentes níveis de produtividade.....	14
Tabela 2 -	Acúmulo e exportação de micronutrientes pela cultura do milho destinada à produção de grãos.....	14
Tabela 3 -	Valores de referência dos teores foliares de nutrientes considerados adequados para a cultura do milho.....	15
Tabela 4 -	Valores médios de recomendações de adubação nitrogenada e fosfatada para a cultura do milho em diferentes Estados e regiões do Brasil.....	17
Tabela 5 -	Características químicas e físicas dos solos das áreas experimentais antes da implantação dos experimentos, avaliadas na camada de 0-20 cm.....	22
Tabela 6 -	Doses de nutrientes aplicadas em cada tratamento, em ambos os experimentos (Baraúna-RN e Mossoró-RN), para avaliação da produção de milho verde e de grãos.....	23
Tabela 7 -	Número total de espigas, número de espigas empalhadas e despalhadas comercializáveis, em função de doses de nitrogênio e de fósforo aplicadas no solo, Baraúna-RN, 2010.....	30
Tabela 8 -	Peso total de espigas, peso de espigas empalhadas e despalhadas comercializáveis, em função de doses de nitrogênio e de fósforo aplicadas no solo, Baraúna-RN, 2010.....	33
Tabela 9 -	Peso estimado de espigas empalhadas comercializáveis (PEEC), receita bruta, custos com fertilizantes nitrogenados e fosfatados e receita líquida, em função de doses de nitrogênio e de fósforo aplicadas no solo, Baraúna-RN, 2010.....	37
Tabela 10 –	Número de espigas, massa de 100 grãos e produtividade de grãos, em função de doses de nitrogênio e de fósforo aplicadas no solo, Baraúna-RN, 2010.....	40

Tabela 11 - Comprimento, diâmetro e número de fileiras nas espigas, em função de doses de nitrogênio e de fósforo aplicadas no solo, Baraúna-RN, 2010..... 45

Tabela 12 - Altura de planta, altura da inserção de espigas, diâmetro do colmo e matéria seca, em função de doses de nitrogênio e de fósforo aplicadas no solo, Baraúna-RN, 2010..... 49

Tabela 13 - Teores de nitrogênio e de fósforo no solo e teores de nitrogênio e de fósforo na planta, em função de doses de nitrogênio e de fósforo aplicadas no solo, Baraúna, RN, 2010..... 52

Tabela 14 - Produção estimada de grãos, receita bruta, custos com fertilizantes nitrogenados e fosfatados e receita líquida, em função de doses de nitrogênio e de fósforo aplicadas no solo, Baraúna-RN, 2010..... 56

Tabela 15 - Número total de espigas, número de espigas empalhadas e despalhadas comercializáveis, em função de doses de nitrogênio e de fósforo aplicadas no solo, Mossoró-RN, 2010..... 59

Tabela 16 - Peso total de espigas, peso de espigas empalhadas e despalhadas comercializáveis, em função de doses de nitrogênio e de fósforo aplicadas no solo, Mossoró-RN, 2010..... 63

Tabela 17 - Peso estimado de espigas empalhadas comercializáveis (PEEC), receita bruta, custos com fertilizantes nitrogenados e fosfatados e receita líquida, em função de doses de nitrogênio e de fósforo aplicadas no solo, Mossoró-RN, 2010..... 67

Tabela 18 - Número de espigas, massa de 100 grãos e produtividade de grãos, em função de doses de nitrogênio e de fósforo aplicadas no solo, Mossoró-RN, 2010..... 69

Tabela 19 - Comprimento, diâmetro e número de fileiras nas espigas, em função de doses de nitrogênio e de fósforo aplicadas no solo, Mossoró-RN, 2010..... 74

Tabela 20 - Altura de plantas, altura da inserção de espigas, diâmetro do colmo e matéria seca, em função de doses de nitrogênio e de fósforo aplicadas no solo, Mossoró-RN, 2010..... 78

Tabela 21 - Teores de nitrogênio e de fósforo no solo e teores de nitrogênio e de fósforo na planta, em função de doses de nitrogênio e de fósforo aplicadas no solo, Mossoró-RN, 2010..... 81

Tabela 22 - Produção estimada de grãos, receita bruta, custos com fertilizantes nitrogenados e fosfatados e receita líquida, em função de doses de nitrogênio e de fósforo aplicadas no solo, Mossoró-RN, 2010..... 85

Tabela 23 - Doses de máxima eficiência econômica, nível crítico de N no solo, N na planta, P no solo e P na planta para produção de milho verde, em função de doses de N e de P aplicadas em dois solos da Chapada do Apodi-RN..... 91

Tabela 24 - Doses de máxima eficiência econômica, nível crítico de N no solo, N na planta, P no solo e P na planta para produção de grãos, em função de doses de N e de P aplicadas em dois solos da Chapada do Apodi-RN..... 91

LISTA DE FIGURAS

Página

Figura 1 - Superfície de resposta para o peso total de espigas (a) e para o peso de espigas comercializáveis, empalhadas (b) e despalhadas (c), em função de doses de nitrogênio e de fósforo aplicadas no solo, Baraúna-RN, 2010..... 35

Figura 2 - Superfície de resposta para a massa de 100 grãos (a) e para a produtividade de grãos (b), em função de doses de nitrogênio e de fósforo aplicadas no solo, Baraúna-RN, 2010..... 41

Figura 3 - Superfície de resposta para o comprimento de espigas (a) e para o diâmetro de espigas (b), em função de doses de nitrogênio e de fósforo aplicadas no solo, Baraúna-RN, 2010..... 43

Figura 4 - Superfície de resposta para a altura de planta (a), para a altura da inserção de espigas (b) e para o diâmetro do colmo, em função de doses de nitrogênio e de fósforo aplicadas no solo, Baraúna-RN, 2010..... 47

Figura 5 - Superfície de resposta para a matéria seca, em função de doses de nitrogênio e de fósforo aplicadas no solo, Baraúna-RN, 2010..... 50

Figura 6 - Superfície de resposta para os teores de nitrogênio (a) e de fósforo no solo (b) e de nitrogênio na folha (c), em função de doses de nitrogênio e de fósforo aplicadas no solo, Baraúna-RN, 2010..... 53

Figura 7 - Superfície de resposta para o teor de fósforo na folha, em função de doses de nitrogênio e de fósforo aplicadas no solo, Baraúna-RN, 2010..... 55

Figura 8 - Superfície de resposta para o número de espigas empalhadas comercializáveis (NEEC) (a) e para o número de espigas despalhadas comercializáveis (NEDC) (b), em função de doses de nitrogênio e de fósforo aplicadas no solo, Mossoró-RN, 2010..... 61

Figura 9 - Superfície de resposta para o peso total de espigas (a), para o peso de espigas empalhadas comercializáveis (PEEC) (b) e para o peso de espigas despalhadas comercializáveis (PEDC) (c), em função de doses de nitrogênio e de fósforo aplicadas no solo, Mossoró-RN, 2010..... 64

Figura 10 - Superfície de resposta para a produtividade de grãos, em função de doses de nitrogênio e de fósforo aplicadas no solo, Mossoró-RN, 2010..... 70

Figura 11 - Superfície de resposta para o comprimento de espiga (a) e para o diâmetro de espiga (b), em função de doses de nitrogênio e de fósforo aplicadas no solo, Mossoró-RN, 2010..... 71

Figura 12 - Superfície de resposta para a altura de planta, em função de doses de nitrogênio e de fósforo aplicadas no solo, Mossoró-RN, 2010..... 73

Figura 13 - Superfície de resposta para a altura da inserção de espigas (a) e para o diâmetro do colmo (b), em função de doses de nitrogênio e de fósforo aplicadas no solo, Mossoró-RN, 2010..... 76

Figura 14 - Superfície de resposta para a matéria seca, em função de doses de nitrogênio e de fósforo aplicadas no solo, Mossoró-RN, 2010..... 79

Figura 15 - Superfície de resposta para os teores de nitrogênio (a) e de fósforo (b) no solo, em função de doses de nitrogênio e de fósforo aplicadas no solo, Mossoró-RN, 2010..... 82

RESUMO

SILVA, GERÔNIMO FERREIRA DA. **Adubação nitrogenada e fosfatada para produção de milho verde e de grãos na Chapada do Apodi-RN.** Universidade Federal Rural do Semi-Árido, março de 2013. 120 f. Orientador: Prof. Fábio Henrique Tavares de Oliveira. Co-orientador: Prof. Paulo Sérgio Lima e Silva.

O nitrogênio (N) e o fósforo (P) geralmente são os dois nutrientes que ocorrem em menores teores no solo em relação à necessidade da planta e são dois nutrientes dos mais exigidos pela cultura do milho. Com o objetivo de definir a melhor combinação das doses de N e P para produção econômica de milho verde e de grãos, assim como os níveis críticos desses nutrientes no solo e na planta, dois experimentos foram realizados em dois solos representativos da Chapada do Apodi-RN. Em ambos os experimentos, os tratamentos estudados foram resultantes da combinação entre quatro doses de N (30, 60, 90 e 120 kg ha^{-1}) e de quatro doses de P_2O_5 (30, 60, 90 e 120 kg ha^{-1}) mais um tratamento testemunha, no qual não se aplicou nenhuma dose desses nutrientes. O delineamento experimental foi o de blocos ao acaso com quatro repetições em esquema fatorial. A cultivar utilizada foi o híbrido duplo AG 1051 e as características avaliadas foram: número e peso total de espigas verdes, número e peso de espigas verdes comercializáveis, empalhadas e despalhadas, altura de plantas, diâmetro do colmo, número de espigas, altura da inserção de espigas, comprimento e diâmetro de espigas secas, número de fileiras nas espigas, matéria seca, massa de 100 grãos, produtividade de grãos, teor de nitrogênio e de fósforo no solo e na folha, receita bruta, custos com fertilizantes nitrogenados e fosfatados e receita líquida. Os resultados obtidos no Cambissolo indicaram que, a melhor combinação das doses de N e de P_2O_5 recomendadas para a produção de espigas verdes empalhadas comercializáveis é de 60 kg ha^{-1} de N combinado com 103 kg ha^{-1} de P_2O_5. Para produção de grãos essa combinação recomendada é de 70 kg ha^{-1} de N combinado com 120 kg ha^{-1} de P_2O_5. Para a produção de espigas verdes o nível crítico de N no solo é de 1,15 g kg^{-1}, o nível crítico de P no solo pelo extrator Mehlich-1 é de 7,22 mg dm^{-3} e os níveis críticos de N e de P na folha são, respectivamente, de 33,54 g kg^{-1} e de 3,08 g kg^{-1}. Para a produção de grãos o nível crítico de N no solo é de 1,17 g kg^{-1}, o nível crítico de P no solo é de 7,97 mg dm^{-3} e os níveis críticos de N e de P na planta são, respectivamente, de 32,95 g kg^{-1} e de 3,11 g kg^{-1}. No Argissolo os resultados obtidos indicaram que, a melhor combinação das doses de N e de P_2O_5 recomendadas para a produção de espigas verdes empalhadas comercializáveis é de 120 kg ha^{-1} de N combinado com 120 kg ha^{-1} de P_2O_5. Para produção de grãos essa combinação recomendada é de 120 kg ha^{-1} de N combinado com 95 kg ha^{-1} de P_2O_5. Para as produções tanto de espigas verdes quanto de grãos, o nível crítico de N no solo é de 0,43 g kg^{-1} e os níveis críticos de N e de P na folha são, respectivamente, de 17,17 g kg^{-1} e de 1,54 g kg^{-1}. Os níveis críticos de P no solo para as produções de espigas verdes e grãos são, respectivamente, 8,21 e 6,9 mg dm^{-3}.

Palavras Chaves: *Zea mays* L.; Nitrogênio; Fósforo.

ABSTRACT

SILVA, GERÔNIMO FERREIRA DA. **Nitrogen and phosphorus fertilization for corn production and grain in the "Chapada do Apodi-RN".** Universidade Federal Rural do Semi-Árido, march of 2013. 120 f. Adviser: Prof. Fábio Henrique Tavares de Oliveira. Co-adviser: Prof. Paulo Sérgio Lima e Silva.

The nitrogen (N) and phosphorus (P) generally are the two nutrients that occur in lower levels in the soil in relation to the need of the plant and are the nutrients most required by the maize crop. With the objective of defining the best combination of N and P for economic production of corn and grain, as well as the critical levels of these nutrients in soil and plant, two experiments were conducted in two soils of the Chapada of Apodi-RN. In both experiments, the treatments consisted of the combination of four N doses (30, 60, 90 and 120 kg ha^{-1}) and four doses of P_2O_5 (30, 60, 90 and 120 kg ha^{-1}) more a control treatment, in which not applied any dose of these nutrients. The experimental design was in randomized blocks with four repetitions in a factorial design. The cultivar used was the hybrid AG 1051 and the characteristics were: number and total weight of green ears, number and weight of marketable green ears, stover and without stover, plant height, stem diameter, number of spikes, insertion height of ears, length and diameter of dried ears, number of rows in the ears, dry matter, weight of 100 grains, grain yield, content nitrogen and phosphorus in soil and leaf, gross revenues, costs of nitrogen and phosphate fertilizers and net revenue. The results indicated that the Cambissolo, the best combination of N and P_2O_5 recommended for the production of marketable ears with husk is 60 kg ha^{-1} N combined with 103 kg ha^{-1} of P_2O_5. For grain production is recommended that combination of 70 kg ha^{-1} N combined with 120 kg ha^{-1} of P_2O_5. For the production of green ears the critical level of N in the soil is 1,15 g kg^{-1}, the critical level of soil P by Mehlich-1 is 7,22 mg dm^{-3} and the critical levels of N and P in leaf are, respectively, 33,54 g kg^{-1} and 3,08 g kg^{-1}. For grain yield the critical level of N in the soil is 1,17 g kg^{-1}, the critical level of soil P is 7,97 mg dm^{-3} and the critical levels of N and P in the plant are, respectively, 32,95 g kg^{-1} and 3,11 g kg^{-1}. In Argisoil the results indicated that the best combination of N and P_2O_5 recommended for the production of marketable ears with husk is 120 kg ha^{-1} N combined with 120 kg ha^{-1} of P_2O_5. For grain production is recommended that combination of 120 kg ha^{-1} N combined with 95 kg ha^{-1} of P_2O_5. For both productions as green ears of grain, the critical level of N in the soil is 0,43 g kg^{-1} and the critical levels of N and P are, respectively, 17,17 g kg^{-1} and 1,54 g kg^{-1}. The critical levels of soil P for the production of green ears and grains are, respectively, 8,21 and 6,9 mg dm^{-3}.

Palavra Chaves: *Zea mays* L.; Nitrogen; Phosphorus.

.

1. INTRODUÇÃO

A Chapada do Apodi, localizada na divisa dos Estados do Rio Grande do Norte e Ceará, tem se destacado como um importante pólo de exploração agrícola no Nordeste brasileiro, onde se pratica agricultura de sequeiro e, principalmente agricultura irrigada. Os materiais de origem dos solos dessa região são de natureza sedimentar, compostos principalmente por calcário e sedimentos do grupo barreiras.

De acordo com o Levantamento Exploratório - Reconhecimento de Solos do Estado do Rio Grande do Norte (Brasil, 1971), nesta região se encontram Latossolos, Argissolos, Chernossolos Rêndzicos, Cambissolos, Neossolos Litólicos e Neossolos Quartzarênicos. Desses os Argissolos e os Cambissolos são os mais cultivados. O solo predominante nessa região é o Cambissolo desenvolvido a partir do calcário e localizado em terras planas a ligeiramente elevadas, formadas por terrenos sedimentares, cortados pelos rios Apodi-Mossoró e Piranhas- Açu (Brasil, 1971). Quimicamente, possuem alta soma de bases trocáveis, podendo representar mais de 90% de saturação da capacidade de troca de cátions. Normalmente são alcalinos, com pH às vezes acima de 8,0 e fósforo disponível muito baixo (menor que 5 mg kg^{-1}).

A Chapada do Apodi-RN destaca-se 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) sob condições de irrigação, mas durante a estação chuvosa (primeiro semestre) muitas áreas plantadas com melão e melancia não são cultivadas, levando-se assim vários produtores da região a buscarem culturas alternativas para serem cultivadas na estação chuvosa, dentre elas a cultura do milho.

A cultura do milho (*Zea mays* L.) no semiárido nordestino caracteriza-se como uma das principais alternativas para o agricultor, justificando a sua capacidade de geração de emprego e renda, advindo do cultivo dessa gramínea, além de se constituir como fator fundamental na construção de alternativas viáveis

ao desenvolvimento rural. Nessa região, como em outras regiões dos estados brasileiro, o milho é cultivado visando-se a obtenção de grãos, milho verde e palhada para o rebanho. Os grãos verdes constituem o chamado milho verde, isto é, milho com grãos no estado leitoso, apresentando de 70 a 80% de umidade, sendo bastante utilizado pelos nordestinos, inclusive na preparação de pratos típicos da região. Os grãos secos são usados nas alimentações humana e animal. Após a colheita das espigas verdes e secas, a palhada é utilizada na alimentação dos rebanhos do próprio agricultor ou comercializada (Maia & Silva, 2001).

Entretanto, para que a produção dessa 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. Na maior parte da região semiárida, o solo apresenta baixo teor de matéria orgânica, o que aumenta mais a demanda de nitrogênio, caso o mesmo não seja fornecido via adubação mineral. O teor de fósforo também é baixo, sendo um macronutriente que pode ser limitante ao crescimento e produtividade da cultura.

Nas principais tabelas de recomendação de adubação para a cultura do milho em uso no país (Comissão Estadual de Fertilidade do Solo, 1989; Universidade Federal do Ceará, 1993; Raij et al., 1997; Cavalcanti et al., 1998; Ribeiro et al., 1999; Sousa & Lobato, 2004 e Comissão de Química e Fertilidade do Solo - CQFSRS/SC, 2004) observam-se recomendações de doses de N e de P_2O_5 que variam de 60 a 95 kg ha^{-1} de N (média de 83 kg ha^{-1}) e 0 a 125 kg ha^{-1} de P_2O_5 (média de 85 kg ha^{-1}), dependendo da tabela de recomendação de adubação e do teor de P no solo. As amplitudes entre as doses recomendadas para esses nutrientes expressam não somente as grandes discrepâncias entre as tabelas, como 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 essa cultura com base em resultados de pesquisas regionais, evitando a aplicação de doses de nutrientes aquém ou além das necessidades dessa cultura. Doses de nutrientes aquém das necessidades da planta

causam baixas produtividades, porém, doses excessivas podem causar prejuízos econômicos e ambientais.

Em função do exposto e tendo em vista a ausência de resultados de pesquisas sobre adubação nitrogenada e fosfatada para a cultura do milho no Estado do Rio Grande do Norte, e, em particular na Chapada do Apodi, objetivou-se com este trabalho definir a melhor combinação das doses de nitrogênio e fósforo para produção econômica de milho verde e de grãos, assim como definir os níveis críticos desses nutrientes no solo e na planta, em dois solos representativos da Chapada do Apodi-RN.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1. A Chapada do Apodi

A Chapada do Apodi é uma formação montanhosa localizada na divisa dos Estados do Ceará e do Rio Grande do Norte. No Ceará está distribuída por cinco municípios: Alto Santo, Tabuleiro do Norte, Limoeiro do Norte, Quixeré e Jaguaruana e no Rio Grande do Norte em quatro: Baraúna, Governador Dix-Sept Rosado, Felipe Guerra e Apodí. A área apresenta grande uniformidade do ponto de vista topográfico. O relevo é plano, com declive dominante inferior a 2%, condições favoráveis para a agricultura.

Na área da Chapada são encontrados vários tipos de solos, destacando-se os Cambissolos eutróficos, com argila de atividade alta e textura argilosa, derivados de rochas carbonatadas do Grupo Apodí. Estes solos apresentam elevada fertilidade natural e grande potencial para uso agrícola, secundariamente ocorrem na Chapada os Argissolos.

O clima da região é o tropical quente semiárido. A temperatura média anual é de 28,5°C, com mínima de 22°C e máxima de 35°C. A precipitação média anual é 772 mm, registrando-se uma distribuição de chuvas muito irregular, espacial e temporariamente. A umidade relativa é de 62%, como média anual. Os ventos sopram a uma velocidade média de 7,5 m/s e a evatranspiração atinge a média anual de 3.215 mm. A região tem uma insolação de 3.030 horas/ano (Funceme).

Segundo o Diagnóstico Ambiental da Bacia do Rio Jaguaribe (IBGE, 1999), a Chapada do Apodí é constituída por sedimentos cretáceos das Formações Jandaíra e Açu, no nível altimétrico médio de 40 m e ocupa uma área de 1973 km^2. É caracterizada por uma superfície plana, formando um patamar de acesso ao topo da chapada.

2.2. Aspectos gerais da cultura do milho

O milho (*Zea mays* L.) pertence a família das Poáceas (antiga família das gramíneas). Todas as evidências científicas levam a crer que seja uma planta de origem americana, já que nessa localidade era cultivada desde o período pré-colombiano, sendo uma das plantas cultivadas de maior importância para a humanidade e, ainda objeto de extensivos estudos, os quais permitiram seu cultivo em todos os continentes (Ferreira et al., 2010). Possui grande adaptabilidade a diversas condições de cultivo em virtude da grande variedade de genótipos existentes (Magalhães et al., 2002). Entre as plantas cultivadas, é uma das mais antigas, e seu alto nível de domesticação, associado ao extenso trabalho de melhoramento genético, tornou esta cultura altamente dependente da ação humana.

A cultura do milho adapta-se melhor a temperaturas altas, ao redor de 24 e 30°C, radiação solar elevada e adequada disponibilidade hídrica do solo. Por ser uma planta C_4 se adapta bem as nossas condições climáticas (semiáridas) podendo o produtor obter retorno econômico. Quanto ao regime pluvial, regiões onde a precipitação varia de 250 mm até 5.000 mm anuais possibilitam a instalação da cultura. O clima mais favorável à cultura é aquele que apresenta verões quentes e úmidos durante o ciclo vegetativo, acompanhado de invernos secos o que vem a facilitar a colheita e o armazenamento (Magalhães et al., 2002).

O milho é uma das culturas mais cultivadas no mundo, fornecendo produtos amplamente utilizados para a alimentação humana e animal e matérias-primas para a indústria, notadamente em função da quantidade e da natureza das reservas acumuladas nos grãos (Severino, 2005). Além de ser muito utilizado na alimentação humana devido ao seu alto valor nutricional, sendo consumido como milho verde, farinha e massas, o milho, também é bastante utilizado na alimentação animal tanto na forma *"in natura"* como em rações e silagens. O milho como matéria prima é utilizado na indústria na produção de vários subprodutos, gerando uma cadeia produtiva de empregos diretos e indiretos, conferindo-lhe grande importância econômica e social contribuindo assim, para que o mesmo seja

considerado um dos mais importantes cereais cultivados e consumidos no mundo (Paterniani, 1978; Scudeler et al., 2011).

Entre as produções mais difundidas em todo o mundo o milho ocupa a segunda posição, sendo superado apenas pelo trigo. O Brasil se destaca como o terceiro maior produtor mundial, com uma área cultivada de aproximadamente 14 milhões de hectares, superado apenas pelos Estados Unidos e pela China. O país produz cerca de 57 milhões de toneladas de grãos de milho sendo o estado do Paraná o maior produtor nacional, ocupando uma área de 2,5 milhões de hectares, seguido pelo estado de Mato Grosso (CONAB, 2012).

No Brasil a região Nordeste possui uma ampla área com potencial para a exploração desta cultura, onde a cultura destaca-se como uma das mais importantes para a região, principalmente visando às produções de milho verde e de milho grãos (Castro, 2010). Ainda assim, segundo CONAB (2012), a região Nordeste é a penúltima região em volume de produção de grãos de milho, participando com apenas 6,5% do volume nacional de produção, enquanto, o Estado do Rio Grande do Norte não participa se quer, com 0,1% deste volume de produção.

Apesar do milho ser o principal cereal produzido no Brasil e ser cultivado em cerca de 14 milhões de hectares, sua produtividade média no país é de 4,1 t ha^{-1} de grãos e no nordeste essa produtividade média é ainda menor 1,9 t ha^{-1}, sendo que, no estado do Rio Grande do Norte essa produtividade média é de apenas 0,67 t ha^{-1} (CONAB, 2012). Segundo Amado et al. (2002) e Silva et al. (2009), as doses baixas e o manejo incorreto do nitrogênio (N) e do (P) são fatores responsáveis por baixas produtividades nessa cultura. Enquanto no Brasil a quantidade utilizada de N no milho é, em média, de 60 kg ha^{-1}, nos EUA é de 150 kg ha^{-1} e na China, de 130 kg ha^{-1}. A aplicação de fósforo (P) no milho também é baixa, no Brasil, com média de 55 kg ha^{-1} de P_2O_5 (International Fertilizer Industry Association, 2012).

Neste sentido, para que a produção da cultura do milho seja economicamente viável no nordeste brasileiro, é necessário que se obtenham produtividades elevadas e sustentáveis. Vários fatores, dentre os quais as precipitações pluviais irregulares, os sistemas tradicionais de cultivo, o manejo cultural, os baixos teores de nitrogênio (N) e de fósforo (P) dos solos e a falta de

experimentos de adubação em condições de campo que definam as melhores doses de N e de P para a adequada nutrição e produção elevada dessa cultura, concorrem para o insucesso agrícola na região nordeste. Esses fatores, associados ao uso e ao manejo do solo, contribuem para que haja resposta do milho à adubação nitrogenada e fosfatada nessa região (Muzilli et al.,1982), e, em particular, em todas as regiões do estado do Rio Grande do Norte.

2.3. Adubação nitrogenada na cultura do milho

O nitrogênio é o elemento exigido em maior quantidade pela cultura do milho, e é o que mais frequentemente limita a produtividade de grãos, pois o N exerce importante função nos processos bioquímicos da planta, além disso, é o que mais onera o custo de produção da cultura (Lemaire & Gastal, 1997; Scudeler et al., 2011), é constituinte de proteínas, enzimas, coenzimas, ácidos nucléicos, fitocromos e da clorofila (Cantarella, 1993). Além disso, afeta as taxas de iniciação e expansão foliar, o tamanho final e a intensidade de senescência das folhas (Schröder et al., 2000).

A adubação nitrogenada influi positivamente no rendimento e na produtividade de grãos da cultura do milho, afetando diversas características do crescimento e desenvolvimento (Cobuci,1991). A disponibilidade de N afeta o desenvolvimento da área foliar e a taxa de fotossíntese (Lemaire & Gastal, 1997; Aita et al., 2001), o crescimento radicular (Jenkinson et al., 1985; Rao et al., 1992), o rendimento biológico (Duete et al., 2008), o tamanho de espigas, o número, a massa de grãos e índice de espiga (Melgar et al., 1991), a altura de planta (Gomes et al., 2007; Duete et al., 2008), o comprimento da espiga (Balko & Russel, 1980), o diâmetro de colmo (Pereira Filho, 1977), a inserção de espiga (Duete et al., 2008), o número de plantas acamadas e quebradas e a qualidade de grãos (Gody Júnior & Graner, 1964).

A obtenção de altas produtividades de milho é diretamente dependente de elevadas doses de N (Amado et al., 2002; Sousa & Lobato, 2004). Todavia, respostas aquém das expectativas, mesmo com altas doses de N, podem ocorrer em

razão da deficiência de P ou de outros nutrientes (Marschner, 1995). Assim, estudos sobre doses de nitrogênio continuam sendo de interesse dos pesquisadores da cultura do milho, pois determinadas doses de nitrogênio podem contribuir para aumentos significativos no rendimento de grãos, como constatado por Cardwell (1992).

O nitrogênio e o fósforo são os dois nutrientes, em condições naturais, que mais limitam a produção de grãos no Brasil, especialmente a das gramíneas (França et al., 1986). Resultados de experimentos conduzidos sob diversas condições de solo, clima e sistemas de cultivo, em Minas Gerais (França et al., 1986) e em São Paulo (Cantarella & Raij, 1986) indicam que, em geral, de 70 a 90% dos ensaios com a cultura do milho responderam à aplicação de N. Segundo Cantarella (1993), no Brasil a magnitude das respostas a nitrogênio tem sido variável, mas a maioria dos experimentos indica respostas significativas a doses entre 30 e 90 kg ha^{-1} de N. O mesmo autor ainda cita que a absorção de nitrogênio pelo milho é mais intensa no período entre 40 e 60 dias após germinação, porém, a planta ainda absorve cerca de 50% do nitrogênio que necessita após o início do florescimento, sendo uma provável vantagem a aplicação tardia de parte do nitrogênio.

Através de experimentos em condições de campo, (Vieira et al.,1976 e Melgar et al., 1991) constataram que o rendimento de grãos de milho aumentou linearmente em função das doses de N (40, 80 e 120 kg ha^{-1}) aplicadas ao solo, em várias formas de parcelamento. Silva et al (2003) avaliaram os efeitos da aplicação de doses de nitrogênio e densidades de semeadura sobre os rendimentos de espigas verdes e de grãos de milho e constataram que o aumento da dose de nitrogênio aumentou as alturas da planta e de inserção da espiga, o número e o peso de espigas comercializáveis, o rendimento de grãos e seus componentes.

Wendling et al. (2004) avaliaram a resposta da cultura do milho em plantio direto à aplicação de nitrogênio e verificaram que a cultura respondeu positivamente ao fornecimento de nitrogênio até a maior dose, mas atingiu o rendimento relativo de 90% com dose de aproximadamente 140 kg ha^{-1}. Fernandes et al. (2005) avaliaram doses, eficiência e uso de N em seis cultivares de milho,

aplicado nas doses de 0, 30, 90 e 180 kg ha^{-1}, e obtiveram diferença de produtividade entre os cultivares e, a dose estimada de N que propiciou a máxima produtividade de grãos foi de 110 kg ha^{-1}. A eficiência do uso de nitrogênio de todos os híbridos diminuiu quando se aumentou a dose de N aplicada. Anjos et al. (2008) realizaram estudo sobre a produtividade de milho cultivado sob diferentes doses de N em solo com alto teor de matéria orgânica, verificaram ganho de produtividade em todos os tratamentos.

Vários outros trabalhos avaliando o efeito da adubação nitrogenada na cultura do milho, com foco na produção de grãos secos, têm sido encontrados na literatura, com respostas positivas (Mar et al., 2003; Shioga et al., 2004; Fernandes, 2005; Jakelaitis et al., 2005; Veloso et al., 2006; Aratani et al., 2006) e mesmo em ausência de resposta (Casagrande & Fornasieri Filho, 2002). Por sua vez, para a produção de espigas verdes, o N tem sido responsável pelo aumento do seu rendimento, sendo seu efeito influenciado também por outros fatores, como genotípicos e ambientais. Trabalhos têm demonstrado o efeito da adubação nitrogenada sobre a produtividade de espigas para consumo verde. Silva et al. (2000) encontraram produtividade máxima de 11,7 t ha^{-1} de espigas verdes comerciais com palha com a aplicação de 151 kg ha^{-1} de N. Com adubação nitrogenada de 120 kg parcelada aos 25 e 45 dias, Silva & Silva (2003) obtiveram produtividade de 10,9 t ha^{-1} de espigas empalhadas. Por sua vez, produtividade mais elevada, da ordem de 21,4 t ha^{-1} de espigas verdes com palha, foi obtida por Cardoso et al. (2010), com a aplicação de 160 kg ha^{-1} de N.

Para comercialização, atendendo às exigências do mercado consumidor, as espigas devem ser, entre outras características, grandes, cilíndricas e bem empalhadas. No que se refere ao papel do N no peso delas, Cardoso et al. (2010) verificaram que a adubação nitrogenada propiciou espiga verde por planta mais pesada, sendo a resposta quadrática, com peso máximo por espiga com palha de 445 g e de 298 g para espiga sem palha.

2.4. Adubação fosfatada na cultura do milho

Os fertilizantes fosfatados são derivados da rocha fosfática, na forma de ácido fosfórico, que é obtido pela reação da rocha com ácido sulfúrico. Estados Unidos, Marrocos e a Índia são os maiores produtores mundiais de rocha fosfática, sendo responsáveis por aproximadamente 60% da produção mundial. Os maiores produtores de ácido sulfúrico são Estados Unidos, China, Marrocos e Rússia, que juntos são responsáveis por cerca de 50% da produção mundial (Ministério da Fazenda, 2011).

Aproximadamente 50% da demanda interna de fósforo no Brasil é atendida pela produção nacional. Existem jazidas operantes em Minas Gerais, Goiás e São Paulo. O restante da demanda é atendida por Rússia, Marrocos, Estados Unidos, Israel e Tunísia, através de ácido fosfórico. O país possui jazidas suficientes para suprir a demanda nacional, no entanto, ainda é preciso identificar e dimensionar a capacidade dessas jazidas (Ministério da Fazenda, 2011).

O fósforo (P) desempenha papel fundamental na conservação e transferência de energia no metabolismo celular das plantas, sendo um dos nutrientes aplicados em maiores quantidades nos solos brasileiros, apesar de requerido em menores quantidades que o nitrogênio ou o potássio (Novais & Smith, 1999). Ainda de acordo com os autores, isso é consequência de sua baixa disponibilidade natural na maioria dos solos brasileiros, visto que, a maior parte dos solos do país são Latossolos e Argissolos, onde predominam na fração argila a caulinita, os óxidos de ferro e de alumínio, os quais têm alto poder de adsorção, e de sua alta capacidade de adsorção e precipitação. Essa característica, aliada à necessidade de níveis adequados do nutriente no solo para se obter altas produtividades, tornam o fósforo um dos fatores mais limitantes da produção em solos tropicais, sendo, portanto, imprescindível para a obtenção de produtividades satisfatórias (Raij, 1991).

Baixos teores de fósforo nos solos brasileiros são relatados por Silveira (1986), em vários solos do Nordeste, por Klepker & Anghinoni (1995) para o Rio Grande do Sul, Caires et al. (1999) para o Paraná, Bull et al. (1998) para São Paulo

e por Amabile et al. (1999) para Goiás. Segundo Oliveira et al. (1982) a baixa disponibilidade de P nesses solos tem limitado, com frequência, respostas na produção do milho.

Na região semiárida, apesar dos solos serem mais jovens, os baixos teores do elemento são limitantes ao alcance de maior produtividade (Sampaio et al., 1995), sendo especialmente grave pelo fato do nutriente se deslocar no solo por difusão e necessitar de altos teores de P disponíveis associados à adequada umidade para fornecer as quantidades de nutrientes necessárias à obtenção das altas produtividades nas culturas em geral (Novais & Smith, 1999) e, em particular, na cultura do milho. Em condição de sequeiro, secas e/ou veranicos a produtividade é comprometida. Sob condições irrigadas, são os baixos teores no solo que diminuem o potencial produtivo da cultura, já que o movimento dos íons no solo é facilitado.

A deficiência de P proporciona redução no crescimento da parte aérea através da limitação do número e da expansão das folhas, ramificação, redução na taxa de assimilação de carbono e da senescência prematura das folhas, limitando assim a futura produção de grãos (Marschner, 1995). Os sintomas de deficiência de P incluem coloração verde-escura nas folhas mais velhas e, em algumas espécies, colorações avermelhadas em consequência da acumulação de antocianina. Ocorre ainda, menor perfilhamento, atraso no florescimento, gemas laterais dormentes, número reduzido de frutos e sementes, e pequena nodulação em leguminosas (Malavolta, 1997).

A adubação fosfatada aumenta a eficiência do nitrogênio absorvido o qual se une às cadeias carbonadas, incrementando, assim, a formação de novos tecidos, consequentemente, a longevidade das folhas fotossinteticamente ativas, as quais sob condições ambientais favoráveis, elevam a eficiência do uso da radiação solar, aumentando, portanto, o acúmulo de matéria seca e produção de grãos (Taiz & Zeiger, 2004). Essa interação entre N e P na nutrição de algumas culturas é conhecida há muito tempo pela literatura. Bull (1993), relata alguns casos mostrando o efeito da interação entre estes elementos. O maior efeito dessa interação é o do aumento da absorção de P quando este nutriente é aplicado juntamente com fontes de nitrogênio amoniacais (Hanway & Olson, 1980).

Segundo Khamprath (1987), a adição de fertilizantes nitrogenados promove o aumento da absorção de P, mesmo em solos com níveis elevados de fósforo, nos quais a adição do ultimo tem pouco efeito.

Alves et al. (1999), observam que, a separação espacial do N e do P pode resultar em menor acúmulo dos mesmos na parte aérea. De acordo com Lee et al., 1992 e Alves et al., 1998, a deficiência de P pode induzir a de N, principalmente pela redução nas taxas de absorção de nitrato. Ainda segundo os autores, ao lado do nitrogênio a deficiência do fósforo limita a produtividade do milho, cuja cultura é mais exigente a fósforo por ocasião da formação e desenvolvimento dos grãos, contribuindo para a formação de espigas mal-formadas, tortas e com falhas, maturação retardada e desuniforme.

As doses de fósforo em adubação de manutenção, em geral, influenciaram, significativamente, a produção de grãos de milho (Neptune et al., 1982; Souza et al., 1998). Lucena et al. (2000) verificaram incremento na produtividade de grãos de milho até a doses de 197 kg ha^{-1} de P_2O_5, aplicada no sulco de semeadura. Por sua vez, Prado et al. (2001) observaram aumento linear na produtividade de grãos, com o aumento das doses de fósforo (0 kg ha^{-1}; 45,0 kg ha^{-1}; 67,5 kg ha^{-1}; 90,0 kg ha^{-1}; 112,5 kg ha^{-1}; e 135,0 kg ha^{-1} de P_2O_5), aplicadas tanto em sulco simples como em sulco duplo. Já Fornasiere Filho (1992) referencia efeito positivo da aplicação do fósforo a lanço, em doses mais elevadas (160 kg ha^{-1} e 320 kg ha^{-1} de P_2O_5), na produção de grãos e de palha de milho, porém, Muzilli (1982) encontrou, para o Estado do Paraná, resposta do milho ao fósforo até a dose de 120 kg ha^{-1} de P_2O_5, aplicada a lanço.

2.5. Exigência nutricional da cultura do milho

A produção agrícola está diretamente relacionada com a disponibilidade dos nutrientes, que em determinada condição depende, além das formas químicas em que o mesmo se encontra no solo, da capacidade de absorção da cultura, do desenvolvimento do sistema radicular, do tempo de crescimento e, ainda, das condições climáticas e da disponibilidade de outros nutrientes (Pereira, 2011).

As necessidades nutricionais de qualquer planta são determinadas pela quantidade de nutrientes que esta extrai durante o seu ciclo. Esta extração total dependerá, portanto, do rendimento obtido e da concentração de nutrientes nos grãos e na palhada. Assim, tanto na produção de grãos como na de silagem será necessário colocar à disposição da planta a quantidade total de nutrientes que esta extrai, que devem ser fornecidos pelo solo e por meio de adubações. A extração de nitrogênio, fósforo, potássio, cálcio e magnésio pela cultura do milho aumenta linearmente com o aumento da produtividade (Tabela 1), sendo que a maior exigência da cultura refere-se a nitrogênio e potássio, seguindo-se cálcio, magnésio e fósforo (Malavolta, 2006). Ainda segundo os autores, o fósforo é quase todo translocado para as sementes (80 a 90%), seguindo-se o nitrogênio (75%), o enxofre (60%), o magnésio (50%), o potássio (20-30%) e o cálcio (10-15%). Isso implica que a incorporação dos restos culturais do milho devolve ao solo grande parte dos nutrientes, principalmente potássio e cálcio, contidos na palhada.

Com relação aos micronutrientes, da mesma forma que verificado para os macronutrientes, deve-se levar em conta o acúmulo e a exportação deles pelas culturas. Esse aspecto é ainda mais relevante, quando se pensa em seguir a estratégia de reposição desses nutrientes ao solo. O acúmulo e a exportação de micronutrientes, tomando por base vários trabalhos desenvolvidos no Brasil para a cultura do milho, são apresentados na Tabela 2. Os valores correspondentes ao acúmulo referem-se à quantidade do nutriente contida na parte aérea da cultura, enquanto os valores da exportação representam a quantidade do nutriente contida nos grãos.

Tabela 1 - Extração média de nutrientes pela cultura do milho destinada à produção de grãos e silagem em diferentes níveis de produtividade

Tipo de exploração	Produtividade	Nutrientes extraídos				
		N	P	K	Ca	Mg
	----- t ha^{-1} ----	---------- kg ha^{-1} ----------				
Grãos	3,65	77	9	83	10	10
	5,80	100	19	95	7	17
	7,87	167	33	113	27	25
	9,17	187	34	143	30	28
	10,15	217	42	157	32	33
Silagem (matéria seca)	11,60	115	15	69	35	26
	15,31	181	21	213	41	28
	17,13	230	23	271	51	31
	18,65	231	26	259	58	32

Fonte: Malavolta, 2006.

Tabela 2 - Acúmulo e exportação de micronutrientes pela cultura do milho destinada à produção de grãos

Acúmulo	B	Cu	Zn	Mn	Fe	Mo
	---------- mg kg^{-1} ----------					
Total acumulado	18,0	10,0	48,4	42,8	235,7	1,0
Exportação	3,2	1,2	27,6	6,1	11,6	0,6

Fonte: Pauletti (2004); Abreu et al. (2007).

Entre as necessidades cruciais para a expressão máxima do potencial produtivo, destaca-se o estado nutricional da planta. Para a cultura do milho, teores foliares de nutrientes considerados adequados (níveis crítico), onde são considerados os níveis nutricionais de amostras de população de plantas de alta produtividade estão descritos na Tabela 3.

Tabela 3 – Valores de referência dos teores foliares de nutrientes considerados adequados para a cultura do milho

Macronutrientes	Teor (g kg^{-1})	Micronutrientes	Teor (mg kg^{-1})
Nitrogênio	28 – 35	Boro	15 – 20
Fósforo	2,5 – 4,0	Cobre	6 – 20
Potássio	17 – 30	Ferro	21 – 250
Cálcio	2,1 – 5,0	Manganês	20 -150
Magnésio	2,1 – 4,0	Molibdênio	0,3
Enxofre	1,0 – 2,4	Zinco	20 – 40

Fonte: Malavolta (2006).

2.6. Recomendação de adubação nitrogenada e fosfatada para a cultura do milho

As recomendações de corretivos e fertilizantes no Brasil têm sido feitas mediante a utilização de tabelas publicadas em vários Estados ou regiões do país (Comissão Estadual de Fertilidade do Solo, 1989; Universidade Federal do Ceará, 1993; Raij et al., 1997; Cavalcanti et al., 1998; Ribeiro et al., 1999; Sousa & Lobato, 2004 e Comissão de Química e Fertilidade do Solo - CQFSRS/SC, 2004). Para a produção de 6 a 8 t ha^{-1} de grãos de milho, as principais tabelas de recomendação de adubação em uso no país recomendam: (Raij et al., 1997) de 70 à 120 kg ha^{-1} de N e 30 a 90 kg ha^{-1} de P_2O_5; (Ribeiro et al., 1999) de 110 à 120 kg ha^{-1} de N e 50 a 100 kg ha^{-1} de P_2O_5; (Sousa & Lobato, 2004) 80 kg ha^{-1} de N e 30 à 60 kg ha^{-1} de P_2O_5; (Comissão de Química e Fertilidade do Solo - CQFSRS/SC, 2004) de 30 à 90 kg ha^{-1} de N e 0 à 125 kg ha^{-1} de P_2O_5; (Universidade Federal do Ceará, 1993) 90 kg ha^{-1} de N e 40 à 90 kg ha^{-1} de P_2O_5; (Cavalcanti et al., 1998) 90 kg ha^{-1} de N e 20 à 80 kg ha^{-1} de P_2O_5 e (Comissão Estadual de Fertilidade do Solo, 1989) 90 kg ha^{-1} de N e 20 à 80 kg ha^{-1} de P_2O_5 (Tabela 4).

Pelo exposto e de acordo com a Tabela 4, percebe-se que as doses de N e de P_2O_5 variam muito de acordo com a tabela de recomendação de adubação, com a produtividade esperada da cultura e com o tipo de solo, pois os solos variam

quanto aos teores de P disponível e quanto à capacidade máxima de adsorção de fosfato. Isso mostra que a importância de realizar experimentos de adubação nas diferentes regiões produtoras de milho do país, tendo em vista a elaboração de recomendações de adubação nitrogenada e fosfatada para essa cultura com base em resultados de pesquisas regionais. Esses experimentos devem definir as doses de N e de P_2O_5 relacionadas com a produtividade máxima econômica das culturas, bem como a definição dos níveis críticos de P no solo e na planta e do nível crítico de N na planta (Cantarutti et al., 2007).

A determinação de níveis críticos e das doses recomendáveis de nutrientes a serem adicionadas ao solo é de vital importância para uso racional de fertilizantes. Devido ao uso de doses excessivas de fertilizantes, os cultivares desenvolvidos pelos programas de melhoramento de plantas são voltados exclusivamente para altas produtividades em ambientes favoráveis, ou aplicando altas doses de insumos que, de forma geral, não são utilizados eficientemente (Clarkson & Hawkesford, 1993; Parentoni, 2008). O uso indiscriminado de fertilizantes em altas doses causa grande impacto ambiental, podendo contaminar os mananciais hídricos, fato já verificado para N e P em áreas de agricultura intensiva (Parentoni, 2008).

Embora existam algumas tabelas de recomendação de adubação nitrogenada e fosfatada para a cultura do milho em uso no país (Tabela 4), a adubação dessa cultura precisa ser melhorada em alguns estados do Brasil, principalmente nos estados do Nordeste, a exemplo do Estado do Rio Grande do Norte onde não existe nenhum manual de recomendação de adubação para as culturas em geral e nem para a cultura do milho, em particular.

Tabela 4 – Valores médios de recomendações de adubação nitrogenada e fosfatada para a cultura do milho em diferentes Estados e regiões do Brasil

Recomendação	N			P_2O_5 [1]
	Plantio	Cobertura	Total	Plantio
	---------- kg ha^{-1} ----------			---- kg ha^{-1} ---
SP [1]	30	40 – 90	70 – 120	30 – 90
MG [2]	10 – 20	100	110 – 120	50 – 100
Cerrado [2]	80	0	80	30 – 60
RS e SC [3]	30 – 90	0	30 – 90	0 – 125
CE [4]	30	60	90	40 – 90
PE [4]	30	60	90	20 – 80
BA [4]	30	60	90	20 – 80
Média	39	69	89	58

Fonte: Raij et al. (1997); Ribeiro et al. (1999); Sousa & Lobato (2004); Comissão de Química e Fertilidade do Solo - CQFSRS/SC, 2004; Universidade Federal do Ceará (1993); Cavalcanti et al. (1998) e Comissão Estadual de Fertilidade do Solo (1989). [1] A dose de N varia em função da produtividade esperada e a dose de P_2O_5 varia em função da produtividade esperada e do teor do nutriente extraído pela resina; [2] A dose de N varia em função da produtividade esperada e a dose de P_2O_5 varia em função da produtividade esperada e da disponibilidade P no solo; [3] A dose de N varia em função do teor de matéria orgânica do solo e da cultura antecedente e a dose de P_2O_5 varia em função da disponibilidade P no solo e do número de cultivos do solo; [4]A dose de P_2O_5 varia de acordo com o teor de P no solo; ( )*: Média dos dois valores.

Para o Estado de São Paulo, a adubação nitrogenada leva em conta a produtividade esperada da cultura (2 a 12 t ha^{-1}) e a classe de resposta esperada ao nitrogênio, em alta, média e baixa, assim, em termos médios, a recomendação de adubação varia de 62 a 114 kg ha^{-1} de N. As doses de P a serem aplicadas variam em função do teor do nutriente no solo (0 a > 40 mg dm^{-3}), de modo geral, a recomendação de adubação varia de 34 a 77 kg ha^{-1} de P_2O_5. O nitrogênio deve ser parcelado em duas coberturas, sendo uma realizada 25-30 dias após a germinação das plantas e o restante cerca de 15-20 dias depois (Raij et al., 1997).

Assim como verificado para o Estado de São Paulo, no Estado de Minais Gerais (Ribeiro et al., 1999), a recomendação de adubação nitrogenada do milho é realizada em função da produtividade esperada da cultura (4-6, 6-8 e > 8 t ha^{-1}). Assim, recomenda-se aplicar de 10-20 kg ha^{-1} de N no plantio independente da

produtividade esperada e 60 kg ha^{-1} de N em cobertura para uma produtividade de 4-6 t ha^{-1}, 100 kg ha^{-1} de N em cobertura para uma produtividade de 6-8 t ha^{-1} e 140 kg ha^{-1} de N em cobertura para uma produtividade > 8 t ha^{-1}. A adubação nitrogenada em cobertura deve ser feita quando as plantas apresentarem de seis a oito folhas bem desenvolvidas. As doses de P a serem aplicadas também vão variar em função da produtividade esperada (4-6, 6-8 e > 8 t ha^{-1}) e da disponibilidade do nutriente no solo em (baixa, média e boa). Assim, para obtenção de produtividades de 4-6 t ha^{-1}, 6-8 t ha^{-1} e maior que 8 t ha^{-1}, recomenda-se aplicar 80, 60 e 30 kg ha^{-1} de P_2O_5, 100, 80 e 50 kg ha^{-1} de P_2O_5 e 120, 100 e 70 kg ha^{-1} de P_2O_5, para as disponibilidades de P no solo baixa, média e alta, respectivamente.

Segundo Sousa & Lobato (2004), a adubação da cultura do milho na região do Cerrado brasileiro deve ser realizada em função da expectativa de produtividade. Na adubação de semeadura, recomenda-se aplicar 30 kg ha^{-1} de N independente da produtividade esperada. Na adubação de cobertura, recomenda-se aplicar 40 kg ha^{-1} de N quando a produtividade esperada for de 6 t ha^{-1}, 70 kg ha^{-1} de N quando a produtividade esperada for de 8 t ha^{-1}, 130 kg ha^{-1} de N quando a produtividade esperada for de 10 t ha^{-1} e 180 kg ha^{-1} de N quando a produtividade esperada for de 12 t ha^{-1}. O N deve ser parcelado em duas coberturas, 50% quando as plantas apresentarem de 4 a 6 folhas e 50% quando apresentarem de 8 a 10 folhas. Para o fósforo, quando sua disponibilidade no solo for adequada, recomenda-se aplicar 60, 80, 100 e 120 kg ha^{-1} de P_2O_5 quando as produtividades esperadas forem respectivamente, 6, 8, 10 e 12 t ha^{-1}. Quando sua disponibilidade no solo for alta, recomenda-se aplicar 30, 40, 50 e 60 kg ha^{-1} de P_2O_5 para obtenção de produtividades esperadas de 6, 8, 10 e 12 t ha^{-1}, respectivamente.

Para os Estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina, (Comissão de Química e Fertilidade do Solo - CQFSRS/SC, 2004) a adubação nitrogenada leva em conta a produtividade esperada da cultura (4 a 8 t ha^{-1}), o teor de matéria orgânica do solo (≤ 2,5; 2,5-5,0 e > 5,0) e a cultura antecedente (leguminosa, consorciação ou pousio e gramínea). Assim, se a expectativa de produtividade é de 4 t ha^{-1}, o teor de matéria orgânica no solo é ≤ 2,5 e a cultura antecedente foi uma

leguminosa, recomenda-se aplicar 70 kg ha^{-1} de N, se a cultura antecedente resultou de um consórcio ou a área estava em pousio, recomenda-se aplicar 80 kg ha^{-1} de N e, se a cultura antecedente foi uma gramínea, recomenda-se aplicar 90 kg ha^{-1} de N. Se o teor de matéria orgânica estiver na faixa entre 2,6-5,0 e as culturas antecedentes tenham sido leguminosa, consorciação ou se pousio e gramínea recomenda-se aplicar respectivamente em função das culturas antecedentes 50, 60 e 70 kg ha^{-1} de N e, se o teor de matéria orgânica é > 5 as doses recomendadas serão respectivamente, em função das culturas antecedentes (leguminosa, consorciação ou pousio e gramínea) ≤ 30, ≤ 40 e ≤ 50. Para uma expectativa de rendimento maior do que 4 t ha^{-1}, recomenda-se acrescentar aos valores acima 15 kg ha^{-1} de N, por toneladas adicional de grãos a serem produzidos. O N deve ser parcelado em duas coberturas, sendo uma realizada 15 dias após a germinação das plantas e o restante 30 dias depois. As doses de P a serem aplicadas vão variar em função da disponibilidade do nutriente no solo (muito baixo, baixo, médio, alto e muito alto) e do número de cultivo do solo (1º cultivo e 2º cultivo). De modo geral, independente da disponibilidade de P no solo, a recomendação de adubação varia de 57 kg ha^{-1} de P_2O_5 para o 2º cultivo a 66 kg ha^{-1} de P_2O_5 para o 1º cultivo.

Para o Estado do Ceará, (Universidade Federal do Ceará, 1993) recomenda aplicar de 90 kg ha^{-1} de N. A adubação de cobertura deve ser dividida em duas parcelas iguais, sendo uma realizada aos 25 dias após o plantio e o restante aos 40 dias após o plantio. Para o P, a recomendação é aplicar 90 kg ha^{-1} de P_2O_5 no plantio, quando o solo tiver até 10 mg dm^{-3} de P, 60 kg ha^{-1} de P_2O_5 quando o solo apresentar entre 11 e 20 mg dm^{-3} e 40 kg ha^{-1} de P_2O_5 quando o teor de P no solo for superior a 20 mg dm^{-3}.

No estado de Pernambuco, (Cavalcanti et al., 1998) recomenda a aplicação de 30 kg ha^{-1} de N no plantio e 60 kg ha^{-1} de N em cobertura. Se o solo for arenoso, deve-se parcelar a adubação nitrogenada de cobertura em duas aplicações, a primeira 15 dias após a germinação e a outra, quando a planta apresentar oito folhas. Caso contrário, o nitrogênio pode ser aplicado de uma só vez quando a planta apresentar seis folhas. Para o P, a recomendação é aplicar 80

kg ha^{-1} de P_2O_5 no plantio, quando o teor de P do solo for menor que 6 mg dm^{-3}, 60 kg ha^{-1} de P_2O_5 quando o solo apresentar entre 6 e 10 mg dm^{-3}, 40 kg ha^{-1} de P_2O_5 quando o solo apresentar entre 11 e 20 mg dm^{-3} e, 20 kg ha^{-1} de P_2O_5 quando o teor de P no solo for superior a 20 mg dm^{-3}.

No Estado da Bahia, a Comissão Estadual de Fertilidade do Solo (1989) recomenda aplicar 30 kg ha^{-1} de N no plantio e 60 kg ha^{-1} de N aos 30 a 35 dias após a emergência das plantas. Para o P, recomenda-se aplicar 80 kg ha^{-1} de P_2O_5 quando o teor de P disponível no solo for até 5 mg dm^{-3}; 60 kg ha^{-1} de P_2O_5 se o teor de P disponível for de 6 a 20 mg dm^{-3}, 40 se o teor de P disponível for de 11 a 20 mg dm^{-3} e apenas 20 kg ha^{-1} de P_2O_5 se o teor de P disponível no solo variar de 21 a 40 mg dm^{-3}.

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1. Descrição geral das áreas experimentais

Foram conduzidos dois experimentos de campo na Chapada do Apodi no ano agrícola de 2010, sendo um na cidade de Baraúna-RN e outro na cidade de Mossoró. O experimento de Baraúna-RN foi realizado em uma propriedade particular de produtor rural, distante 45 km da sede do município de Mossoró-RN, com as seguintes coordenadas geográficas: 5°04'48'' de latitude sul, 37°37'00'' de longitude oeste e altitude de 94 m, em um Cambissolo Háplico, eutrófico, de argilosa, derivado de calcário e relevo plano (EMBRAPA, 2006). O experimento de Mossoró foi realizado na Fazenda Experimental Rafael Fernandes pertencente à Universidade Federal Rural do Semi-Árido, distante 20 km da sede do município de Mossoró-RN, com as seguintes coordenadas geográficas: 5°03'40'' de latitude sul, 37°23'51'' de longitude oeste e altitude de 72 m, em um Argissolo Vermelho Amarelo, eutrófico, textura franco-arenosa e relevo plano (EMBRAPA 2006), sendo ambos os experimentos conduzidos em áreas que não vinham sendo adubadas a pelo menos cinco anos e que se apresentavam sob vegetação espontânea.

No período de condução do experimento de campo em Baraúna a precipitação pluvial registrada foi de 332,9 mm. Os valores médios das temperaturas (ºC) média, máxima e mínima, umidade relativa do ar (%) e radiação global total (mj m^{-2} dia^{-1}) foram: 28,8; 34,5; 22,9; 71 e 19,5, respectivamente. No experimento de Mossoró a precipitação pluvial registrada foi de 25,7 mm. Os valores médios das temperaturas (ºC) média, máxima e mínima, umidade relativa do ar (%) e radiação global total (mj m^{-2} dia^{-1}) foram: 28,7; 35,5; 21,8; 56 e 21,3, respectivamente.

As características químicas e físicas dos solos das áreas experimentais antes da implantação dos experimentos de Baraúna e de Mossoró, determinadas analiticamente, encontram-se dispostos na Tabela 5.

Tabela 5 – Características químicas e físicas dos solos das áreas experimentais antes da implantação dos experimentos, avaliadas na camada de 0-20 cm

pH	MO	N_{total}	P	K^+	Na^+	Ca^{2+}	Mg^{2+}	Al^{3+}	(H+Al)	Areia	Silte	Argila
H_2O	g kg^{-1}	g kg^{-1}	------- mg dm^{-3} -------			---------- $cmol_c$ dm^{-3} ----------				---------- g kg^{-1} ----------		
---------- Cambissolo ----------												
6,8	11	1,10	3,8	304	15,0	7,1	3,5	0,00	0,66	199	310	491
---------- Argissolo ----------												
5,5	3	0,35	6,2	65	18,8	1,2	1,3	0,05	0,33	806	54	140

Fonte: Dados obtidos na pesquisa (2010).

A região onde os experimentos foram instalados apresenta precipitação pluvial média anual de 695,85 mm, temperatura média anual em torno de 27,4ºC, umidade relativa média anual do ar de 70% e vegetação predominante Caatinga Hiperxerófila (CPRM, 2005).

3.2. Delineamento experimental e tratamentos

O delineamento experimental utilizado em ambos os experimentos 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}), mais um tratamento com ausência de N e de P_2O_5 (testemunha) obtendo-se 17 tratamentos (Tabela 6) e totalizando 68 parcelas. 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.

Para ambos os experimentos, as duas linhas centrais descartando-se 0,5 m em cada extremidade, foram consideradas como área útil da parcela onde foram feitas as avaliações, sendo que, em uma dessas linhas centrais foram feitas todas as avaliações relacionadas ao milho verde, bem como a altura de plantas, a altura da inserção de espigas, o diâmetro do colmo e a matéria seca. Na outra linha central foram feitas as avaliações relacionadas ao rendimento de grãos e componentes de produção.

Tabela 6 – Doses de nutrientes aplicadas em cada tratamento, em ambos os experimentos (Baraúna-RN e Mossoró-RN), para avaliação da produção de milho verde e de milho grãos

Tratamento	**N**	**P_2O_5**	**K_2O**	**S**	**B**	**Zn**	**Cu**
	---------- kg ha^{-1} ----------						
Testemunha	**0**	**0**	75	30	1,0	3,0	0,5
1	**30**	**30**	75	30	1,0	3,0	0,5
2	**30**	**60**	75	30	1,0	3,0	0,5
3	**30**	**90**	75	30	1,0	3,0	0,5
4	**30**	**120**	75	30	1,0	3,0	0,5
5	**60**	**30**	75	30	1,0	3,0	0,5
6	**60**	**60**	75	30	1,0	3,0	0,5
7	**60**	**90**	75	30	1,0	3,0	0,5
8	**60**	**120**	75	30	1,0	3,0	0,5
9	**90**	**30**	75	30	1,0	3,0	0,5
10	**90**	**60**	75	30	1,0	3,0	0,5
11	**90**	**90**	75	30	1,0	3,0	0,5
12	**90**	**120**	75	30	1,0	3,0	0,5
13	**120**	**30**	75	30	1,0	3,0	0,5
14	**120**	**60**	75	30	1,0	3,0	0,5
15	**120**	**90**	75	30	1,0	3,0	0,5
16	**120**	**120**	75	30	1,0	3,0	0,5

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 plantas. As doses dos demais nutrientes foram aplicadas na semeadura e foram constantes para todos os tratamentos (Tabela 6). As doses de N e K_2O foram fornecidas por meio dos fertilizantes uréia (semeadura) e sulfato de amônio (cobertura) e cloreto de potássio, respectivamente, e para o fornecimento de P foi utilizado o superfosfato triplo. As fontes de B, Zn e Cu foram o ácido bórico, sulfato de zinco e sulfato de cobre, respectivamente.

3.3. Operações de cultivo

O sistema de preparo do solo realizado foi o sistema convencional, caracterizado por uma aração e duas gradagens niveladoras. A semeadura do milho no experimento de Baraúna foi realizada no dia 19/03/2010 e no experimento de Mossoró no dia 01/07/2010, semeando-se as sementes no sulco de plantio manualmente na profundidade de 0,5 m.

Para ambos os experimentos, o cultivar utilizado foi o AG 1051 (hibrido duplo, semiprecoce, grão amarelo e dentado, altura média da espiga de 1,60 m e altura média da planta de 2,60 m, desenvolvido para produção de espigas verdes e silagem, além de proporcionar bons resultados como milho grão) (Aguiar et al., 2008; Sementes Agroceres, 2012). Devido aos frequentes veranicos que ocorrem na região, os experimentos contaram 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. A lâmina suplementar de irrigação para cada experimento foi obtida pelo balanço hídrico, considerando-se a precipitação pluvial e a evapotranspiração da cultura (Etc).

Os tratos culturais adotados durante a condução dos experimentos foram de acordo com Cruz et al. (2006). O controle de plantas daninhas foi realizado por capinas manuais com enxada, realizadas sempre que necessário desde o plantio até os 40 dias após e semeadura e por meio da aplicação do herbicida Atrazina (500 g l^{-1}) na dose de 4,5 L ha^{-1}, aplicado em pré-emergência das plantas daninhas. Quando necessário realizou-se também a aplicação de inseticidas específicos para o controle da lagarta do cartucho (*Spodoptera frugiperda* J. E. Smith).

3.4. Avaliações

Todas as variáveis descritas a seguir foram de igual modo avaliadas em ambos os experimento (Baraúna e Mossoró).

3.4.1. Rendimento de espigas verdes

O milho verde foi colhido no estádio fenológico R3 aos 68 dias após a emergência das plântulas quando os grãos apresentavam teor de água entre 70 e 80%.

As variáveis mensuradas foram dadas pelo número de plantas em dois metros lineares dentro da área útil da parcela, onde avaliou-se o número e peso totais de espigas, o número e peso de espigas comercializáveis, empalhadas e despalhadas. O número e o peso de espigas foram estimados com base, respectivamente, na contagem e na pesagem das espigas colhidas. O número de espigas empalhadas comercializáveis, peso de espigas empalhadas comercializáveis, número de espigas despalhadas comercializáveis e peso de espigas despalhadas comercializáveis foram avaliadas manualmente com o auxílio de balança comercial com precisão de 5 gramas (Silva et al., 2003). Como espigas verdes empalhadas comercializáveis foram consideradas aquelas com aparência adequada à comercialização, isto é, sem evidências aparentes do ataque de pragas e com comprimento superior a 0,19 m. Como espigas despalhadas comercializáveis foram consideradas aquelas com aparência adequada à comercialização, isto é, bem granadas, não atacadas por pragas e com comprimento superior a 0,12 m.

3.4.2. Rendimento de grãos e componentes de produção

A colheita do milho seco foi realizada aos 112 dias após a semeadura, quando os grãos apresentavam um teor de umidade em torno de 20%. Foram avaliados o número de espigas ha^{-1} (estimada com base nas espigas colhidas em quatro metros lineares dentro da área útil da parcela), o diâmetro de espigas

(utilizando-se um paquímetro graduado em milímetros) e o comprimento de espigas (feito com o auxilio de uma trena, medindo-se as espigas longitudinalmente). Além destes, foram avaliados o número de fileiras nas espigas (dado pela contagem do número de fileiras das espigas colhidas em quatro metros lineares dentro da área útil da parcela), a massa de 100 grãos (dado pela pesagem ao acaso de quatro amostras de 100 grãos), tendo-se em seguida suas massas ajustadas para 13% de umidade e a produtividade de grãos (estimada com base nas espigas colhidas em quatro metros lineares dentro da área útil da parcela) mediante pesagem, e expressa em toneladas por hectare, ajustadas para 13% de teor de umidade.

3.4.3. Altura de plantas e da inserção de espigas, diâmetro do colmo e matéria seca

Por ocasião da colheita das espigas verdes, foram avaliados em dois metros lineares dentro da área útil da parcela, a altura de plantas (dada com o auxílio de uma trena, medindo-se do nível do solo ao ponto de inserção da lâmina foliar mais alta), a altura da inserção de espigas (dada o com o auxilio de uma trena, medindo-se a distância do nível do solo ao nó de inserção da primeira espiga), o diâmetro do colmo (medido no primeiro entrenó da planta, utilizando-se um paquímetro graduado em milímetros) e a matéria seca (sendo a fitomassa vegetal coletada, pesada, sub-amostrada e seca em estufa a 65ºC até peso constante, determinando-se a seguir a produção de fitomassa seca).

3.4.4. Análises de solo e de tecido vegetal

Aos 45 dias após a emergência das plântulas foram coletadas amostras compostas de solo na profundidade de 0 a 0,20 m, com trado holandês (0,12 m de diâmetro) na área útil de cada parcela, para quantificação dos teores de N total (Tedesco et al., 1995) e P disponível pelo extrator Mehlich^{-1} (Embrapa, 1997). Para composição de uma amostra composta, foram coletadas 12 amostras simples nas

duas fileiras centrais de cada parcela, sendo, duas amostras simples no sulco de plantio, quatro amostras simples a 0,10 m do sulco e seis amostras simples no ponto médio entre os sulcos, de acordo com recomendação de Oliveira et al. (2007).

Por ocasião do aparecimento da inflorescência feminina (embonecamento), em 12 plantas da área útil de cada parcela, foram coletados o terço basal da folha oposta e abaixo da primeira espiga (superior), excluída a nervura central (Coelho, 2006) para determinação dos teores de N e de P na folha, seguindo-se procedimentos analíticos descritos em Tedesco et al. (1995).

Todas as análises químicas de solo foram realizadas no Laboratório de Fertilidade do Solo e Nutrição de Plantas da Universidade Federal Rural do Semi-Árido (UFERSA). As análises de planta foram realizadas no Laboratório de Nutrição Mineral de Plantas da Universidade Federal de Viçosa - (UFV).

3.4.5. Análises estatísticas

Os dados foram submetidos à análise de variância e de regressão linear múltipla (superfície de resposta). As médias de cada tratamento foram ajustadas por um modelo de regressão linear múltipla considerando-se as doses de N e de P como variáveis independentes:

$$Y = a + bN + cN^2 + dP + eP^2 + fNP$$

Onde Y é a variável dependente, N as doses de Nitrogênio (kg ha^{-1}) e P as doses de P_2O_5 (kg ha^{-1}). Após o ajuste deste modelo completo, foram descartados os coeficientes com significância superior a 10%, ajustando-se um novo modelo mais simples apenas com os parâmetros com contribuição significativa para o modelo. Essas análises foram efetuadas com o software SAEG, sendo que os coeficientes dos modelos de regressão ajustados foram testados pelo teste t, utilizando-se como erro experimental o quadrado médio do resíduo da análise de variância geral do experimento (Ribeiro Júnior, 2001). Após esses procedimentos

foram desenhadas superfícies de resposta para cada característica avaliada, utilizando-se o programa Sigma Plot 9.0.

3.4.6. Análise econômica da adubação para a produção de milho verde e de grãos

De posse dos valores das produtividades de espigas verdes e de grãos estimados pelos modelos de regressão, foi realizada a análise econômica da adubação dos experimentos, onde foram calculados a receita bruta, os custos com fertilizantes e a receita líquida. Para realização dessa análise econômica, foram considerados os custos dos fertilizantes que variou em função da combinação das doses dos mesmos e o preço do milho verde e de grãos. No cálculo do custo do fertilizante, não foi considerado o custo operacional de sua aplicação 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 a produção estimada pelo modelo de regressão ajustado e o preço do milho verde e do milho grãos.

Na propriedade agrícola, 1 kg de espigas empalhadas comercializáveis foi cotado a R$ 0,72, em junho de 2012 e um saco de milho com 60 kg a R$ 34,00. Para calcular os custos com fertilizantes, foi utilizado o custo dos fertilizantes empregados na adubação dos experimentos, tendo um saco de 50 kg de superfosfato triplo o custo de R$ 53,00, o de uréia R$ 94,00 e o sulfato de amônio R$ 47,50. Com isso, o custo de 1 kg de P_2O_5 via superfosfato triplo custa R$ 2,52, 1 kg de N via uréia, custa R$ 4,18 e 1 kg de N via sulfato de amônio custa R$ 4,75. Para calcular o custo da adubação nitrogenada, considerou-se que 20% da dose de N foi aplicada via uréia e 80% via sulfato de amônio. Com base nessas informações e nos valores das doses de N e de P aplicadas, calculou-se o custo da adubação. A receita líquida foi calculada através da diferença entre a receita bruta e os custos com fertilizantes.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. Experimento conduzido no município de Baraúna-RN

4.1.1. Rendimento e características das espigas de milho verde

a) Número total de espigas, número de espigas empalhadas comercializáveis e número de espigas despalhadas comercializáveis

Houve efeito significativo de tratamentos para o número de espigas empalhadas comercializáveis e nenhum modelo de regressão se ajustou aos dados de número total de espigas, número de espigas empalhadas comercializáveis e número de espigas despalhadas comercializáveis (Tabela 7). Para os números de espigas empalhadas e despalhadas comercializáveis, as médias dos 16 tratamentos que consistiram das aplicações de doses de N e de P_2O_5 (fatorial) foram aproximadamente 45% maiores que a média da testemunha (tratamento sem a aplicação dos adubos N e P_2O_5).

As médias do número total de espigas variaram de 44.048 espigas ha^{-1} (30 kg ha^{-1} de P_2O_5 + 60 kg ha^{-1} de N) a 62.500 espigas ha^{-1} (60 kg ha^{-1} de N + 120 kg ha^{-1} de P_2O_5) (Tabela 7). Considerando a média do fatorial (54.613 espigas ha^{-1}) foi apenas 13% maior que a média da testemunha (Tabela 7), pode-se afirmar que as adubações nitrogenadas e fosfatadas não influenciaram o número total de espigas produzidas. Esses resultados corroboram com aqueles obtidos por Freire et al. (2010), que estudando o efeito de doses nitrogenadas aplicadas na produtividade de espigas verdes e em componentes da sua produção, também não verificaram aumento no número total de espigas produzidas em função do aumento das doses de nitrogênio aplicadas. No entanto, em Monteiro et al.(1989), Silva et al. (2000), Silva et al. (2003), Ferreira et al. (2001) e Veloso et al. (2006) foi constatado o efeito da aplicação de nitrogênio no número de espigas por hectare.

Tabela 7 - Número total de espigas, número de espigas empalhadas e despalhadas comercializáveis, em função de doses de nitrogênio e de fósforo aplicadas no solo, Baraúna-RN, 2010

Dose de P_2O_5 (kg ha^{-1})	Dose de N (kg ha^{-1})					Média
	0	30	60	90	120	
	---------- Número total de espigas (espigas ha^{-1}) ----------					
0	48.214	-	-	-	-	-
30	-	55.952	44.048	58.929	53.571	53.125
60	-	52.381	52.679	57.143	55.357	54.390
90	-	53.571	54.762	56.250	52.679	54.315
120	-	55.357	62.500	52.381	56.250	56.622
Média	-	54.315	53.497	56.176	54.464	54.613
ANAVA(1):	CV(%): 11				F_{trat}: $1,77^{ns}$	
Regressão:	Nenhum modelo se ajustou aos dados					
	- Número de espigas empalhadas comercializáveis (espigas ha^{-1}) -					
0	33.929	-	-	-	-	-
30	-	45.536	39.286	46.429	47.619	44.717
60	-	45.238	44.643	50.000	46.429	46.577
90	-	50.000	41.667	50.893	50.893	48.363
120	-	50.000	60.714	46.429	50.000	51.786
Média	-	47.693	46.577	48.438	48.735	47.861
ANAVA(1):	CV(%): 14				F_{trat}: 3,21**	
Regressão:	Nenhum modelo se ajustou aos dados					
	- Número de espigas despalhadas comercializáveis (espigas ha^{-1}) -					
0	25.893	-	-	-	-	-
30	-	37.500	33.036	28.571	41.071	35.045
60	-	38.839	39.286	36.607	41.071	38.839
90	-	39.286	33.333	43.750	38.393	38.690
120	-	45.536	41.964	36.607	38.095	40.551
Média	-	40.179	36.905	36.384	39.658	38.281
ANAVA(1):	CV(%): 22				F_{trat}: $1,56^{ns}$	
Regressão:	Nenhum modelo se ajustou aos dados					

Fonte: Dados obtidos na pesquisa (2010). (1)Análise de variância considerando o delineamento em blocos ao acaso, com 16 graus de liberdade para tratamentos e 48 graus de liberdade para o resíduo. ^{ns} e **: respectivamente, não significativo e significativo a 1% de probabilidade.

O número de espigas empalhadas comercializáveis variou de 33.929 espigas ha^{-1} (Testemunha) a 60.714 espigas ha^{-1} (60 kg ha^{-1} de N + 120 kg ha^{-1} de P_2O_5), com efeito significativo para tratamentos (Tabela 7). Sem a aplicação de adubos nitrogenados e fosfatados (Testemunha), o número de espigas empalhadas

comercializáveis (33.929 espigas ha^{-1}) foi equivalente a 71% da produção obtida para a média do fatorial (47.861 espigas ha^{-1}) e 75% da produção obtida (45.536 espigas ha^{-1}) para a menor combinação de doses de N e de P_2O_5 (Tabela 7). Isso revela que bastou apenas a aplicação de uma pequena dose de N (30 kg ha^{-1}) combinada com a aplicação de uma pequena dose de P_2O_5 (30 kg ha^{-1}) para que o número de espigas empalhadas comercializáveis fosse incrementado em 34% em relação à testemunha (Tabela 7).

Efeito de níveis de adubação nitrogenada e fosfatada, sobre o número de espigas empalhadas comercializáveis foi também verificado por Lucena et al. (2000). Silva & Silva (2003) estudaram o efeito do parcelamento da dose recomendada de N no número de espigas empalhadas comercializáveis e verificaram maiores rendimentos quando a dose total de N foi aplicada aos 45 dias após o plantio ou quando 1/3 dessa dose de N foi aplicada aos 25 dias após o plantio e os 2/3 restantes aos 45 após o plantio. Mesmo que neste trabalho os autores não tenham trabalhado com variação de doses de N, mas com o parcelamento da dose recomendada de N, isso evidencia que o número de espigas empalhadas comercializáveis é uma característica que responde bem a variações na disponibilidade de N no solo. Freire et al. (2010) também verificaram respostas à aplicação das doses de N para a produção de espigas comerciais com palha.

O número de espigas despalhadas comercializáveis (Tabela 7) variou de 25.893 espigas ha^{-1} (testemunha) a 45.536 espigas ha^{-1} (120 kg ha^{-1} de P_2O_5 + 30 kg ha^{-1} de N). Pelo que se observa nos dados de número de espigas despalhadas comercializáveis, pelo efeito não significativo para tratamentos e pelo fato de nenhum modelo de regressão ter se ajustado aos dados (Tabela 7), percebe-se que as variações dessa característica avaliada não seguiram nenhuma tendência lógica. Também para esta característica, Lucena et al. (2000) verificaram que o número de espigas despalhadas comercializáveis apresentou respostas positivas e significativas à aplicação de doses crescentes de nitrogênio e de fósforo ao solo. Silva & Silva (2003) constaram também incrementos significativos para essa característica em função do parcelamento da dose recomendada de N.

b) Peso total de espigas, peso de espigas empalhadas comercializáveis e peso de espigas despalhadas comercializáveis

Ao contrário do que foi observado para as características relacionadas ao número de espigas, para todas as características relacionadas ao peso de espigas houve efeito significativo de tratamentos e ajuste de modelo de regressão com valor elevado de R^2 (Tabela 8). Isso revela que os nutrientes N e P influenciam mais a qualidade das espigas do que o número de espigas produzidas.

Em todas as características relacionadas ao peso de espigas, a diferença entre a produção obtida no tratamento testemunha (0 kg ha^{-1} de N + 0 kg ha^{-1} de P_2O_5) e o tratamento referente à aplicação das menores doses de nutrientes (30 kg ha^{-1} de N + 30 kg ha^{-1} de P_2O_5) foi grande. Para o peso de espigas empalhadas comercializáveis, a produção obtida com a aplicação de 30 kg ha^{-1} de N + 30 kg ha^{-1} de P_2O_5 (10.553 espigas ha^{-1}) foi 2,5 vezes maior que a obtida no tratamento testemunha (4.277 espigas ha^{-1}), sem a aplicação de N e de P_2O_5 (Tabela 8). Se for considerado o peso de espigas despalhadas comercializáveis, essa diferença chega a quatro vezes.

Ao testar o contraste entre o tratamento referente a ausência de aplicação de N e de P (Testemunha) com o tratamento resultante da combinação das menores doses de N e de P_2O_5 (30 kg ha^{-1} de N + 30 kg ha^{-1} de P_2O_5) constatou-se que houve significância ao nível de 1% de probabilidade para essa variável, evidenciando que a aplicação de qualquer combinação de doses de N e de P_2O_5, maior ou igual a 30 kg ha^{-1}, é muito mais vantajosa do que não se adubar com esses nutrientes. Esses resultados confirmam que o solo da área experimental apresenta baixa disponibilidade de N e de P e que, por isso, responde positivamente às adubações nitrogenadas e fosfatadas, mesmo aplicando-se pequenas doses de N e de P_2O_5.

Tabela 8 – Peso total de espigas, peso de espigas empalhadas e despalhadas comercializáveis, em função de doses de nitrogênio e de fósforo aplicadas no solo, Baraúna-RN, 2010

Dose de P_2O_5 (kg ha^{-1})	Dose de N (kg ha^{-1})					Média
	0	30	60	90	120	
	---------- Peso total de espigas (kg ha^{-1}) ----------					
0	6.058	-	-	-	-	-
30	-	12.188	10.540	11.813	11.853	11.598
60	-	12.772	13.808	12.460	13.902	13.235
90	-	14.406	13.202	15.210	13.804	14.155
120	-	14.281	14.076	14.756	14.991	14.526
Média	-	13.412	12.907	13.560	13.637	13.379
ANAVA[1]:	CV(%): 13				F_{trat}: 6,85**	
Regressão:	$Y = 6.975 + 8{,}2503^{o}N + 136{,}688^{**}P - 0{,}6702^{**}P^2$ $R^2 = 0{,}89$					
	--------- Peso de espigas empalhadas comercializáveis (kg ha^{-1}) -----					
0	4.277	-	-	-	-	-
30	-	10.553[2]	9.741	10.442	11.469	10.551
60	-	11.737	12.491	12.004	12.808	12.260
90	-	13.960	11.744	14.455	13.433	13.398
120	-	13.433	14.667	13.708	14.004	13.953
Média	-	12.421	12.161	12.653	12.929	12.541
ANAVA[1]:	CV(%): 12				F_{trat}: 11,17**	
Regressão:	$Y = 5.348 + 11{,}1830^{*}N + 146{,}1480^{**}P - 0{,}6925^{**}P^2$ $R^2 = 0{,}90$					
	------ Peso de espigas despalhadas comercializáveis (kg ha^{-1}) -------					
0	2.188	-	-	-	-	-
30	-	8.732	7.906	6.629	8.098	7.842
60	-	8.864	9.196	10.536	10.661	9.814
90	-	10.384	8.982	10.696	11.411	10.368
120	-	10.692	11.415	11.077	11.772	11.239
Média	-	9.668	9.375	9.735	10.485	9.816
ANAVA[1]:	CV(%): 23				F_{trat}: 4,89**	
Regressão:	$Y = 3.068 + 13{,}0414^{*}N + 131{,}2560^{**}P - 0{,}6118^{**}P^2$ $R^2 = 0{,}89$					

Fonte: Dados obtidos na pesquisa (2010). [1]Análise de variância considerando o delineamento em blocos ao acaso, com 16 graus de liberdade para tratamentos e 48 graus de liberdade para o resíduo. [2]Difere da testemunha, pelo teste de Dunnet a 1%. **, * e °: respectivamente, significativo a 1%, a 5% e a 10% de probabilidade.

Resultados de experimentos conduzidos sob diversas condições de solo, clima e sistemas de cultivo, em Minas Gerais (França et al., 1986) e em São Paulo (Cantarella & Raij, 1986) apresentam que, em geral, de 70 a 90% dos ensaios com

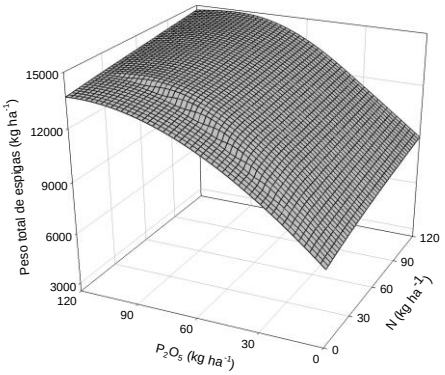
a cultura do milho responderam à aplicação de N. Para Cantarella (1993), a magnitude das respostas ao nitrogênio em ensaios com a cultura do milho conduzidos no Brasil tem sido variável, mas a maioria dos estudos indica respostas positivas quando se varia as doses de N entre 30 e 90 kg ha^{-1}, devido, em parte, aos níveis de produtividade relativamente baixos.

A análise de regressão realizada com as 17 médias obtidas para cada característica relacionada ao peso de espigas (Tabela 8) revelou pequeno efeito positivo das doses de N, ao passo que o efeito das doses de P_2O_5 foi de maior magnitude. Essa diferença na magnitude dos efeitos das doses de N e de P_2O_5 pode ser observada tanto pela superfície de resposta quanto pelos valores dos parâmetros das equações de regressão ajustadas (Figuras 1a, 1b e 1c). Para todas as características relacionadas ao peso de espigas, o efeito foi positivo e linear para a adubação nitrogenada (Figuras 1a, 1b e 1c) indicando que o maior peso de espigas foi obtido com a dose de 120 kg ha^{-1} de N, mas a pequena magnitude desse efeito sugere que a dose mais econômica de N deve ser menor. A esse respeito, Silva et al. (2003), Cardoso et al. (2010) e Freire et al. (2010) já enfatizaram o efeito positivo da adubação nitrogenada no peso das espigas de milho empalhadas e despalhadas. Ferreira et al. (2001) também verificaram incrementos no peso das espigas empalhadas e despalhadas, no peso de mil grãos e no número de espigas por planta, como consequência do aumento das doses de N.

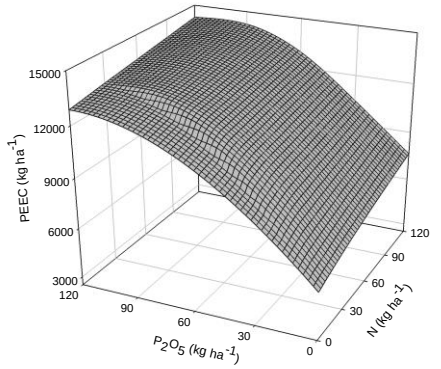
Quanto à adubação fosfatada, as equações de regressão e as superfícies de resposta indicam efeito quadrático para as doses de P_2O_5 (Figuras 1a, 1b e 1c), de modo que as produções máximas estimadas de espigas, espigas empalhadas comercializáveis e espigas despalhadas comercializáveis são obtidas aplicando-se as doses de 102, 106 e 107 kg ha^{-1} de P_2O_5, respectivamente.

Em experimento com a cultura do milho verde adubada com nitrogênio e fósforo, verificou-se que o aumento das doses de N e de P_2O_5 aumentou o peso de espigas empalhadas e despalhadas, mas não foi verificado efeito da interação entre esses fatores (Lucena et al., 2000). Esses resultados concordam com os que foram encontrados neste trabalho.

a) $Y = 6.975 + 8{,}2503^{o}N + 136{,}688^{**}P - 0{,}6702^{**}P^2 \quad R^2 = 0{,}89$



b) $Y = 5.348 + 11{,}1830^{*}N + 146{,}1480^{**}P - 0{,}6925^{**}P^2 \quad R^2 = 0{,}90$



c) $Y = 3.068 + 13{,}0414^{*}N + 131{,}2560^{**}P - 0{,}6118^{**}P^2 \quad R^2 = 0{,}89$

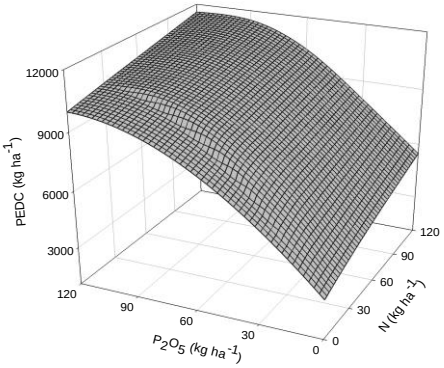


Figura 1 – Superfície de resposta para o peso total de espigas (a) e para o peso de espigas empalhadas comercializáveis (PEEC) (b) e peso de espigas despalhadas comercializáveis (PEDC) (c), em função de doses de nitrogênio e de fósforo aplicadas no solo, Baraúna-RN, 2010. **, * e °: respectivamente, significativo a 1%, a 5% e 10%.

Em uma área experimental contígua à área experimental deste experimento, no mesmo tipo de solo, em trabalho semelhante com a cultura do sorgo (*Sorghum bicolor* L. Moench), também foi verificado que a resposta positiva da cultura à adubação nitrogenada foi de menor magnitude do que a resposta à adubação fosfatada, sendo que não foi verificado efeito da interação entre doses de N e de P_2O_5 (Pereira, 2011).

4.1.2. Análise econômica da adubação para a produção de milho verde

A característica peso de espigas empalhadas comercializáveis é muito importante para a comercialização do milho verde nas centrais de abastecimento e nas feiras livres, onde o consumidor sempre tende a escolher as espigas maiores e mais pesadas. Assim, esses atributos devem ser considerados na comercialização do milho verde para o consumo *in natura* (Albuquerque et al., 2008). Para o peso de espigas empalhadas comercializáveis, a produção de máxima eficiência física (14.401 espigas ha^{-1}) foi estimada para a aplicação de 120 kg ha^{-1} de N + 106 kg ha^{-1} de P_2O_5. O modelo de regressão ajustado (Figura 1b) mostra valores pequenos para as estimativas dos parâmetros associados ao efeito linear de N e quadrático de P_2O_5, evidenciando que provavelmente as doses de N e de P_2O_5 associadas à máxima eficiência econômica sejam bem menores que 120 kg ha^{-1} de N + 106 kg ha^{-1} de P_2O_5.

Considerando que um saco de 50 kg de superfosfato triplo custa R$ 53,00, o de uréia custa R$ 94,00 e o de sulfato de amônio custa R$ 47,50, o preço de 1 kg de P_2O_5 via superfosfato triplo custa R$ 2,52, de 1 kg de N via uréia custa R$ 4,18 e o de 1 kg de N via sulfato de amônio custa R$ 4,75. Para calcular o custo da adubação nitrogenada, considerou-se que 20% da dose de N foi aplicada via ureia e 80% via sulfato de amônio. Com base nessas informações e nos valores das doses de N e de P aplicadas, calculou-se o custo da adubação (Tabela 9).

Tabela 9 – Peso estimado de espigas empalhadas comercializáveis (PEEC), receita bruta, custos com fertilizantes nitrogenados e fosfatados e receita líquida, em função de doses de nitrogênio e de fósforo aplicadas no solo, Baraúna-RN, 2010

Dose de N	Dose de P_2O_5	PEEC[1]	Receita bruta	Custos com fertilizantes	Receita Liquida
---------- kg ha^{-1} ----------			---------- R$ ----------		
0	0	5.348	3.850,56	0,0000	3.850,56
30	30	9.445	6.800,17	214,68	6.585,49
30	60	11.959	8.610,75	290,28	8.320,47
30	90	13.228	9.523,84	365,88	9.157,96
30	**103**	**13.390**	**9.640,80**	**398,64**	**9.242,16**
30	120	13.249	9.539,46	441,48	9.097,98
60	30	9.780	7.041,72	353,76	6.687,96
60	60	12.295	8.852,30	429,36	8.422,94
60	90	13.563	9.765,40	504,96	9.260,44
60	**103**	**13.725**	**9.882,35**	**537,72**	**9.344,63**
60	120	13.585	9.781,01	580,56	9.200,45
90	30	10.116	7.283,28	492,84	6.790,44
90	60	12.630	9.093,85	568,44	8.525,41
90	90	13.899	10.006,95	644,04	9.362,91
90	**103**	**14.061**	**10.123,91**	**676,80**	**9.447,11**
90	120	13.920	10.022,57	719,64	9.302,93
120	30	10.451	7.524,83	631,92	6.892,91
120	60	12.966	9.335,40	707,52	8.627,88
120	90	14.234	10.248,50	783,12	9.465,38
120	100	14.380	10.353,43	808,32	9.545,11
120	101	14.387	10.358,44	810,84	9.547,60
120	102	14.392	10.362,45	813,36	9.549,09
120[2]	**103[2]**	**14.396**	**10.365,46**	**815,88**	**9.549,58**
120	104	14.399	10.367,48	818,40	9.549,08
120	105	14.401	10.368,50	820,92	9.547,58
120	106	14.401	10.368,52	823,44	9.545,08
120	107	14.399	10.367,54	825,96	9.541,58
120	108	14.397	10.365,57	828,48	9.537,09
120	109	14.392	10.362,60	831,00	9.531,60
120	110	14.387	10.358,63	833,52	9.525,11
120	**120**	**14.256**	**10.264,12**	**858,72**	**9.405,40**

[1] Produção estimada pela equação de regressão linear múltipla apresentada na tabela 8 e figura 1b.
[2] Doses de N e de P_2O_5 estimadas pela equação de regressão linear múltipla para a produção de máxima eficiência física.

A receita bruta foi calculada considerando a produção estimada pelo modelo de regressão ajustado (Figura 1b) e o preço do milho verde. Na propriedade rural, o preço de 1 kg de espigas empalhadas comercializáveis foi cotado a R$ 0,72, em junho de 2012. A receita líquida foi calculada pela diferença entre a receita bruta e os gastos com fertilizantes (Tabela 9).

A maior receita líquida estimada foi de R$ 9.549,58, a qual corresponde a uma produção de 14.396 espigas ha^{-1} (produção de máxima eficiência econômica), que se conseguiria com a aplicação de 120 kg ha^{-1} de N combinado com 103 kg ha^{-1} de P_2O_5 (Tabela 9). Para obtenção dessa receita líquida máxima, o produtor teria que investir R$ 815,88 com adubos nitrogenados e fosfatados. Porém, convém salientar que receitas líquidas não muito baixas poderiam ser obtidas mediante a diminuição significativa das doses de N e P_2O_5 aplicadas (Tabela 9). Isso pode ser interessante, pois pode ser mais seguro sob o ponto de vista ambiental (pela menor utilização de adubos químicos) e ser mais seguro sob o ponto de vista econômico (menor risco devido ao menor investimento com adubos).

Diminuindo a dose de 120 kg ha^{-1} de N pela metade (60 kg ha^{-1} de N) e a dose de P_2O_5 permanecendo em 103 kg ha^{-1} (Tabela 9), o agricultor teria uma diminuição de 4,7% na produção (passava de 14.396 para 13.725 espigas ha^{-1}) e de 2,1% na receita líquida (passava de R$ 9.549,58 para R$ 9.344,63), mas o investimento com adubos diminuiria de R$ 815,88 para apenas R$ 537,72 (queda de 66%). Pelo exposto, pode-se concluir que para a cultura do milho verde no município de Baraúna-RN, a recomendação de adubação aplicando-se de 60 kg ha^{-1} de N combinado 106 kg ha^{-1} de P_2O_5 é a de máxima eficiência econômica, pois combina de maneira otimizada uma boa receita líquida com o menor custo com fertilizantes.

Para a produção de 6 a 8 t ha^{-1} de grãos de milho, as principais tabelas de recomendação de adubação em uso no país recomendam: (Raij et al., 1997) de 70 à 120 kg ha^{-1} de N e 30 a 90 kg ha^{-1} de P_2O_5; (Ribeiro et al., 1999) de 110 à 120 kg ha^{-1} de N e 50 a 100 kg ha^{-1} de P_2O_5; (Sousa & Lobato, 2004) 80 kg ha^{-1} de N e 30 à 60 kg ha^{-1} de P_2O_5; (Comissão de Química e Fertilidade do Solo - CQFSRS/SC, 2004) de 30 à 90 kg ha^{-1} de N e 0 à 125 kg ha^{-1} de P_2O_5; (Universidade Federal do Ceará,

1993) 90 kg ha^{-1} de N e 40 à 90 kg ha^{-1} de P_2O_5; (Cavalcanti et al., 1998) 90 kg ha^{-1} de N e 20 à 80 kg ha^{-1} de P_2O_5 e (Comissão Estadual de Fertilidade do Solo, 1989) 90 kg ha^{-1} de N e 20 à 80 kg ha^{-1} de P_2O_5. Assim, as doses de N e de P_2O_5 recomendadas pelas tabelas citadas à cima não estão muito diferentes das doses de máxima eficiência econômica encontradas neste trabalho.

4.1.3. Altura de plantas e da inserção de espigas, diâmetro do colmo e matéria seca

Verifica-se que, para a variável altura de planta a média dos tratamentos (2,15 m) foi 31,9% maior que a média da testemunha (1,63 m) e o modelo da equação de regressão que melhor se ajustou as doses de N foi o linear, inferindo que as doses de N utilizadas não foram suficientes para a obtenção da máxima altura de planta. Para as doses de P_2O_5 foi ajustado o modelo quadrático, apresentando uma produtividade máxima estimada com a dose de 117,36 kg ha^{-1} de P_2O_5 (Tabela 10, Figura 2a).

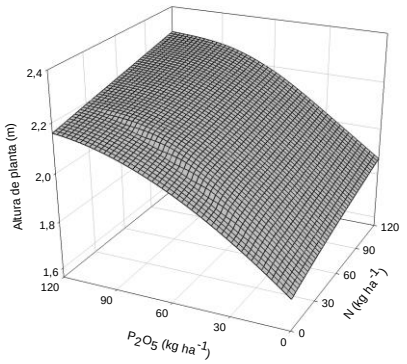
Comparando a altura média da inserção de espigas da (Testemunha) (0,95 m) com a média geral dos tratamentos (1,21 m), infere-se que as adubações nitrogenadas e fosfatadas proporcionaram um incremento nessa variável de 27,37% em relação ao tratamento testemunha. Da mesma forma que verificado para a altura de planta, para a altura da inserção de espigas o modelo da equação de regressão que melhor se ajustou às doses de N foi o linear e às doses de P_2O_5 o modelo quadrático, tendo apresentado uma produtividade de máxima eficiência física estimada com a dose de 112,42 kg ha^{-1} de P_2O_5 (Tabela 10, Figura 2b). A altura de planta e a altura de inserção de espigas são características que são afetadas pela disponibilidade de nitrogênio no solo (Gomes et al., 2007; Duete et al.; 2008). Estudando o efeito de doses de N sobre os componentes de produção de cultivares de milho, Cruz et al. (2008) verificaram que doses desse nutriente acima de 80 kg ha^{-1} não contribuíram para o aumento da altura de planta.

Tabela 10 – Altura de planta, altura da inserção de espigas, diâmetro do colmo e matéria seca, em função de doses de nitrogênio e de fósforo aplicadas no solo, Baraúna-RN, 2010

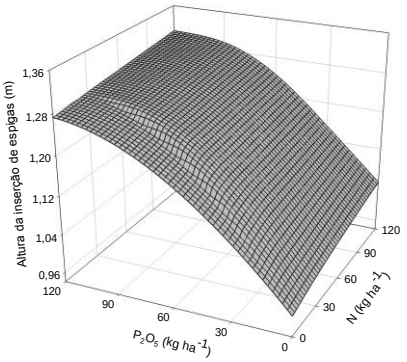
Dose de P_2O_5 (kg ha^{-1})	Dose de N (kg ha^{-1})					Média
	0	30	60	90	120	
	---------- Altura de planta (m) ----------					
0	1,63	-	-	-	-	-
30	-	1,90	2,02	2,01	2,13	2,01
60	-	2,14	2,11	2,07	2,22	2,13
90	-	2,24	2,08	2,21	2,22	2,19
120	-	2,28	2,23	2,22	2,31	2,26
Média	-	2,14	2,11	2,12	2,22	2,15
ANAVA(1):	CV(%): 4,4				F_{trat}: 12,44**	
Regressão:	$Y = 1,69135 + 0,00108478^{**}N + 0,0080153^{**}P - 0,000034148^{**}P^2$					
	---------- Altura da inserção de espigas (m) ----------					
0	0,95	-	-	-	-	-
30	-	1,15	1,12	1,13	1,10	1,12
60	-	1,21	1,17	1,21	1,26	1,21
90	-	1,29	1,20	1,25	1,18	1,23
120	-	1,30	1,26	1,27	1,31	1,28
Média	-	1,24	1,19	1,21	1,21	1,21
ANAVA(1):	CV(%): 6,0				F_{trat}: 6,23**	
Regressão:	$Y = 0,98182 + 0,000273882^{ns}N + 0,00521735^{**}P - 0,0000232038^{**}P^2$					
	---------- Diâmetro do colmo (cm) ----------					
0	1,47	-	-	-	-	-
30	-	1,50	1,98	1,96	2,12	1,89
60	-	2,12	2,01	2,22	2,25	2,15
90	-	2,18	2,22	2,31	2,28	2,25
120	-	2,13	2,24	2,44	2,50	2,33
Média	-	1,98	2,11	2,23	2,29	2,15
ANAVA(1):	CV(%): 8,1				F_{trat}: 10,26**	
Regressão:	$Y = 1,51324 + 0,00361142^{**}N + 0,00486142^{**}P$					
	---------- Matéria seca (kg ha^{-1}) ----------					
0	3.463	-	-	-	-	-
30	-	6.232	6.594	7.137	6.814	6.694
60	-	9.269	9.484	9.746	8.923	9.355
90	-	10.112	9.533	9.976	10.445	10.016
120	-	9.682	8.374	13.074	8.728	9.964
Média	-	8.824	8.496	9.983	8.727	9.007
ANAVA(1):	CV(%): 18,1				F_{trat}: 7,4**	
Regressão:	$Y = 3.914,03 + 68,0681^{**}N - 0,414624^{**}N^2 + 36,7867^{*}P$					

(1) Análise de variância considerando o delineamento em blocos ao acaso, com 16 graus de liberdade para tratamentos e 48 graus de liberdade para o resíduo. ^{ns}, ** e *: respectivamente, não significativo, significativo a 1% e a 5% de probabilidade.

a) $Y = 1,69135 + 0,00108478^{**}N + 0,0080153^{**}P - 0,000034148^{**}P^2 \quad R = 0,87$



b) $Y = 0,981827 + 0,000273882^{ns}N + 0,00521735^{**}P - 0,0000232038^{**}P^2 \quad R = 0,85$



c) $Y = 1,51324 + 0,00361142^{**}N + 0,00486142^{**}P \quad R^2 = 0,85$

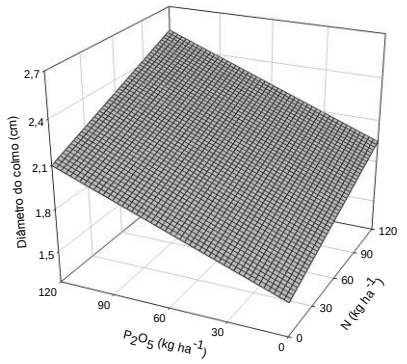


Figura 2 – Superfície de resposta para a altura de planta (a), para a altura da inserção de espigas (b) e para o diâmetro do colmo (c), em função de doses de nitrogênio e de fósforo aplicadas no solo, Baraúna, RN, 2010. ** e ^{ns}: respectivamente, significativo a 1% e não significativo.

De outro modo, Lucena et al. (2000), testando doses de fósforo (0 kg ha^{-1}, 60 kg ha^{-1}, 120 kg ha^{-1}, 180 kg ha^{-1} e 240 kg ha^{-1} de P_2O_5), verificaram aumento da altura de plantas de milho, até a dose de 177 kg ha^{-1} de P_2O_5.

Com relação a variável diâmetro do colmo, em que houve efeito positivo e linear para as adubações nitrogenada e fosfatada (Tabela 10, Figura 2c), verificou-se que o maior diâmetro do colmo foi obtido com a dose de 120 kg ha^{-1} de N combinado com 120 kg ha^{-1} de P_2O_5. Verifica-se também, que a média dos tratamentos (2,15 cm) foi 46,26% maior que a média da testemunha (1,47 cm).

O diâmetro do colmo é um componente de produção que também responde bem às variações na disponibilidade dos nutrientes nitrogênio e fósforo no solo. Oliveira et al. (2009) avaliando o efeito da aplicação de doses de nitrogênio e de fósforo nas variáveis de crescimento da cultura do milho, verificaram que o diâmetro do colmo cresceu até a aplicação das doses de 100 kg ha^{-1} de N + 150 kg ha^{-1} de P_2O_5.

A produção de matéria seca em função das doses de nitrogênio e de fósforo aplicadas ao solo apresentou efeito quadrático para as doses de N, onde a produção máxima estimada para essa característica foi obtida com a aplicação da dose de 82,08 kg ha^{-1} de N (Tabela 10 e Figura 3). Ainda de acordo com a Tabela 10, verifica-se que a produção de matéria seca obtida de 6.232 kg ha^{-1} no tratamento referente à aplicação das menores doses de N e P_2O_5 (30 kg ha^{-1} de N + 30 kg ha^{-1} de P_2O_5) foi 79,96% maior que a produção obtida no tratamento testemunha (0 kg ha^{-1} de N + 0 kg ha^{-1} de P_2O_5). Esses resultados confirmam mais uma vez que o solo da área experimental apresenta baixa disponibilidade de N e de P e que, por isso, responde positivamente às adubações nitrogenadas e fosfatadas, mesmo aplicando-se pequenas doses de N e de P_2O_5.

$$Y = 3.914,03 + 68,0681^{**}N - 0,414624^{**}N^2 + 36,7867^{*}P \qquad R^2 = 0,70$$

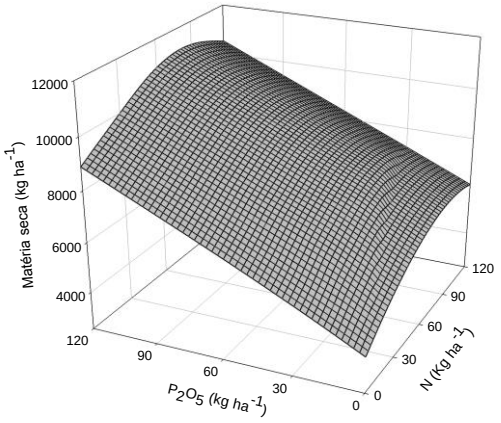


Figura 3 – Superfície de resposta para a matéria seca, em função de doses de nitrogênio e de fósforo aplicadas no solo, Baraúna-RN, 2010. ** e *: respectivamente, significativo a 1% e a 5% de probabilidade.

Em condições de campo Araújo et al. (2004), em um Latossolo Vermelho Distroférrico irrigado, obtiveram aumento significativo ($p < 0,01$) na produção de matéria seca da parte aérea e de grãos do milho até a aplicação de 180 kg ha^{-1} de N. Oliveira et al. (2009) verificaram que nas doses até 120 kg ha^{-1} de N promoveram incremento linear na produção de matéria seca das plantas de milho e para o fósforo a máxima produção de matéria seca da cultura foi obtida com a dose de 120 kg ha^{-1} de P_2O_5. Entretanto, Lucena et al. (2000) obtiveram a máxima produção de matéria seca com a aplicação de 117 kg ha^{-1} de N e com 175 kg ha^{-1} de P_2O_5.

4.1.4. Rendimento e características das espigas de milho seco

As doses de N e de P_2O_5 aplicadas não influenciaram significativamente o número médio de espigas por hectare e nenhum modelo de regressão se ajustou aos dados observados. Verifica-se que a média dos tratamentos (55.879 espigas ha^{-1})

foi apenas 12,2% maior que a média da testemunha (49.786 espigas ha^{-1}) (Tabela 11). Aumento no número médio de espigas por hectare em função do aumento das doses de nitrogênio aplicadas no solo também não foram constatados por Aratani et al. (2006) e Freire et al. (2010). Avaliando o efeito de doses e fontes de N, P e K nos componentes de produção e na produtividade da cultura do milho, Valderrama et al. (2011), também não verificaram aumento no número médio de espigas por hectare em função do aumento das doses de nitrogênio e de fósforo aplicadas no solo. No entanto, em Monteiro et al.(1989), Ferreira et al. (2001) e Veloso et al. (2006) foi constatado o efeito da aplicação de nitrogênio no número de espigas por hectare, podendo-se inferir assim que as respostas dessa característica à adubação depende também de outros fatores, a exemplo da cultivar utilizada.

A massa de 100 grãos foi positiva e significativamente ($P < 0,01$) influenciada pelas doses de N e de P_2O_5 aplicadas ao solo (Tabela 11). O modelo da equação de regressão que melhor se ajustou as doses de N aplicados foi o quadrático, de modo que, a dose estimada para obtenção do valor máximo dessa variável foi 69,99 kg ha^{-1} de N. As doses de P_2O_5 estudadas apresentaram efeito positivo e linear (Tabela 11). Verifica-se que na combinação das menores doses (30 kg ha^{-1} de N + 30 kg ha^{-1} de P_2O_5) houve um acréscimo de aproximadamente 23,16% em relação à testemunha.

As respostas deste componente de produção à adubação nitrogenada têm sido muito variáveis. A exemplo disso, Valderrama et al. (2011) não verificaram efeito das doses de N na massa de 100 grãos do milho. Por outro lado, Oliveira & Caires (2003) observaram aumento linear da massa de 100 grãos e concluíram que tal componente de produção foi decisivo para aumentar a produtividade de grãos, utilizando-se as doses de 0 kg ha^{-1}, 30 kg ha^{-1}, 60 kg ha^{-1}, 90 kg ha^{-1} e 120 kg ha^{-1} de N.

Tabela 11 – Número de espigas, massa de 100 grãos e produtividade de grãos, em função de doses de nitrogênio e de fósforo aplicadas no solo, Baraúna-RN, 2010

Dose de P_2O_5 (kg ha^{-1})	Dose de N (kg ha^{-1})					Média
	0	30	60	90	120	
	---------- Nº de espigas ha^{-1} ----------					
0	49.786	-	-	-	-	-
30	-	53.672	55.357	50.893	57.143	54.266
60	-	54.286	55.928	53.571	57.643	55.357
90	-	56.072	58.929	54.642	58.885	57.132
120	-	55.761	59.099	53.571	58.616	56.762
Média	-	54.948	57.328	53.169	58.072	55.879
ANAVA[(1)]:	CV(%): 10,1				F_{trat}: $0,79^{ns}$	
Regressão:	Nenhum modelo se ajustou aos dados					
	---------- Massa de 100 grãos (g) ----------					
0	24,91	-	-	-	-	-
30	-	30,68	32,13	31,43	30,39	31,16
60	-	34,23	33,06	31,71	31,61	32,65
90	-	34,35	33,25	31,75	32,85	33,05
120	-	34,10	32,94	32,74	32,86	33,16
Média	-	33,34	32,84	31,91	31,93	32,50
ANAVA[(1)]:	CV(%): 4,7				F_{trat}: 8,12**	
Regressão:	$Y = 27,3487 + 0,0985634*N - 0,000704138**N^2 + 0,0315135**P$					
	---------- Produtividade de grãos (kg ha^{-1}) ----------					
0	3.112	-	-	-	-	-
30	-	5.116[(2)]	5.662	5.184	6.218	5.545
60	-	5.495	6.489	6.629	6.350	6.241
90	-	6.229	6.852	6.857	6.752	6.672
120	-	7.319	7.159	6.993	6.796	7.067
Média	-	6.040	6.540	6.416	6.529	6.381
ANAVA[(1)]:	CV(%): 13,0				F_{trat}: 6,62**	
Regressão:	$Y = 3.481,55 + 41,3814**N - 0,235793**N^2 + 18,1956**P$					

Fonte: Dados obtidos na pesquisa (2010). [(1)]Análise de variância considerando o delineamento em blocos ao acaso, com 16 graus de liberdade para tratamentos e 48 graus de liberdade para o resíduo. [(2)]Difere da testemunha, pelo teste de Dunnet a 1%. [ns], ** e *[s]: respectivamente, não significativo, significativo a 1% e a 5% probabilidade.

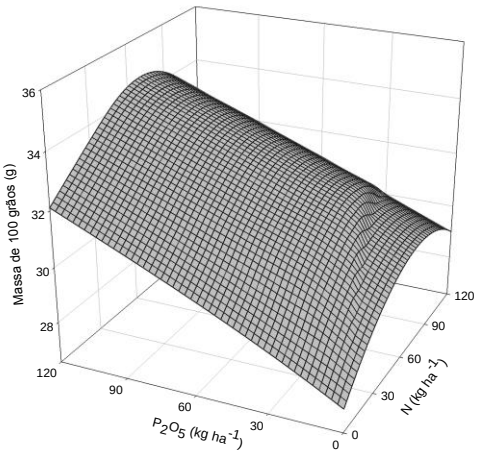
O aumento das doses de N e de P_2O_5 aplicadas ao solo influenciou positivamente ($P < 0,01$) a produtividade de grãos (Tabela 11). Comparando-se a produtividade da testemunha (3.112 kg ha^{-1}) com a média geral dos tratamentos

(6.381 kg ha^{-1}) verifica-se que as adubações nitrogenadas e fosfatadas proporcionaram incremento na produtividade de grãos de 105,04% em relação à testemunha (Tabela 11). O contraste entre a testemunha e o tratamento resultante da combinação das menores doses de N e de P_2O_5 aplicadas ao solo evidenciou diferença significativa ao nível de 1% de probabilidade, demonstrando que é importante adubar com qualquer combinação de doses de N e P iguais ou superior a 30 kg ha^{-1} para se obter aumentos significativos de produtividade de grãos. O modelo da equação de regressão que melhor se ajustou as doses de N foi o quadrático, apresentando a produtividade máxima estimada com a dose de 87,75 kg ha^{-1} de N e para as doses de P_2O_5 foi ajustado o modelo linear, inferindo que as doses utilizadas não foram suficientes para a obtenção da máxima produtividade (Tabela 11 e Figura 4b).

As doses de N e de P_2O_5 recomendadas por boa parte das literaturas para a obtenção de produtividades de grãos consideradas elevadas não distam com grandes magnitudes das doses de N e de P_2O_5 recomendadas para a máxima produtividade obtida neste trabalho (87,75 kg ha^{-1} de N + 120 kg ha^{-1} de P_2O_5). Valderrama et al. (2011) verificaram aumento na produtividade de grãos em função do aumento das doses de N aplicadas no solo, sendo a maior produtividade obtida com a dose de 120 kg ha^{-1} de N. Soares (2003), estudando doses crescentes de nitrogênio (0 kg ha^{-1}, 120 kg ha^{-1} e 240 kg ha^{-1}), verificou que a máxima produtividade de grãos (9.182 kg ha^{-1}) foi obtida mediante o uso da dose de 203 kg ha^{-1} de N, sendo esta dose considerada inviável, devido ao pequeno incremento que proporcionou (9%), em relação à aplicação de 120 kg ha^{-1} de N. Por outro lado, Oliveira & Caires (2003) verificaram que a adubação nitrogenada em cobertura aumentou, linearmente, a produção de milho, até a dose de 120 kg ha^{-1} de N.

Lucena et al. (2000) verificaram incremento na produtividade de grãos de milho até a dose de 197 kg ha^{-1} de P_2O_5. Prado et al. (2001) também observaram aumento linear na produtividade de grãos, com o aumento das doses de fósforo (0 kg ha^{-1}, 45,0 kg ha^{-1}, 67,5 kg ha^{-1}, 90,0 kg ha^{-1}, 112,5 kg ha^{-1} e 135,0 kg ha^{-1} de P_2O_5) aplicadas.

a) $Y = 27,3487 + 0,098563*N - 0,000704138**N^2 + 0,0315135**P \quad R^2 = 0,77$



b) $Y = 3.481,55 + 41,3814**N - 0,235793**N^2 + 18,1956**P \quad R^2 = 0,88$

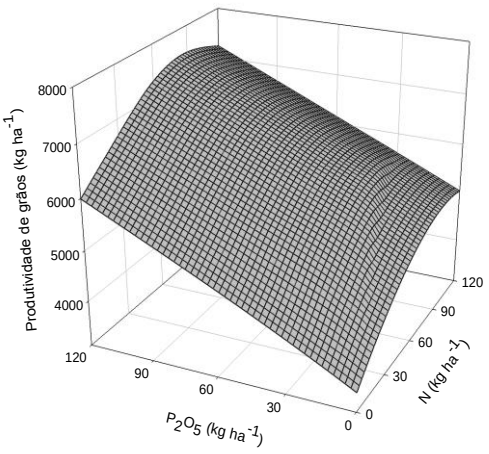


Figura 4 - Superfície de resposta para a massa de 100 grãos (a) e para a produtividade de grãos (b), em função de doses de nitrogênio e de fósforo aplicadas no solo, Baraúna-RN, 2010. ** e *: respectivamente, significativo a 1% e a 5% de probabilidade.

Fornasiere Filho (1992) referencia efeito positivo da aplicação do fósforo, em dose mais elevada (160 kg ha^{-1} de P_2O_5), na produção de grãos do milho. Muzilli (1982) encontrou, para o Estado do Paraná, resposta do milho ao fósforo até a dose de 120 kg ha^{-1} de P_2O_5.

As variáveis comprimento e diâmetro de espigas foram influenciadas de forma positiva pela aplicação ao solo das doses de N e de P_2O_5 ($P < 0,01$) (Tabela 12). A variável comprimento de espigas variou de 9,76 cm (testemunha) a 15,18 cm, na combinação entre as doses (120 kg ha^{-1} de N + 120 kg ha^{-1} de P_2O_5). O modelo da equação de regressão que melhor se ajustou as doses de N foi o quadrático, apresentando a produtividade máxima estimada para essa característica com a dose de 93,69 kg ha^{-1} de N. Para as doses de P_2O_5 foi ajustado o modelo linear (Tabela 12, Figura 5a). Tais resultados diferem dos obtido por Fernandes et al. (2005) quando constataram que o incremento nas doses de N aplicadas ao solo não promoveu aumentos significativos no componente de produção comprimento de espiga e afirmaram que a ausência de resposta era esperada, pois essa característica é de alta herdabilidade e menos dependente do ambiente e da adubação.

A variável diâmetro de espigas apresentou variação de 4,06 cm (Testemunha) a 5,14 cm (60 kg ha^{-1} de N + 120 kg ha^{-1} de P_2O_5). De acordo com a Tabela 12 e Figura 5b, as doses de N se ajustaram ao modelo quadrático, apresentando a produtividade máxima estimada para essa variável com a dose de 92,93 kg ha^{-1} de N e para as doses de P_2O_5 foi ajustado o modelo linear. Esse resultado já era esperado, visto que, a variável diâmetro de espigas é bastante influenciada de forma positiva pelas adubações nitrogenada e fosfatada (Cobuci, 1991).

Os tratamentos estudados não exerceram efeito significativo sobre a variável número de fileiras nas espigas e nenhum modelo de regressão se ajustou aos dados observados (Tabela 12), inferindo-se que possivelmente esse componente de produção foi dependente do potencial genético do híbrido duplo (AG 1051) utilizado.

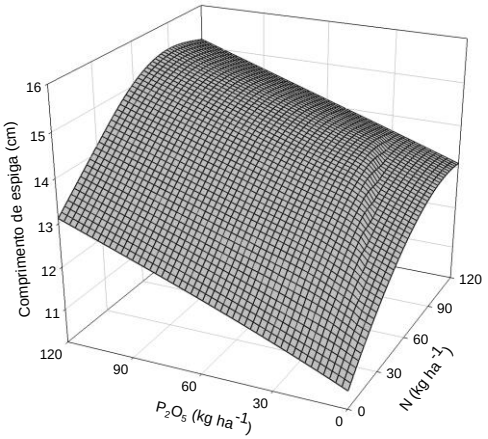
Tabela 12 - Comprimento, diâmetro e número de fileiras nas espigas, em função de doses de nitrogênio e de fósforo aplicadas no solo, Baraúna-RN, 2010

Dose de P_2O_5 (kg ha^{-1})	Dose de N (kg ha^{-1})					Média
	0	30	60	90	120	
	---------- Comprimento de espigas (cm) ----------					
0	9,76	-	-	-	-	-
30	-	12,92	13,54	14,27	13,82	13,64
60	-	13,46	13,79	14,50	14,03	13,94
90	-	14,36	13,88	14,75	14,84	14,46
120	-	15,08	14,01	15,06	15,18	14,83
Média	-	13,95	13,80	14,64	14,47	14,22
ANAVA[(1)]:	CV(%): 5,9				F_{trat}: 9,04**	
Regressão:	$Y = 10,6231 + 0,057618^{**}N - 0,000307492^{**}N^2 + 0,01726^{**}P$					
	---------- Diâmetro de espigas (cm) ----------					
0	4,06	-	-	-	-	-
30	-	4,57	4,73	4,74	4,85	4,72
60	-	4,70	4,84	4,83	4,89	4,81
90	-	4,72	4,91	5,01	4,92	4,89
120	-	4,75	5,14	5,02	5,03	4,98
Média	-	4,68	4,90	4,90	4,92	4,85
ANAVA[(1)]:	CV(%): 3,1				F_{trat}: 10,58**	
Regressão:	$Y = 4,10577 + 0,013214^{**}N - 0,0000711^{**}N^2 + 0,0030823^{**}P$					
	---------- Nº de Fileiras nas espigas ----------					
0	13	-	-	-	-	-
30	-	14	15	14	15	14
60	-	14	16	15	14	15
90	-	15	15	15	15	15
120	-	15	15	15	15	15
Média	-	14	15	15	15	15
ANAVA[(1)]:	CV(%): 6,6				F_{trat}: $1,63^{ns}$	
Regressão:	Nenhum modelo se ajustou aos dados					

Fonte: Dados obtidos na pesquisa (2010). [(1)] Análise de variância considerando o delineamento em blocos ao acaso, com 16 graus de liberdade para tratamentos e 48 graus de liberdade para o resíduo. ** e [ns]: respectivamente, significativo a 1% de probabilidade e não significativo.

Aumento do número de fileiras nas espigas, em função do aumento das doses de N e de P_2O_5 aplicadas ao solo, também não foram constatados por Valderrama et al. (2011).

a) $Y = 10,6231 + 0,057618^{**}N - 0,000307492^{**}N^2 + 0,01726^{**}P \quad R^2 = 0,82$



b) $Y = 4,10577 + 0,0132141^{**}N - 0,0000711^{**}N^2 + 0,0030823^{**}P \quad R^2 = 0,94$

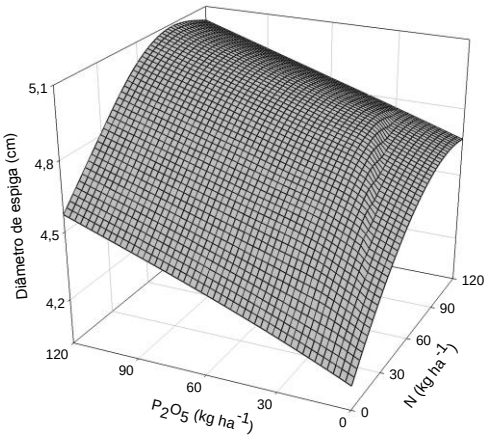


Figura 5 – Superfície de resposta para o comprimento de espiga (a) e para o diâmetro de espiga (b), em função de doses de nitrogênio e de fósforo aplicadas no solo, Baraúna-RN, 2010. **: significativo a 1% de probabilidade.

4.1.5. Teores de nitrogênio e de fósforo no solo e na planta

Os teores de N e de P no solo aumentaram com o aumento das doses de N e de P_2O_5 aplicadas (Tabela 13), sendo que a adubação fosfatada foi mais eficiente em aumentar o teor de P no solo do que a adubação nitrogenada em aumentar o teor de N no solo (Figuras 6b e 6a), provavelmente pelo fato da adubação fosfatada deixar maior efeito residual no solo que a adubação nitrogenada.

As doses de N e P_2O_5 aplicadas influenciaram, positivamente, o teor de N foliar, com os dados se ajustando à equação quadrática, tanto para as doses de N quanto para as doses de P_2O_5 aplicadas, tendo o ponto de máxima para as doses de N sido alcançado com a estimativa de aplicação de 95 kg ha^{-1} de N e, o ponto de máxima para as doses de P_2O_5 foi alcançado com a estimativa de aplicação de 72 kg ha^{-1} de P_2O_5 (Tabela 13, Figura 6c). Verifica-se que os teores médios de N na folha variaram de 22,72 g kg^{-1} (0 kg ha^{-1} de N + 0 kg ha^{-1} de P_2O_5) a 34,76 g kg^{-1} (90 kg ha^{-1} de N + 60 kg ha^{-1} de P_2O_5).

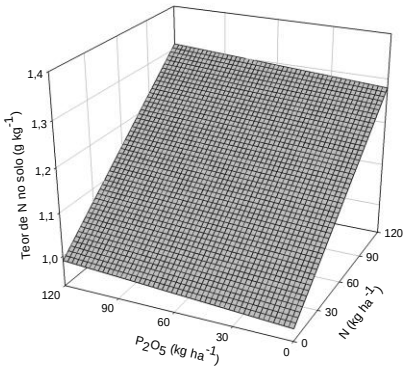
De acordo com Malavolta (2006) o teor adequado de N, nas folhas do milho, para um bom desenvolvimento e produção, está situado na faixa de 28 a 35 g kg^{-1} de matéria seca. Por outro lado, Martinez et al. (1999) e Coelho & França (1995), sugerem a faixa de 27,5 a 32,5 g kg^{-1}. Embrapa (1999) por sua vez, adota valores de referência entre 27 e 35 g kg^{-1}. No tratamento testemunha (0 kg ha^{-1} de N + 0 kg ha^{-1} de P_2O_5) o teor do nutriente nas folhas não foi considerado adequado, o que pode justificar em parte o aumento na produtividade de grãos pela cultura em função da aplicação de doses crescentes deste nutriente. Araújo et al. (2004) e Oliveira & Caires (2006) também verificaram aumento no teor de N foliar do milho com o aumento das doses de N aplicadas no solo.

Tabela 13 – Teores de nitrogênio e de fósforo no solo e teores de nitrogênio e de fósforo na planta, em função de doses de nitrogênio e de fósforo aplicadas no solo, Baraúna-RN, 2010

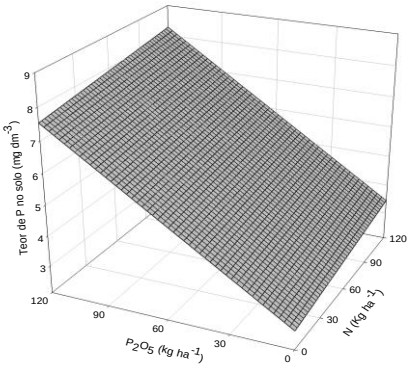
Dose de P_2O_5 (kg ha^{-1})	Dose de N (kg ha^{-1})					Média
	0	30	60	90	120	
	---------- Teor de nitrogênio no solo (g kg^{-1}) ----------					
0	0,84	-	-	-	-	-
30	-	1,04	1,19	1,24	1,30	1,19
60	-	1,05	1,22	1,27	1,24	1,19
90	-	1,03	1,25	1,27	1,20	1,19
120	-	1,02	1,23	1,21	1,24	1,17
Média	-	1,04	1,22	1,25	1,24	1,18
ANAVA(1):	CV(%): 10,4				F_{trat}: 4,23**	
Regressão:	Y = 0,958519 + 0,00267716**N + 0,000260493°P					
	---------- Teor de fósforo no solo(2) (mg dm^{-3}) ----------					
0	2,53	-	-	-	-	-
30	-	4,43	4,00	3,68	6,05	4,54
60	-	5,58	5,13	4,78	6,23	5,43
90	-	7,00	7,03	5,35	7,90	6,82
120	-	15,30	9,23	6,85	14,28	11,41
Média	-	8,08	6,34	5,16	8,61	7,05
ANAVA(1):	CV(%): 14,4				F_{trat}: 49,02**	
Regressão:	Y = 2,71002 + 0,00615602*N + 0,0402197**P					
	---------- Teor de nitrogênio na folha (g kg^{-1}) ----------					
0	22,72	-	-	-	-	-
30	-	31,27	34,05	34,14	34,65	33,53
60	-	33,15	32,25	34,76	33,67	33,46
90	-	33,29	32,98	34,36	34,17	33,70
120	-	29,33	33,07	33,09	34,02	32,38
Média	-	31,76	33,09	34,09	34,13	33,27
ANAVA(1):	CV(%): 2,4				F_{trat}: 52,06**	
Regressão:	Y = 24 + 0,15244**N - 0,00080073**N^2 + 0,11332**P - 0,00079133**P^2					
	---------- Teor de fósforo na folha (g kg^{-1}) ----------					
0	2,19	-	-	-	-	-
30	-	2,60	2,60	2,34	2,39	2,48
60	-	2,77	2,63	2,70	2,64	2,68
90	-	2,99	2,78	2,78	2,67	2,80
120	-	2,90	2,90	2,82	2,85	2,87
Média	-	2,81	2,73	2,66	2,64	2,71
ANAVA(1):	CV(%): 7,60				F_{trat}: 4,41**	
Regressão:	Y = 2,24069 + 0,00177319*N + 0,0131792**P - 0,0000579636**P^2					

(1) Análise de variância considerando o delineamento em blocos ao acaso, com 16 graus de liberdade para tratamentos e 48 graus de liberdade para o resíduo; (2) P extraído com o extrator Mehlich-1; ns, **, * e °: respectivamente, não significativo, significativo a 1%, a 5% e a 10% de probabilidade.

a) $Y = 0{,}958519 + 0{,}00267716^{**}N + 0{,}000260493^{\circ}P \quad R^2 = 0{,}72$



b) $Y = 2{,}71002 + 0{,}00615602^{*}N + 0{,}0402197^{**}P \quad R^2 = 0{,}75$



c) $Y = 24 + 0{,}15244^{**}N - 0{,}00080073^{**}N^2 + 0{,}1133^{**}P - 0{,}0007913^{**}P^2 \quad R^2 = 0{,}86$

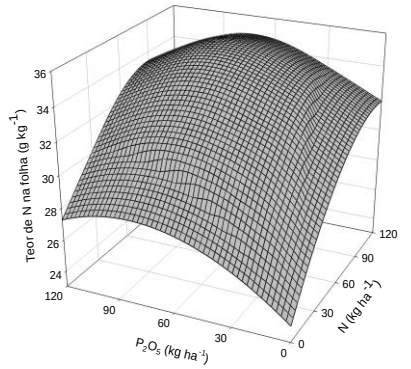


Figura 6 – Superfície de resposta para os teores de nitrogênio (a) e de fósforo no solo (b) e de nitrogênio na folha (c), em função de doses de nitrogênio e de fósforo aplicadas no solo, Baraúna-RN, 2010. **, * e °: respectivamente, significativo a 1%, a 5% e a 10% de probabilidade.

Os teores de P na folha (Tabela 13) variaram de 2,19 g kg^{-1} (0 kg ha^{-1} de N + 0 kg ha^{-1} de P_2O_5) a 2,99 g kg^{-1} (30 kg ha^{-1} de N + 90 kg ha^{-1} de P_2O_5), tendo-se constatado efeito de doses de N nos teores de P na planta. Segundo Khamprath (1987), a adição de fertilizantes nitrogenados ao solo promove o aumento da absorção de P, mesmo em solos com níveis elevados de fósforo, nos quais a adição do ultimo tem pouco efeito. Bull (1993), relata alguns casos mostrando o efeito da interação entre estes elementos. O maior efeito dessa interação é o do aumento da absorção de P quando este nutriente é aplicado juntamente com fontes de nitrogênio amoniacais (Hanway & Olson, 1980).

Pelo modelo de regressão ajustado para o teor de P na folha (Tabela 13 e Figura 7), estima-se que a maior concentração de P na folha seja obtida com a aplicação no solo de 120 kg ha^{-1} de N + 113,68 kg ha^{-1} de P_2O_5. Constata-se também que, na ausência de N e de P_2O_5, a concentração de P na folha é de 2,24 g kg^{-1}. Essa concentração de P na folha estimada pelo modelo para a testemunha (0 kg ha^{-1} de N + 0 kg ha^{-1} de P_2O_5) está abaixo da faixa de suficiência (2,5 - 4,0 g kg^{-1}) indicada por Malavolta (2006). No entanto, verifica-se que com a aplicação das menores doses de N e de P ao solo (30 kg ha^{-1} de N + 30 kg ha^{-1} de P_2O_5), já estima-se uma concentração de 2,64 g kg^{-1} de P na matéria seca das folhas (Tabela 13 e Figura 7), valor esse considerado dentro da faixa de suficiência (Malavolta, 2006). Isso demonstra que a baixa disponibilidade de N e de P no solo, proporciona respostas positivas na concentração desses nutrientes na folha, mesmo aplicando-se pequenas doses dos referidos nutrientes. Valderrama et al. (2011) constataram que o aumento das doses de fósforo aplicadas ao solo (0 kg ha^{-1}, 50 kg ha^{-1}, 100 kg ha^{-1} e 150 kg ha^{-1} de P_2O_5), influenciaram significativamente, o teor de P foliar, ajustando-se à equação quadrática, com ponto de máxima sendo alcançado com a estimativa de aplicação de 127 kg ha^{-1} de P_2O_5, resultados estes próximos aos encontrados neste experimento. Prado et al. (2001), trabalhando com doses (0 kg ha^{-1}, 45,0 kg ha^{-1}, 67,5 kg ha^{-1}, 90,0 kg ha^{-1}, 112,5 kg ha^{-1}, e 135,0 kg ha^{-1} de P_2O_5) e modos de aplicação de P no milho, também observaram efeito positivo para os teores de P foliar.

$$Y = 2{,}24069 + 0{,}00177319*N + 0{,}0131792**P - 0{,}0000579636**P^2 \quad R^2 = 0{,}91$$

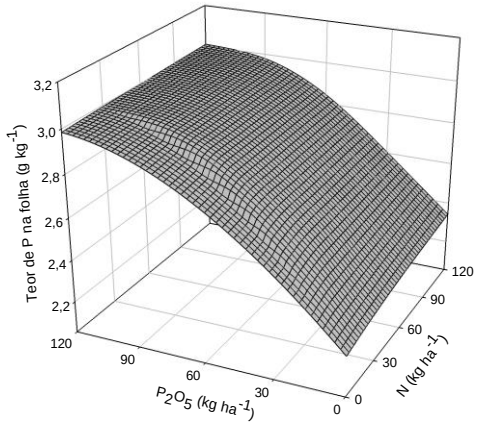


Figura 7 – Superfície de resposta para o teor de fósforo na folha, em função de doses de nitrogênio e de fósforo aplicadas no solo, Baraúna-RN, 2010. ** e *: respectivamente, significativo a 1% e a 5% de probabilidade.

4.1.6. Análise econômica da adubação para a produção de grãos

Na Tabela 14, encontram-se dispostos os valores de produção de grãos estimados pelo modelo de regressão (Tabela 11 e Figura 4b), receita bruta, gastos com fertilizantes nitrogenados e fosfatados e receita líquida em função de doses N e de P_2O_5 aplicadas no solo. De acordo com os resultados obtidos, a maior receita líquida estimada foi de R$ 3.594,69, a qual corresponde a uma produção de 7.406,33 kg ha^{-1} (produção de máxima eficiência econômica), a qual se torna possível com a aplicação de 70 kg ha^{-1} de N + 120 kg ha^{-1} de P_2O_5. Desta forma, para a obtenção dessa receita líquida máxima, o produtor terá que investir R$ 626,92 com fertilizantes nitrogenados e fosfatados.

Tabela 14 - Produção estimada de grãos, receita bruta, custos com fertilizantes nitrogenados e fosfatados e receita líquida, em função de doses de nitrogênio e de fósforo aplicadas no solo, Baraúna-RN, 2010

Dose de N	Dose de P_2O_5	Produção de Grãos [1]	Receita bruta	Custos com fertilizantes	Receita Liquida
---------- kg ha^{-1} ----------			---------- R$ ----------		
0	0	3.481	1.984,48	0,0000	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
72	120	7.422	4.230,62	636,19	3.594,42
76	120	7.448	4.245,40	654,74	3.590,66
80	120	7.466	4.255,88	673,28	3.582,60
82	120	7.472	4.259,51	682,55	3.576,96
85	120	7.478	4.262,94	696,46	3.566,48
88[2]	120[2]	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

[1] Produção estimada pela equação de regressão linear múltipla apresentada na tabela 10 e figura 2b.
[2] Doses de N e de P_2O_5 estimadas pela equação de regressão linear múltipla para a produção de máxima eficiência física.

Para a produção de 6 a 8 t ha^{-1} de grãos de milho, as principais tabelas de recomendação de adubação em uso no país recomendam: (Raij et al., 1997) de 70 à 120 kg ha^{-1} de N e 30 a 90 kg ha^{-1} de P_2O_5; (Ribeiro et al., 1999) de 110 à 120 kg ha^{-1} de N e 50 a 100 kg ha^{-1} de P_2O_5; (Sousa & Lobato, 2004) 80 kg ha^{-1} de N e 30 à 60 kg ha^{-1} de P_2O_5; (Comissão de Química e Fertilidade do Solo - CQFSRS/SC, 2004) de 30 à 90 kg ha^{-1} de N e 0 à 125 kg ha^{-1} de P_2O_5; (Universidade Federal do Ceará,

1993) 90 kg ha^{-1} de N e 40 à 90 kg ha^{-1} de P_2O_5; (Cavalcanti et al., 1998) 90 kg ha^{-1} de N e 20 à 80 kg ha^{-1} de P_2O_5 e (Comissão Estadual de Fertilidade do Solo, 1989) 90 kg ha^{-1} de N e 20 à 80 kg ha^{-1} de P_2O_5. Desta forma, percebe-se que as doses de N e de P_2O_5 recomendadas pelas tabelas citadas à cima não distam com grande magnitude das doses de máxima eficiência econômica encontradas neste experimento.

4.1.7. Níveis críticos de N e de P no solo e na planta para a produção de milho verde e de grãos

Pelo que se observa na Tabela 8 e Figura 1b, a máxima produção de espigas verdes empalhadas comercializáveis se obtém mediante a combinação das doses de 120 kg ha^{-1} de N + 106 kg ha^{-1} de P_2O_5. Entretanto, embora a máxima produção tenha sido estimada para a essa combinação de doses de N e de P_2O_5, de acordo com a análise econômica da adubação para a produção de milho verde (Tabela 9), as doses de máxima eficiência econômica recomendadas foram 60 kg ha^{-1} de N combinado com 103 kg ha^{-1} de P_2O_5. Assim, substituindo-se estes valores de doses de N e de P_2O_5 nas equações das Figuras 6a, 6b, 6c e 7, estima-se que os teores de N no solo e na planta associados à produção de máxima eficiência econômica para a produção de milho verde foram 1,15 g kg^{-1} e 33,54 g kg^{-1}, respectivamente. Com relação ao P, esses teores foram de 7,97 mg dm^{-3} o teor de P no solo e de 3,08 g kg^{-1} o teor de P na planta.

Com relação aos níveis críticos de N e de P associados à produção de máxima eficiência econômica na produção de grãos, verifica-se por meio da Tabela 11 e da Figura 4b, que a máxima produção total de grãos para o milho se obtém mediante a combinação das doses de 88 kg ha^{-1} de N + 120 kg ha^{-1} de P_2O_5. Entretanto, embora essa máxima produção de grãos tenha sido estimada para essa combinação de doses de N e de P_2O_5, de acordo com a análise econômica da adubação (Tabela 14), as doses de máxima eficiência econômica recomendadas foram 70 kg ha^{-1} de N e 120 kg ha^{-1} de P_2O_5. Assim, substituindo-se estes valores

de doses de N e de P_2O_5 nas equações das Figuras 6a, 6b, 6c e 7, estima-se que os teores de N no solo e na planta associados à produção de máxima eficiência econômica para a produção de milho grãos foram de 1,17 g kg^{-1} e de 32,95 g kg^{-1}, respectivamente. Para o P, esses teores foram de 7,97 mg dm^{-3} o teor de P no solo e de 3,11 g kg^{-1} o teor de P na planta.

4.2. Experimento conduzido no município de Mossoró-RN

4.2.1. Rendimento e características das espigas de milho verde

a) Número total de espigas, número de espigas empalhadas comercializáveis e número de espigas despalhadas comercializáveis

Apesar de ter havido efeito significativo de tratamentos para número total de espigas nenhum modelo de regressão se ajustou aos dados dessa variável (Tabela 15). As médias do número total de espigas variaram de 57.143 espigas ha^{-1} (Testemunha) a 65.142 espigas ha^{-1} (120 kg ha^{-1} de P_2O_5 + 90 kg ha^{-1} de N) (Tabela 15). Verifica-se que mesmo tendo havido efeito significativo de tratamentos para esta característica, a média do fatorial (59.986 espigas ha^{-1}) foi apenas 5% maior que a média da testemunha (57.143), indicando que as adubações nitrogenadas e fosfatadas influenciaram com pequena magnitude o número total de espigas produzidas. Além da adubação, a variável número total de espigas por hectare é bastante dependente de fatores ambientais e genéticos do híbrido utilizado. Em experimento com adubação nitrogenada na cultura do milho, Freire et al. (2010) constataram que embora tenha se observado uma tendência de elevação do número total de espigas por hectare em resposta à aplicação de N, essa variável não foi afetada de forma significativa pelas doses de N aplicadas. Por outro lado, em experimento de adubação com cultivares diferentes daquela do experimento dos autores mencionados acima, Ferreira et al. (2001), Silva et al. (2003) e Veloso et al. (2006), constataram efeito da aplicação de nitrogênio sobre tal variável.

Tabela 15 – Número total de espigas, número de espigas empalhadas e despalhadas comercializáveis, em função de doses de nitrogênio e de fósforo aplicadas no solo, Mossoró-RN, 2010

Dose de P_2O_5 (kg ha^{-1})	Dose de N (kg ha^{-1})					Média
	0	30	60	90	120	
	---------- Número total de espigas (espigas ha^{-1}) ----------					
0	57.143	-	-	-	-	-
30	-	62.500	58.929	60.714	62.500	61.161
60	-	62.500	64.286	64.286	60.714	62.946
90	-	64.286	64.286	60.714	44.643	58.482
120	-	60.714	60.714	65.142	42.857	57.357
Média	-	62.500	62.053	62.714	52.678	59.986
ANAVA[(1)]:	CV(%): 9,6				F_{trat}: 4,81**	
Regressão:	Nenhum modelo se ajustou aos dados					
	--- Número de espigas empalhadas comercializáveis (espigas ha^{-1}) --					
0	14.286	-	-	-	-	-
30	-	26.190	44.643	40.476	42.857	38.541
60	-	39.286	45.238	44.643	50.000	44.792
90	-	40.476	48.214	48.214	55.357	48.065
120	-	46.429	46.429	53.571	57.143	50.893
Média	-	38.095	46.131	46.726	51.339	45.573
ANAVA[(1)]:	CV(%): 17,9				F_{trat}: 7,13**	
Regressão:	Y = 20.568,8 + 176,477*N + 149,691*P					
	-- Número de espigas despalhadas comercializáveis (espigas ha^{-1}) ---					
0	10.714	-	-	-	-	-
30	-	25.000	32.143	33.929	37.500	32.143
60	-	30.357	37.500	39.286	44.643	37.946
90	-	33.929	41.071	44.643	50.000	42.411
120	-	42.857	44.643	48.214	53.571	47.321
Média	-	33.036	38.839	41.518	46.428	39.955
ANAVA[(1)]:	CV(%): 22,4				F_{trat}: 5,79**	
Regressão:	Y = 14.285,7 + 157,738*N + 181,548*P					

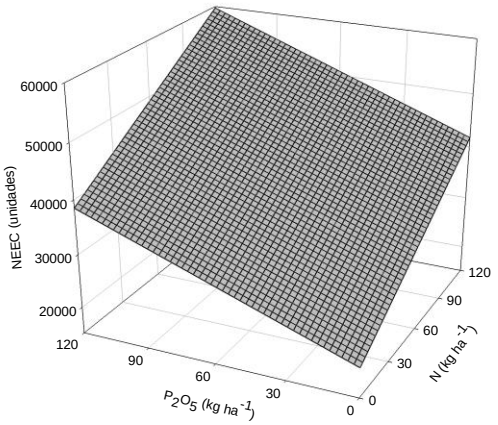
Fonte: Dados obtidos na pesquisa (2010). [(1)]Análise de variância considerando o delineamento em blocos ao acaso, com 16 graus de liberdade para tratamentos e 48 graus de liberdade para o resíduo. ** e *: respectivamente, significativo a 1% e a 5% de probabilidade.

A cultura do milho responde normalmente às fertilizações fosfatadas de plantio e aos seus efeitos residuais, com significativos aumentos na produção, inclusive no número de espigas empalhadas e despalhadas comercializáveis (Silva et al., 2000; Santos et al., 2011).

Diferentemente do número total de espigas por hectare, para as demais características relacionadas ao número de espigas, a análise de regressão evidenciou que foi possível o ajuste de um modelo de regressão com valor elevado de R^2 (Tabela 15, Figura 8). Tanto o número de espigas empalhadas comercializáveis quanto o número de espigas despalhadas comercializáveis apresentaram resposta linear crescente com as doses de N e de P_2O_5 aplicadas ao solo (Figura 8). O número de espigas empalhadas comercializáveis, obtido neste trabalho, variou de 20.569 a 59.709 espigas ha^{-1} (Figura 8) e, o número de espigas despalhadas comercializáveis variou de 14.286 a 55.000 espigas ha^{-1} (Figura 8).

Efeito de níveis de adubação nitrogenada e fosfatada, sobre o número de espigas empalhadas e despalhadas comercializáveis foi também verificado por Lucena et al. (2000), onde os autores verificaram respostas positivas e significativas à aplicação de doses crescentes de nitrogênio e de fósforo ao solo. Freire et al. (2010) também verificaram respostas à aplicação das doses de N para a produção de espigas comerciais com palha. Silva & Silva (2003) estudaram o efeito do parcelamento da dose recomendada de N no número de espigas empalhadas comercializáveis e no número de espigas despalhadas comercializáveis e verificaram maiores rendimentos quando a dose total de N foi aplicada aos 45 dias após o plantio ou quando 1/3 dessa dose de N foi aplicada aos 25 dias após o plantio e os 2/3 restantes aos 45 após o plantio. Mesmo que neste trabalho os autores não tenham trabalhado com variação de doses de N, mas com o parcelamento da dose recomendada de N, isso evidencia que o número de espigas empalhadas e despalhadas comercializáveis são características que respondem bem a variações na disponibilidade de N no solo.

a) $Y = 20.568,8 + 176,477*N + 149,691*P \quad R^2 = 0,87$



b) $Y = 14.285,7 + 157,738*N + 181,548*P \quad R^2 = 0,97$

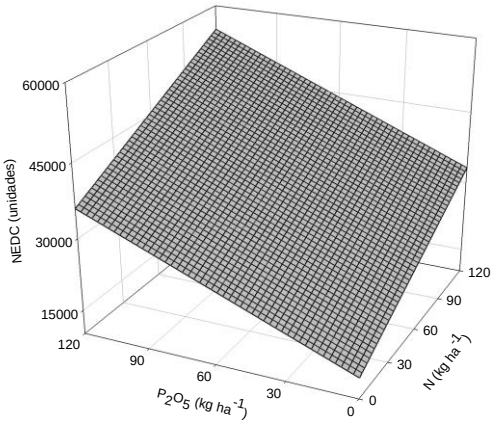


Figura 8 – Superfície de resposta para o número de espigas empalhadas comercializáveis (NEEC) (a) e para o número de espigas despalhadas comercializáveis (NEDC) (b), em função de doses de nitrogênio e de fósforo aplicadas no solo, Mossoró-RN, 2010. *: significativo a 5% de probabilidade.

b) Peso total de espigas, peso de espigas empalhadas comercializáveis e peso de espigas despalhadas comercializáveis

Para todas as características relacionadas ao peso de espigas a análise de variância revelou efeito significativo de tratamentos e a análise de regressão evidenciou que foi possível o ajuste de um modelo de regressão com valor elevado de R^2 (Tabela 16 e Figura 9). Verificou-se também que, em todas as características relacionadas ao peso de espigas houve efeito positivo e linear para a adubação nitrogenada e fosfatada (Tabela 16 e Figura 9), indicando que o maior peso de espigas foi obtido com a combinação das doses de 120 kg ha^{-1} de N + 120 kg ha^{-1} de P_2O_5, sugerindo-se assim que possivelmente haveria resposta positiva à aplicação de doses maiores. Incrementos no peso das espigas empalhadas e despalhadas, como consequência do aumento das doses de N aplicadas ao solo, foi também constatado por (Ferreira et al., 2001; Silva et al., 2003; Cardoso et al., 2010 e Freire et al., 2010).

Em todas as características relacionadas ao peso de espigas, a diferença entre a produção obtida no tratamento testemunha (0 kg ha^{-1} de N + 0 kg ha^{-1} de P_2O_5) e o tratamento referente à aplicação das menores doses de nutrientes (30 kg ha^{-1} de N + 30 kg ha^{-1} de P_2O_5) é de grande magnitude. Para o peso de espigas empalhadas comercializáveis, a produção obtida com a aplicação de 30 kg ha^{-1} de N + 30 kg ha^{-1} de P_2O_5 (6.395 espigas ha^{-1}) foi 2,7 vezes maior que a obtida no tratamento testemunha (2.329 espigas ha^{-1}), sem a aplicação de N e de P_2O_5 (Tabela 16). Se for considerado o peso de espigas despalhadas comercializáveis, essa diferença chega também a 2,7 vezes. Contrastando a testemunha com o tratamento resultante da combinação das menores doses de N e P_2O_5 verifica-se efeito significativo ao nível de 5% de probabilidade para o contraste testado.

Esses resultados confirmam que o solo da área experimental apresenta baixa disponibilidade de N e de P e que, por isso, responde positivamente às adubações com doses crescentes desses nutrientes, mesmo ao aplicar-se pequenas doses.

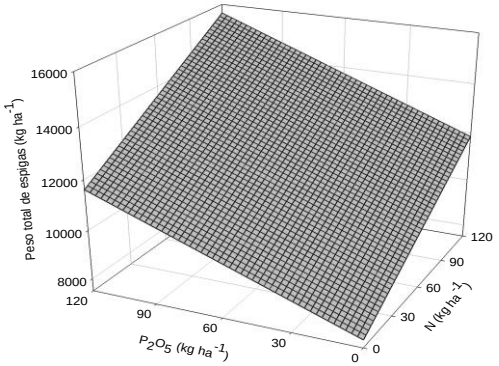
Tabela 16 - Peso total de espigas, peso de espigas empalhadas e despalhadas comercializáveis, em função de doses de nitrogênio e de fósforo aplicadas no solo, Mossoró-RN, 2010

Dose de P_2O_5 (kg ha^{-1})	Dose de N (kg ha^{-1})					Média
	0	30	60	90	120	
	---------- Peso total de espigas (espigas ha^{-1}) ----------					
0	6.982	-	-	-	-	-
30	-	8.933	10.726	12.141	12.462	11.065
60	-	9.866	11.683	12.395	12.854	11.699
90	-	11.575	12.129	14.104	14.252	13.015
120	-	14.088	14.536	14.143	14.964	14.433
Média	-	11.115	12.268	13.196	13.633	12.553
ANAVA[(1)]:	CV(%): 12,3				F_{trat}: 7,29**	
Regressão:	Y = 7.819,51 + 33,553**N + 31,6631**P					
	---- Peso de espigas empalhadas comercializáveis (espigas ha^{-1}) ----					
0	2.329	-	-	-	-	-
30	-	6.395[(2)]	9.502	9.652	10.982	9.133
60	-	6.636	11.210	10.382	12.593	10.205
90	-	7.768	11.162	12.134	12.834	10.974
120	-	8.721	11.734	13.257	13.664	11.844
Média	-	7.380	10.902	11.356	12.518	10.539
ANAVA[(1)]:	CV(%): 21,1				F_{trat}: 7,61**	
Regressão:	Y = 3.401,19 + 54,6329**N + 39,6389*P					
	----- Peso de espigas despalhadas comercializáveis (espigas ha^{-1}) ---					
0	1.345	-	-	-	-	-
30	-	3.618	4.530	4.782	5.893	4.706
60	-	3.680	5.437	5.946	7.543	5.651
90	-	3.748	5.884	6.695	8.773	6.275
120	-	4.674	6.859	8.455	9.464	7.363
Média	-	3.930	5.677	6.469	7.918	5.999
ANAVA[(1)]:	CV(%): 31,2				F_{trat}: 5,11**	
Regressão:	Y = 988,493 + 37,7318**N + 30,4729*P					

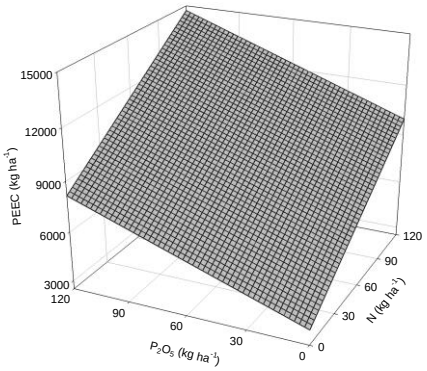
Fonte: Dados obtidos na pesquisa (2010). [(1)]Análise de variância considerando o delineamento em blocos ao acaso, com 16 graus de liberdade para tratamentos e 48 graus de liberdade para o resíduo. [(2)]Difere da testemunha, pelo teste de Dunnet a 5%. ** e *: respectivamente, significativo a 1% e a 5% de probabilidade.

Infere-se desta forma, que qualquer combinação de doses de N e de P_2O_5, maior ou igual a 30 kg ha^{-1}, é muito mais vantajosa para o aumento do peso das espigas empalhadas do que não se adubar com esses nutrientes.

a) $Y = 7.819,51 + 33,553^{**}N + 31,6631^{**}P \quad R^2 = 0,89$



b) $Y = 3.401,19 + 54,6329^{**}N + 39,6389^{*}P \quad R^2 = 0,94$



c) $Y = 988,493 + 37,7318^{**}N + 30,4729^{*}P \quad R^2 = 0,95$

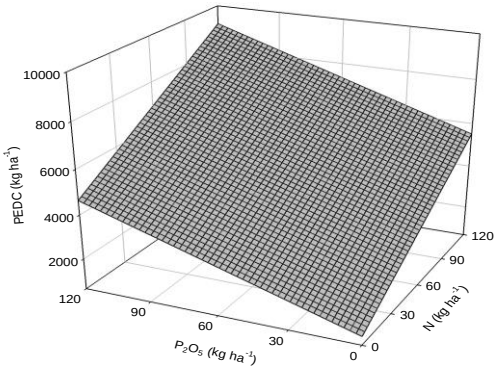


Figura 9 – Superfície de resposta para o peso total de espigas (a), para o peso de espigas empalhadas comercializáveis (PEEC) (b) e para o peso de espigas despalhadas comercializáveis (PEDC) (c), em função de doses de nitrogênio e de fósforo aplicadas no solo, Mossoró-RN, 2010. ** e *: respectivamente, significativo a 1% e a 5% de probabilidade.

Para Cantarella (1993), a magnitude das respostas ao nitrogênio em ensaios com a cultura do milho conduzidos no Brasil tem sido variável, mas a maioria dos estudos indicam respostas positivas quando se varia as doses de N entre 30 e 90 kg ha^{-1}, devido, em parte, aos níveis de produtividade relativamente baixos desta cultura.

Em experimento com a cultura do milho verde adubada com nitrogênio e fósforo, Lucena et al. (2000) verificaram que o aumento das doses de N e de P_2O_5 aplicadas no solo aumentou o peso de espigas empalhadas e despalhadas, mas não foi verificado efeito da interação entre esses fatores. Esses resultados concordam com os que foram encontrados neste trabalho. Ferreira et al. (2001) também verificaram incrementos no peso das espigas empalhadas e despalhadas como consequência do aumento das doses de N aplicadas no solo.

4.2.2. Análise econômica da adubação para a produção de milho verde

A característica peso de espigas empalhadas comercializáveis é muito importante para a comercialização do milho verde nas centrais de abastecimento e nas feiras livres, onde o consumidor sempre tende a escolher as espigas maiores e mais pesadas. Assim, esses atributos devem ser considerados na comercialização do milho verde para o consumo *in natura* (Albuquerque et al., 2008).

O peso de espigas empalhadas comercializáveis apresentou efeito positivo e linear para as doses de N e de P_2O_5 estudadas, podendo-se inferir que as doses de N e de P_2O_5 utilizadas não foram suficientes para atingir a máxima produção. No Brasil, as recomendações de corretivos e fertilizantes têm sido feitas mediante a utilização de tabelas publicadas em vários Estados ou regiões do país (Comissão Estadual de Fertilidade do Solo, 1989; Universidade Federal do Ceará, 1993; Raij et al., 1997; Cavalcanti et al., 1998; Ribeiro et al., 1999; Sousa & Lobato, 2004 e Comissão de Química e Fertilidade do Solo - CQFSRS/SC, 2004). Para a produção de 6 a 8 t ha^{-1} de grãos de milho, essas tabelas por sua vez, recomendam doses de N e de P_2O_5 que variam de 30 a 120 kg ha^{-1} de N (média de 69 kg ha^{-1}) e de 0 a 125 kg ha^{-1} de P_2O_5 (média de 58 kg ha^{-1}), de acordo com o teor de P no solo e com a

tabela de recomendação de adubação. Assim, em média, as tabelas de recomendação de adubação recomendam doses de N e de P_2O_5 inferiores àquelas às quais se obteria a máxima eficiência física neste trabalho.

Atribuindo-se o valor de 60 kg ha^{-1} para a dose de N e de 70 kg ha^{-1} para a dose de P_2O_5 na função de produção (Figura 9b), obtém-se a produção de 9.454 espigas ha^{-1} (Tabela 17 e Figura 9b), valor correspondente a 64% da maior produção obtida (14.714 espigas ha^{-1}) com a aplicação de 120 kg ha^{-1} de N + 120 kg ha^{-1} de P_2O_5 (Tabela 17 e Figura 9b). Portanto, a diminuição das doses de N para 60 kg ha^{-1} e de P_2O_5 para 70 kg ha^{-1} reduz o peso das espigas empalhadas comercializáveis em 5.260 kg ha^{-1}. Tendo em vista que na propriedade rural, 1 kg de espigas empalhadas comercializáveis foi cotado a R$ 0,72, em junho de 2012, a diminuição na receita bruta do produtor rural seria de R$ 3.787,14, caso ele diminuísse a dose de N de 120 kg ha^{-1} para 60 kg ha^{-1} e a dose de P_2O_5 de 120 kg ha^{-1} para 70 kg ha^{-1}.

Considerando que um saco de superfosfato triplo custa R$ 53,00, o de uréia custa R$ 94,00 e o de sulfato de amônio custa R$ 47,50, o preço de 1 kg de P_2O_5 via superfosfato triplo custa R$ 2,52, 1 kg de N via uréia custa R$ 4,18 e 1 kg de N via sulfato de amônio custa R$ 4,75. Para calcular o custo da adubação nitrogenada, considerou-se que 20% da dose de N foi aplicada via uréia e 80% via sulfato de amônio. Com base nessas informações e nos valores das doses de N e de P aplicadas, calculou-se o custo da adubação (Tabela 17). Dessa forma, constata-se que a diminuição na dose de N de 120 kg ha^{-1} para 60 kg ha^{-1} gera uma economia de R$ 278,16 nas compras de uréia e de sulfato de amônio. Para P, a diminuição da dose de 120 kg ha^{-1} de P_2O_5 para 70 kg ha^{-1} de P_2O_5 gera uma economia na compra do superfosfato triplo de R$ 126,00. Logo, reduzindo a dose de N pela metade e a dose de P_2O_5 de 120 kg ha^{-1} para 70 kg ha^{-1}, obtém-se uma economia de R$ 404,16 na compra de fertilizantes nitrogenados e fosfatados, no entanto, o produtor perde R$ 3.787,14 de receita bruta pela diminuição no peso das espigas empalhadas.

.

Tabela 17 – Peso estimado de espigas empalhadas comercializáveis (PEEC), receita bruta, custos com fertilizantes nitrogenados e fosfatados e receita líquida, em função de doses de nitrogênio e de fósforo aplicadas no solo, Mossoró-RN, 2010

Dose de N	Dose de P_2O_5	PEEC[(1)]	Receita bruta	Custos com fertilizantes	Receita Liquida
---------- kg ha^{-1} ----------			---------- R$ ----------		
0	0	3.401	2.448,86	0,0000	2.448,86
30	30	6.229	4.485,13	214,68	4.270,45
30	60	7.419	5.341,33	290,28	5.051,05
30	90	8.608	6.197,53	365,88	5.831,65
30	**120**	**9.797**	**7.053,73**	**441,48**	**6.612,25**
60	30	7.868	5.665,20	353,76	5.311,44
60	60	9.057	6.521,40	429,36	6.092,04
60	**70**	**9.454**	**6.806,80**	**454,56**	**6.352,24**
60	90	10.247	7.377,60	504,96	6.872,64
60	103	10.762	7.748,62	537,72	7.210,90
60	**120**	**11.436**	**8.233,80**	**580,56**	**7.653,24**
90	30	9.507	6.845,27	492,84	6.352,43
90	60	10.696	7.701,47	568,44	7.133,03
90	90	11.886	8.557,67	644,04	7.913,03
90	**120**	**13.075**	**9.413,87**	**719,64**	**8.694,23**
120	30	11.146	8.025,34	631,92	7.393,42
120	60	12.335	8.851,54	707,52	8.174,02
120	90	13.525	9.737,74	783,12	8.954,62
120	**120**	**14.714**	**10.593,94**	**858,72**	**9.735,22**

[(1)] Produção estimada pela equação de regressão linear múltipla apresentada na tabela 16 e figura 9b.

Pelo exposto, as doses de 60 kg ha^{-1} de N e de 70 kg ha^{-1} de P_2O_5 não podem ser consideradas como as doses correspondentes à máxima eficiência econômica, o que discorda com as doses médias de N e de P_2O_5 recomendadas pelas tabelas de recomendação em uso no país. No presente trabalho, a maior receita líquida obtida para o peso de espigas empalhadas comercializáveis foi proporcionada com a aplicação de 120 kg ha^{-1} de N combinado com 120 kg ha^{-1} de P_2O_5, de modo que essas doses (120 kg ha^{-1} de N combinado com 120 kg ha^{-1} de P_2O_5) podem ser consideradas como as doses de máxima eficiência econômica

4.2.3. Altura de plantas, inserção de espigas, diâmetro do colmo e matéria seca

As doses de N e de P_2O_5 aplicadas ao solo exerceram efeitos significativos sobre as variáveis altura de planta, inserção de espigas, diâmetro do colmo e matéria seca (Tabela 18). Para a variável altura de planta a média dos tratamentos (1,81 m) foi 13,1% maior que a média da testemunha (1,60 m) e o modelo da equação de regressão que melhor se ajustou tanto às doses de N quanto às doses de P_2O_5 foi o linear, inferindo que as doses de N e de P_2O_5 utilizadas não foram suficientes para a obtenção da máxima altura de planta (Tabela 18 e Figura 10).

Da mesma forma que verificado para a altura de plantas, para a altura da inserção de espigas o modelo da equação de regressão que melhor se ajustou tanto às doses de N quanto às doses de P_2O_5 foi o modelo linear (Tabela 18 e Figura 11a), inferindo-se assim que, as doses de N e de P_2O_5 utilizadas não foram suficientes para a obtenção da máxima altura de inserção de espigas. Verifica-se também que a média dos tratamentos (1,04 m) foi 25,3% maior que a média da testemunha (0,83 m) (Tabela 18). Estudando o efeito do incremento das doses de N e de P_2O_5 aplicadas no solo, Valderrama et al. (2011) não verificaram influência do incremento das doses sobre essa característica. No entanto, sabe-se que a disponibilidade de N no solo afeta a altura de planta e a altura da inserção de espigas (Gomes et al., 2007; Duete et al., 2008). Estudando o efeito de doses de N sobre os componentes de produção de cultivares de milho, Cruz et al. (2008) verificaram que doses de N acima de 80 kg ha^{-1} não contribuíram para o aumento da altura de planta. Com relação ao fósforo, Lucena et al. (2000), testando doses do nutriente (0 kg ha^{-1}, 60 kg ha^{-1}, 120 kg ha^{-1}, 180 kg ha^{-1} e 240 kg ha^{-1} de P_2O_5), verificaram aumento da altura de plantas de milho, até a dose de 177 kg ha^{-1} de P_2O_5.

Com relação a variável diâmetro do colmo, constatou-se também efeito positivo e linear para as adubações nitrogenada e fosfatada (Tabela 18, Figura 11b), indicando que o maior diâmetro do colmo foi obtido com a dose de 120 kg ha^{-1} de N + 120 kg ha^{-1} de P_2O_5 e, que possivelmente haveria resposta positiva para essa característica à aplicação de doses maiores. Verifica-se também que as médias dos tratamentos encontradas (2,25 cm) foi 10,84% maior que a média da testemunha.

Tabela 18 - Altura de plantas, altura da inserção de espigas, diâmetro do colmo e matéria seca, em função de doses de nitrogênio e de fósforo aplicadas no solo, Mossoró-RN, 2010

Dose de P_2O_5 (kg ha^{-1})	Dose de N (kg ha^{-1})					Média
	0	30	60	90	120	
	---------- Altura de plantas (m) ----------					
0	1,60	-	-	-	-	-
30	-	1,73	1,78	1,81	1,82	1,78
60	-	1,75	1,74	1,85	1,88	1,80
90	-	1,77	1,76	1,87	1,88	1,82
120	-	1,80	1,81	1,84	1,89	1,83
Média	-	1,76	1,77	1,84	1,87	1,81
ANAVA(1):	CV(%): 5,7				F_{trat}: 1,98*	
Regressão:	Y = 1,64396 + 0,00146318**N + 0,000721513*P					
	---------- Altura da inserção de espigas (m) ----------					
0	0,83	-	-	-	-	-
30	-	0,96	1,01	1,06	1,03	1,01
60	-	0,96	1,02	1,07	1,11	1,04
90	-	0,96	1,03	1,05	1,13	1,04
120	-	1,02	1,04	1,05	1,13	1,06
Média	-	0,97	1,02	1,06	1,10	1,04
ANAVA(1):	CV(%): 7,9				F_{trat}: 3,29**	
Regressão:	Y = 0,8715 + 0,00155917**N + 0,0006325*P					
	---------- Diâmetro do colmo (cm) ----------					
0	2,03	-	-	-	-	-
30	-	2,05	2,14	2,20	2,25	2,16
60	-	2,13	2,20	2,22	2,26	2,20
90	-	2,32	2,20	2,31	2,27	2,27
120	-	2,39	2,34	2,31	2,40	2,36
Média	-	2,22	2,22	2,26	2,29	2,25
ANAVA(1):	CV(%): 4,9				F_{trat}: 3,73**	
Regressão:	Y = 2,02195 + 0,000841682*N + 0,00219043**P					
	---------- Matéria seca (kg ha^{-1}) ----------					
0	6.003	-	-	-	-	-
30	-	7.720	8.241	9.672	9.478	8.778
60	-	7.856	8.623	9.840	10.666	9.246
90	-	9.359	8.914	10.322	10.941	9.884
120	-	8.952	12.163	10.376	10.913	10.601
Média	-	8.472	9.485	10.052	10.499	9.627
ANAVA(1):	CV(%): 15,1				F_{trat}: 4,34**	
Regressão:	Y = 6.260,58 + 23,2417**N + 21,4317**P					

(1) Análise de variância considerando o delineamento em blocos ao acaso, com 16 graus de liberdade para tratamentos e 48 graus de liberdade para o resíduo. ** e *: respectivamente, significativo a 1% e a 5% de probabilidade.

$$Y = 1{,}64396 + 0{,}00146318^{**}N + 0{,}000721513^{*}P \quad R^2 = 0{,}88$$

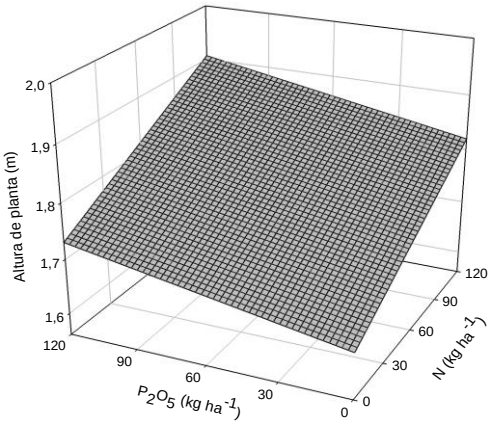
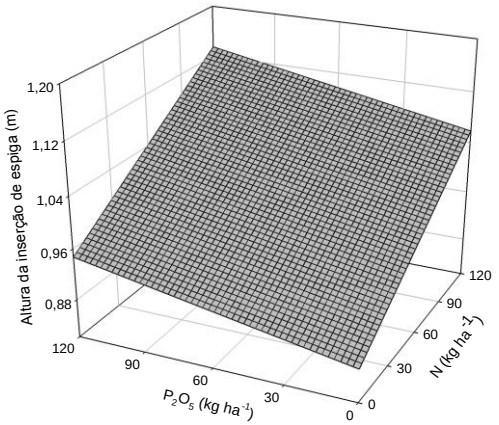


Figura 10 – Superfície de resposta para a altura de planta, em função de doses de nitrogênio e de fósforo aplicadas no solo, Mossoró-RN, 2010. ** e *: respectivamente, significativo a 1% e a 5% de probabilidade.

Os resultados encontrados para essa componente de produção não estão além ou aquém daqueles encontrados na literatura. Oliveira et al. (2009), avaliando o efeito da aplicação de doses de nitrogênio e de fósforo nas variáveis de crescimento da cultura do milho verificaram que o diâmetro do colmo cresceu até a aplicação das doses de 100 kg ha^{-1} de N + 150 kg ha^{-1} de P_2O_5. Verifica-se assim, que os resultados encontrados por esses autores são coerentes com os resultados encontrados nesse experimento. Respostas no diâmetro do colmo na cultura do milho em função da aplicação de doses de N e de P_2O_5 no solo foram também constatadas por Lucena et al. (2000).

a) $Y = 0,8715 + 0,00155917^{**}N + 0,0006325^{*}P \quad R^2 = 0,89$



b) $Y = 2,02195 + 0,000841682^{*}N + 0,00219043^{**}P \quad R^2 = 0,81$

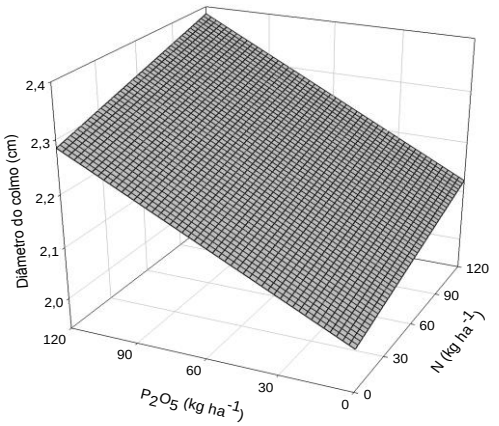


Figura 11 – Superfície de resposta para a altura da inserção de espigas (a) e para o diâmetro do colmo (b), em função de doses de nitrogênio e de fósforo aplicadas no solo, Mossoró-RN, 2010. ** e *: respectivamente, significativo a 1% e a 5% de probabilidade.

A produção de matéria seca em função das doses nitrogenadas e fosfatadas aplicadas ao solo apresentou efeito positivo e linear, (Tabela 18 e Figura 12), indicando que a maior produção de matéria seca foi obtida com a dose de 120 kg ha^{-1} de N combinado com 120 kg ha^{-1} de P_2O_5 e, que possivelmente haveria resposta positiva para essa característica à aplicação de doses maiores de N e de P_2O_5. Verifica-se também que a média dos tratamentos para a produção de matéria seca obtida de 9.627 kg ha^{-1} foi 60,4% maior que a produção obtida no tratamento testemunha (0 kg ha^{-1} de N + 0 kg ha^{-1} de P_2O_5). Esses resultados confirmam a baixa disponibilidade de N e de P no solo da área experimental e que, por isso, ao aplicar-se pequenas doses de N e de P_2O_5 (30 kg ha^{-1} de N + 30 kg ha^{-1} de P_2O_5), já constata-se incrementos na produção de matéria seca da ordem de 28,6% em relação ao tratamento testemunha (0 kg ha^{-1} de N + 0 kg ha^{-1} de P_2O_5) (Tabela 18).

As doses encontradas para a maior produção de matéria seca nesse trabalho não diferem muito das doses encontradas na literatura para a máxima produção dessa componente de produção, independentemente da cultivar utilizada. Oliveira et al. (2009) verificaram que na faixa das doses de N empregadas (0 kg ha^{-1}, 40 kg ha^{-1}, 80 kg ha^{-1} e 120 kg ha^{-1}) essas doses de N promoveram incremento linear na produção de matéria seca das plantas de milho e para o fósforo a máxima produção de matéria seca da cultura foi obtida com a dose de 120 kg ha^{-1} de P_2O_5, resultados bastantes coerentes com os obtidos nesse trabalho. Em condições de campo, em um Latossolo Vermelho Distroférrico irrigado, Araújo et al. (2004) obtiveram aumento significativo ($p < 0,01$) na produção de matéria seca da parte aérea e de grãos do milho até a aplicação de 180 kg ha^{-1} de N. Por outro lado, Lucena et al. (2000) obtiveram a máxima produção de matéria seca com a aplicação de 117 kg ha^{-1} de N e com 175 kg ha^{-1} de P_2O_5.

$$Y = 6.260,58 + 23,2417^{**}N + 21,4317^{**}P \quad R^2 = 0,81$$

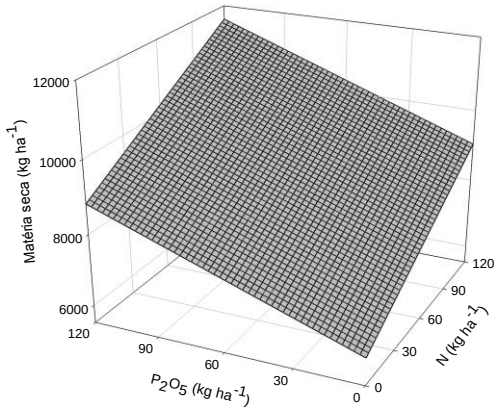


Figura 12 – Superfície de resposta para a matéria seca, em função de doses de nitrogênio e de fósforo aplicadas no solo, Mossoró-RN, 2010. **: significativo a 1% de probabilidade.

4.2.4. Rendimento e características das espigas de milho seco

As doses de N e de P_2O_5 aplicadas não influenciaram significativamente o número médio de espigas por hectare e nem a massa de 100 grãos do milho e nenhum modelo de regressão se ajustou aos dados observados para essas variáveis (Tabela 19).

As respostas da massa de grãos à adubação nitrogenada têm sido muito variáveis. A exemplo disso, Valderrama et al. (2011) não verificaram efeito das doses de N na massa de 100 grãos do milho. Por outro lado, Oliveira & Caires (2003) observaram aumento linear da massa de 100 grãos e concluíram que tal componente de produção foi decisivo para aumentar a produtividade de grãos, utilizando-se as doses de 0 kg ha^{-1}, 30 kg ha^{-1}, 60 kg ha^{-1}, 90 kg ha^{-1} e 120 kg ha^{-1} de N.

Tabela 19 – Número de espigas, massa de 100 grãos e produtividade de grãos, em função de doses de nitrogênio e de fósforo aplicadas no solo, Mossoró-RN, 2010

Dose de P_2O_5 (kg ha^{-1})	Dose de N (kg ha^{-1})					Média
	0	30	60	90	120	
	---------- Nº de espigas ha^{-1} ----------					
0	46.428	-	-	-	-	-
30	-	52.678	52.678	54.464	58.928	54.687
60	-	57.142	57.143	56.250	58.036	57.143
90	-	58.035	58.036	57.359	58.928	58.090
120	-	57.143	57.143	58.928	58.036	57.813
Média	-	56.250	56.250	56.750	58.482	56.933
ANAVA(1):	CV(%): 8,9				F_{trat}: $1,62^{ns}$	
Regressão:	Nenhum modelo se ajustou aos dados					
	---------- Massa de 100 grãos (g) ----------					
0	21,11	-	-	-	-	-
30	-	26,00	27,23	26,64	25,76	26,41
60	-	29,00	28,01	26,87	27,02	27,72
90	-	29,11	28,29	26,98	28,26	28,16
120	-	29,27	26,70	27,43	28,42	27,96
Média	-	28,34	27,56	26,98	27,36	27,56
ANAVA(1):	CV(%): 5,5				F_{trat}: $6,37^{ns}$	
Regressão:	Nenhum modelo se ajustou aos dados					
	---------- Produtividade de grãos (kg ha^{-1}) ----------					
0	1.857	-	-	-	-	-
30	-	3.567(2)	4.286	4.312	4.942	4.277
60	-	3.951	4.440	4.647	5.396	4.608
90	-	4.522	4.611	4.808	5.487	4.857
120	-	4.835	5.214	4.854	5.489	5.098
Média	-	4.219	4.638	4.655	5.328	4.710
ANAVA(1):	CV(%): 8,6				F_{trat}: 19,76**	
Regressão:	$Y = 2.233,24 + 12,7084^{**}N + 34,1615^{**}P - 0,157128^{**}P^2$					

Fonte: Dados obtidos na pesquisa (2010). (1) Análise de variância considerando o delineamento em blocos ao acaso, com 16 graus de liberdade para tratamentos e 48 graus de liberdade para o resíduo. (2)Difere da testemunha, pelo teste de Dunnet a 1%. ns e **: respectivamente, não significativo e significativo a 1% de probabilidade.

Com relação ao número médio de espigas por hectare, infere-se que as respostas dessa característica à adubação depende também de outros fatores, a exemplo da cultivar utilizada. Aumento no número médio de espigas por hectare em função do aumento das doses de nitrogênio aplicadas no solo também não foram constatados por Aratani et al. (2006) e Freire et al. (2010). Avaliando o efeito de doses e fontes de N, P e K nos componentes de produção e na produtividade da cultura do milho. Valderrama et al. (2011), também não verificaram aumento no número médio de espigas por hectare em função do aumento das doses de nitrogênio e de fósforo aplicadas no solo. No entanto, em Monteiro et al.(1989), Ferreira et al. (2001) e Veloso et al. (2006) foi constatado o efeito da aplicação de nitrogênio no número de espigas por hectare.

O aumento das doses de N e de P_2O_5 aplicadas ao solo influenciou positivamente ($P < 0,01$) a produtividade de grãos (Tabela 19). Comparando-se a produtividade da testemunha (1.857 kg ha^{-1}) com a média geral dos tratamentos (4.710 kg ha^{-1}) verifica-se que as adubações nitrogenadas e fosfatadas proporcionaram incremento na produtividade de grãos de 153,63% em relação à testemunha (Tabela 19). Ao contrastar o tratamento referente a ausência de aplicação de N e de P (Testemunha) com o tratamento resultante da combinação das menores doses de N e de P_2O_5 (30 kg ha^{-1} de N + 30 kg ha^{-1} de P_2O_5) constatou-se que houve significância ao nível de 1% de probabilidade para esse contraste, evidenciando que a aplicação de qualquer combinação de doses de N e de P_2O_5, maior ou igual a 30 kg ha^{-1}, é muito mais vantajosa do que não se adubar com esses nutrientes.

O modelo da equação de regressão que melhor se ajustou as doses de N foi o linear, inferindo que as doses utilizadas não foram suficientes para a obtenção da máxima produtividade de grãos. Para as doses de P_2O_5 foi ajustado o modelo quadrático, apresentando a produtividade máxima estimada com a dose de 108,7 kg ha^{-1} de P_2O_5 (Tabela 19 e Figura 13).

$$Y = 2.233,24 + 12,7084^{**}N + 34,1615^{**}P - 0,157128^{**}P^2 \quad R^2 = 0,91$$

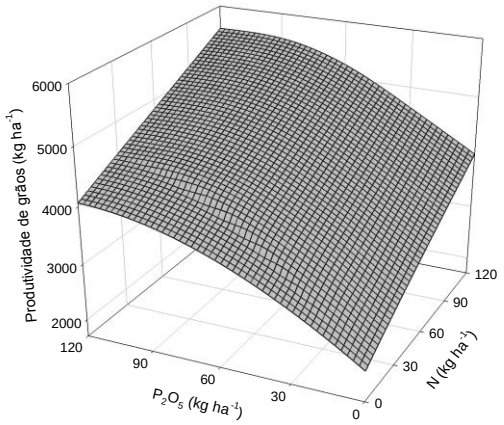


Figura 13 – Superfície de resposta para a produtividade de grãos, em função de doses de nitrogênio e de fósforo aplicadas no solo, Mossoró-RN, 2010. **: significativo a 1% probabilidade.

As doses de N e de P_2O_5 recomendadas por boa parte das literaturas para a obtenção de produtividades de grãos consideradas elevadas não distam com grandes magnitudes das doses de N e de P_2O_5 recomendadas para a máxima produtividade obtida neste trabalho (120 kg ha^{-1} de N + 120 kg ha^{-1} de P_2O_5).

Aumento na produtividade de grãos em função do aumento das doses de N aplicadas no solo, foram também verificados por Valderrama et al. (2011), sendo a maior produtividade obtida com a dose de 120 kg ha^{-1} de N. Soares (2003), estudando doses crescentes de nitrogênio (0 kg ha^{-1}, 120 kg ha^{-1} e 240 kg ha^{-1}), verificou que a máxima produtividade de grãos (9.182 kg ha^{-1}) foi obtida mediante o uso da dose de 203 kg ha^{-1} de N, sendo esta dose considerada inviável, devido ao pequeno incremento que proporcionou (9%), em relação à aplicação de 120 kg ha^{-1} de N. Por outro lado, Oliveira & Caires (2003) verificaram que a adubação nitrogenada em cobertura aumentou, linearmente, a produção de milho, até a dose de 120 kg ha^{-1} de N, resultados esses semelhantes aos obtidos nesse trabalho para a dose de nitrogênio aplicada.

Lucena et al. (2000) verificaram incremento na produtividade de grãos de milho até a dose de 197 kg ha^{-1} de P_2O_5, aplicada no sulco de semeadura. Prado et al. (2001) também observaram aumento linear na produtividade de grãos, com o aumento das doses de fósforo (0 kg ha^{-1}, 45,0 kg ha^{-1}, 67,5 kg ha^{-1}, 90,0 kg ha^{-1}, 112,5 kg ha^{-1} e 135,0 kg ha^{-1} de P_2O_5) aplicadas. Fornasiere Filho (1992) referencia efeito positivo da aplicação do fósforo a lanço, em dose mais elevada (160 kg ha^{-1} de P_2O_5), na produção de grãos do milho, porém, Muzilli (1982) encontrou, para o Estado do Paraná, resposta do milho ao fósforo até a dose de 120 kg ha^{-1} de P_2O_5, resultado esse também semelhante ao obtido nesse trabalho para a dose de P_2O_5 aplicada.

As variáveis comprimento e diâmetro de espigas foram influenciadas de forma positiva pela aplicação ao solo das doses de N e de P_2O_5 ($P < 0,05$) (Tabela 20). A variável comprimento de espigas variou de 11,49 cm (Testemunha) a 12,93 cm, na combinação entre as doses (120 kg ha^{-1} de N + 120 kg ha^{-1} de P_2O_5). O modelo da equação de regressão que melhor se ajustou aos dados de comprimento de espigas tanto para as doses de N quanto para as doses de P_2O_5 foi o linear (Tabela 20 e Figura 14a), inferindo assim que as doses de N e de P_2O_5 utilizadas não foram suficientes para a obtenção do crescimento máximo de espigas.

O resultado obtido nesse trabalho para a característica comprimento de espigas difere do obtido por Fernandes et al. (2005) quando constataram que o incremento nas doses de N não promoveu aumentos significativos no componente de produção comprimento de espiga e afirmaram que a ausência de resposta era esperada, pois essa característica é de alta herdabilidade e menos dependente do ambiente e da adubação.

A variável diâmetro de espigas apresentou variação de 4,28 cm (Testemunha) a 4,56 cm (120 kg ha^{-1} de N + 120 kg ha^{-1} de P_2O_5). Tanto para as doses de N quanto para as doses de P_2O_5 o modelo de equação que melhor se ajustou aos dados foi o linear, inferindo-se que as doses de N e de P_2O_5 utilizadas não foram suficientes para se atingir o máximo crescimento em diâmetro pelas espigas (Tabela 20 e Figura 14b). Provavelmente tal característica não respondeu aos níveis de adubação por estar mais relacionada a fatores genéticos.

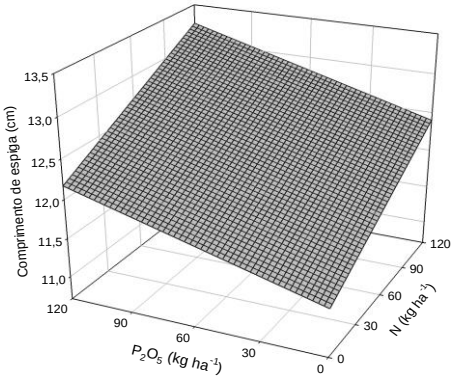
Tabela 20 – Comprimento, diâmetro e número de fileiras nas espigas, em função de doses de nitrogênio e de fósforo aplicadas no solo, Mossoró-RN, 2010

Dose de P_2O_5 (kg ha^{-1})	Dose de N (kg ha^{-1})					Média
	0	30	60	90	120	
	---------- Comprimento de espigas (cm) ----------					
0	11,49	-	-	-	-	-
30	-	11,73	12,45	11,90	12,76	12,21
60	-	11,77	12,32	12,22	12,89	12,30
90	-	12,49	12,45	12,45	12,39	12,44
120	-	12,51	12,78	12,50	13,68	12,87
Média	-	12,12	12,50	12,27	12,93	12,45
ANAVA(1):	CV(%): 6,6				F_{trat}: 1,86*	
Regressão:	Y = 11,3138 + 0,0090429**N + 0,00713457*P					
	---------- Diâmetro de espigas (cm) ----------					
0	4,28	-	-	-	-	-
30	-	4,27	4,40	4,37	4,43	4,37
60	-	4,33	4,44	4,38	4,45	4,40
90	-	4,33	4,50	4,46	4,49	4,44
120	-	4,45	4,52	4,55	4,56	4,52
Média	-	4,34	4,46	4,44	4,48	4,43
ANAVA(1):	CV(%): 3,0				F_{trat}: 2,09*	
Regressão:	Y = 4,23685 + 0,00109938*N + 0,00152855**P					
	---------- Nº de Fileiras nas espigas ----------					
0	15	-	-	-	-	-
30	-	15	15	15	15	15
60	-	15	15	15	15	15
90	-	15	15	15	15	15
120	-	15	15	15	15	15
Média	-	15	15	15	15	15
ANAVA(1):	CV(%): 4,4				F_{trat}: $0,27^{ns}$	
Regressão:	Nenhum modelo se ajustou aos dados					

Fonte: Dados obtidos na pesquisa (2010). (1) Análise de variância considerando o delineamento em blocos ao acaso, com 16 graus de liberdade para tratamentos e 48 graus de liberdade para o resíduo. ns e*: respectivamente, não significativo e significativo a 5% de probabilidade.

Incrementos na variável diâmetro de espigas, em função do aumento das doses de nitrogênio aplicadas ao solo, também não foram constatados por Fernandes et al. (2005).

a) $Y = 11,3138 + 0,0090429^{**}N + 0,00713457^{*}P \quad R^2 = 0,74$



b) $Y = 4,23685 + 0,00109938^{*}N + 0,00152855^{**}P \quad R^2 = 0,81$

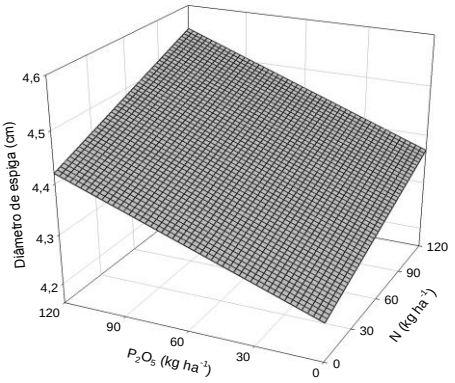


Figura 14 – Superfície de resposta para o comprimento de espiga (a) e para o diâmetro de espiga (b), em função de doses de nitrogênio e de fósforo aplicadas no solo, Mossoró-RN, 2010. ** e *: respectivamente, significativo a 1% e a 5 % de probabilidade.

Os tratamentos estudados não exerceram efeito significativo sobre a variável número de fileiras nas espigas e nenhum modelo de regressão se ajustou aos dados observados (Tabela 20), inferindo-se que possivelmente esse componente de produção foi dependente do potencial genético do híbrido duplo (AG 1051) utilizado. Valderrama et al. (2011) também não verificaram aumento do número de fileiras nas espigas em função do aumento das doses de N e de P_2O_5 aplicadas ao solo.

4.2.5. Teores de nitrogênio e de fósforo no solo e na planta

Na Tabela 21, encontram-se dispostos os resultados dos teores de nitrogênio e de fósforo no solo e, também os resultados dos teores de nitrogênio e de fósforo na folha, em função das doses de N e de P_2O_5 aplicadas no solo. O teor de N no solo foi positivamente influenciado pelo aumento das doses de N e de P_2O_5 aplicadas, tendo o modelo de equação linear sido aquele que melhor se ajustou aos dados (Figura 15a). Para o teor de fósforo no solo não foram constatados aumentos significativos em função das doses de N e de P_2O_5 utilizadas (Tabela 21). Apesar disso, o modelo de equação de regressão que melhor se ajustou aos dados foi o linear crescente, que por sinal, evidenciou possível tendência de incremento no teor de P no solo a medida que se aumentaram as doses de P_2O_5 aplicadas (Figura 15b).

As doses de N e P_2O_5 aplicadas no solo exerceram efeito significativo ($p < 0,01$) nos teores de N na folha, entretanto, nenhum modelo de equação de regressão se ajustou aos dados observados (Tabela 21). Verifica-se também que os teores médios de N na folha variaram de 10,66 g kg^{-1} (0 kg ha^{-1} de N + 0 kg ha^{-1} de P_2O_5) a 19,84 g kg^{-1} (120 kg ha^{-1} de N + 120 kg ha^{-1} de P_2O_5), obtendo ainda um incremento de aproximadamente 39% quando comparado o tratamento testemunha (0 kg ha^{-1} de N + 0 kg ha^{-1} de P_2O_5) com o tratamento referente à aplicação das menores doses de N e de P_2O_5 (30 kg ha^{-1} de N + 30 kg ha^{-1} de P_2O_5). Esses dados corroboram com aqueles obtidos por Araújo et al. (2004) e Oliveira & Caires (2006) os quais também verificaram que o teor de N na folha diagnóstico do milho aumentou com o aumento das doses de N aplicadas ao solo.

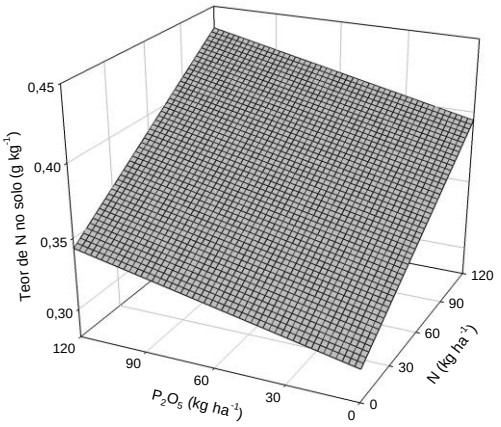
De acordo com Malavolta (2006), o teor adequado de N nas folhas do milho para um bom desenvolvimento e produção, está situado na faixa de 28 a 35 g kg^{-1} de matéria seca. Martinez et al. (1999) e Coelho & França (1995), sugerem como ideal, a faixa de 27,5 a 32,5 g kg^{-1}. Embrapa (1999) por sua vez, adota como ideal valores de referência entre 27 e 35 g kg^{-1}. Neste caso, percebe-se que os teores médios observados de N na folha em todos os tratamentos do presente experimento foram classificados como abaixo do considerado adequado pela literatura.

Tabela 21 - Teores de nitrogênio e de fósforo no solo e teores de nitrogênio e de fósforo na planta, em função de doses de nitrogênio e de fósforo aplicadas no solo, Mossoró-RN, 2010

Dose de P_2O_5 (kg ha^{-1})	Dose de N (kg ha^{-1})					Média
	0	30	60	90	120	
	---------- Teor de nitrogênio no solo (g kg^{-1}) ----------					
0	0,19	-	-	-	-	-
30	-	0,37	0,39	0,46	0,36	0,39
60	-	0,38	0,41	0,42	0,41	0,40
90	-	0,37	0,38	0,43	0,38	0,39
120	-	0,35	0,39	0,38	0,41	0,38
Média	-	0,37	0,39	0,42	0,39	0,39
ANAVA(1):	CV(%): 22				F_{trat}: 2,64*	
Regressão:	Y = 0,30294 + 0,000761729**N + 0,000334645°P					
	---------- Teor de fósforo no solo(2) (mg dm^{-3}) ----------					
0	3,62	-	-	-	-	-
30	-	3,80	3,94	5,55	5,49	4,69
60	-	5,65	4,35	6,11	5,88	5,50
90	-	7,70	6,91	7,13	11,07	8,20
120	-	10,97	6,35	8,03	13,50	9,71
Média	-	7,03	5,39	6,70	8,98	7,02
ANAVA(1):	CV(%): 78,6				F_{trat}: $1,06^{ns}$	
Regressão:	Y = 1,94459 + $0,0169576^{ns}$N + 0,0522061**P					
	---------- Teor de nitrogênio na folha (g kg^{-1}) ----------					
0	10,66	-	-	-	-	-
30	-	14,77	16,60	17,35	19,30	17,00
60	-	14,06	19,73	16,29	16,76	16,71
90	-	14,65	17,05	18,69	16,76	16,79
120	-	14,96	18,45	19,42	19,84	18,17
Média	-	14,61	17,96	17,94	18,16	17,17
ANAVA(1):	CV(%): 11,4				F_{trat}: 10,08**	
Regressão:	Nenhum modelo se ajustou aos dados					
	---------- Teor de fósforo na folha (g kg^{-1}) ----------					
0	1,29	-	-	-	-	-
30	-	1,31	1,55	1,38	1,45	1,42
60	-	1,40	1,56	1,47	1,50	1,48
90	-	1,50	1,60	1,57	1,55	1,55
120	-	1,50	2,04	1,58	1,63	1,69
Média	-	1,43	1,69	1,50	1,53	1,54
ANAVA(1):	CV(%): 8,5				F_{trat}: 6,41**	
Regressão:	Nenhum modelo se ajustou aos dados					

(1) Análise de variância considerando o delineamento em blocos ao acaso, com 16 graus de liberdade para tratamentos e 48 graus de liberdade para o resíduo; (2) P extraído com o extrator Mehlich-1; ns, **, * e °: respectivamente, não significativo, significativo a 1%, a 5% e a 10% de probabilidade.

a) $Y = 0{,}30294 + 0{,}000761729^{**}N + 0{,}000334645^{\circ}P \quad R^2 = 0{,}72$



b) $Y = 1{,}94459 + 0{,}0169576^{ns}N + 0{,}0522061^{**}P \quad R^2 = 0{,}75$

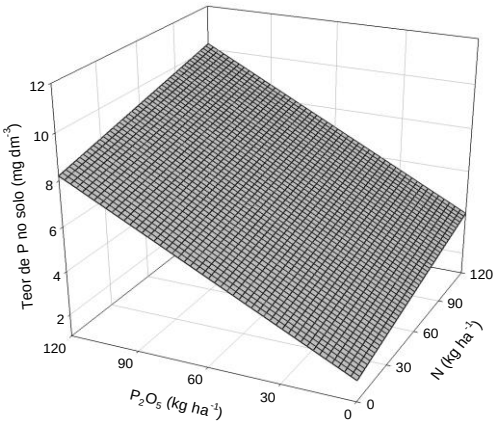


Figura 15 – Superfície de resposta para os teores de nitrogênio (a) e de fósforo (b) no solo, em função de doses de nitrogênio e de fósforo aplicadas no solo, Mossoró-RN, 2010. ^{ns}, ** e °: respectivamente, não significativo, significativo a 1% e a 10% de probabilidade.

Assim como verificado para os teores de N na folha, as doses de N e P_2O_5 aplicadas no solo exerceram efeito significativo ($p < 0,01$) nos teores de P na folha, tendo-se também nenhum modelo de equação de regressão se ajustado aos dados (Tabela 21). Verifica-se que os teores médios de P na folha variaram de 1,29 g kg^{-1} (0 kg ha^{-1} de N + 0 kg ha^{-1} de P_2O_5) a 2,04 g kg^{-1} (60 kg ha^{-1} de N + 120 kg ha^{-1} de P_2O_5), obtendo-se assim, um incremento de aproximadamente 20% quando comparado o valor obtido (1,29 g kg^{-1}) no tratamento testemunha (0 kg ha^{-1} de N + 0 kg ha^{-1} de P_2O_5) com o valor obtido para a média geral de todos os tratamentos (1,54 g kg^{-1}). Esses resultados corroboram com aqueles obtidos por Prado et al. (2001), que trabalhando com doses (0 kg ha^{-1}, 45,0 kg ha^{-1}, 67,5 kg ha^{-1}, 90,0 kg ha^{-1}, 112,5 kg ha^{-1}, e 135,0 kg ha^{-1} de P_2O_5) e modos de aplicação de P no milho, também observaram efeito significativo das doses de N aplicadas no solo sobre os teores de P foliar. Valderrama et al. (2011) também constataram que o aumento das doses de fósforo aplicadas ao solo (0 kg ha^{-1}, 50 kg ha^{-1}, 100 kg ha^{-1} e 150 kg ha^{-1} de P_2O_5) influenciaram significativamente o teor de P foliar, entretanto, ao contrário do que foi verificado nesse experimento, os autores obtiveram um modelo de equação de regressão quadrática ajustado aos seus dados, com ponto de máxima sendo alcançado com a estimativa de aplicação de 127 kg ha^{-1} de P_2O_5.

Para Malavolta (2006) o teor adequado de P, nas folhas do milho, para um bom desenvolvimento e produção, está situado na faixa de 2,5 a 4,0 g kg^{-1} de matéria seca. Martinez et al. (1999) sugerem como ideal, a faixa de 2,5 a 3,5 g kg^{-1}. Por sua vez, Coelho & França (1995), sugerem a faixa de 1,9 a 3,5 g kg^{-1}. Embrapa (1999) por outro lado, adota como valores de referência entre 2,0 e 4,0 g kg^{-1}. Desta forma, percebe-se que com exceção da média do tratamento referente a aplicação de (60 kg ha^{-1} de N + 120 kg ha^{-1} de P_2O_5) onde obteve-se um valor de P na folha de 2,04 g kg^{-1} (Tabela 21), valor esse considerado como ideal de acordo com Coelho & França (1995) e Embrapa (1999), os teores médios observados de P na folha em todas as médias dos demais tratamentos do presente experimento foram classificados como abaixo do considerado adequado pela literatura.

4.2.6. Análise econômica da adubação para a produção de grãos

Na Tabela 22, encontram-se dispostos os valores de produção de grãos estimados pelo modelo de regressão (Tabela 19 e Figura 13), receita bruta, custos com fertilizantes nitrogenados e fosfatados e receita líquida em função de doses N e de P_2O_5 aplicadas no solo.

De acordo com os resultados obtidos, a maior receita líquida estimada foi de R$ 2.388,02, a qual corresponde a uma produção de 5.585,51 kg ha^{-1} (produção de máxima eficiência econômica), a qual se torna possível com a aplicação de 120 kg ha^{-1} de N + 95 kg ha^{-1} de P_2O_5. Para obtenção dessa receita líquida máxima, o produtor teria que investir R$ 795,72 com fertilizantes nitrogenados e fosfatados.

No Brasil, as recomendações de corretivos e fertilizantes têm sido feitas mediante a utilização de tabelas publicadas em vários Estados ou regiões do país (Comissão Estadual de Fertilidade do Solo, 1989; Universidade Federal do Ceará, 1993; Raij et al., 1997; Cavalcanti et al., 1998; Ribeiro et al., 1999; Sousa & Lobato, 2004 e Comissão de Química e Fertilidade do Solo - CQFSRS/SC, 2004). Para a produção de 6 a 8 t ha^{-1} de grãos de milho, essas tabelas por sua vez, recomendam doses de N e de P_2O_5 que variam de 30 a 120 kg ha^{-1} de N (média de 69 kg ha^{-1}) e de 0 a 125 kg ha^{-1} de P_2O_5 (média de 58 kg ha^{-1}), de acordo com o teor de P no solo e com a tabela de recomendação de adubação. Assim, em média, as tabelas de recomendação de adubação recomendam doses de N inferiores àquelas às quais se obteria a máxima eficiência física para o nutriente neste trabalho, e, também recomendam doses de P_2O_5 inferiores às obtidas para a máxima eficiência econômica nesta pesquisa.

Atribuindo-se o valor de 60 kg ha^{-1} para a dose de N e de 70 kg ha^{-1} para a dose de P_2O_5 na função de produção (Figura 10), obtém-se a produção de 4.617 kg ha^{-1} (Tabela 22 e Figura 10), valor correspondente a 83% da maior produção obtida (5.585,51 kg ha^{-1}) com a aplicação de 120 kg ha^{-1} de N + 95 kg ha^{-1} de P_2O_5 (Tabela 22 e Figura 10). Portanto, a diminuição das doses de N para 60 kg ha^{-1} e de P_2O_5 para 70 kg ha^{-1} reduz a produção de grãos em 968,69 kg ha^{-1}.

Tabela 22 - Produção estimada de grãos, receita bruta, custos com fertilizantes nitrogenados e fosfatados e receita líquida, em função de doses de nitrogênio e de fósforo aplicadas ao solo, Mossoró-RN, 2010

Dose de N	Dose de P_2O_5	Produção de Grãos [1]	Receita bruta	Custos com fertilizantes	Receita Liquida
----------	kg ha^{-1} ----------		----------	R$ ----------	
0	0	2.233	1.272,95	0,0000	1.272,95
30	30	3.497	1.993,82	214,68	1.779,14
30	60	4.098	2.336,16	290,28	2.045,88
30	90	4.416	2.517,29	365,88	2.151,41
30	95	4.441	2.531,80	378,48	2.153,32
30	**109**	**4.471**	**2.548,62**	**413,00**	**2.135,62**
30	120	4.451	2.537,20	441,48	2.095,72
60	30	3.879	2.211,13	353,76	1.857,37
60	60	4.479	2.553,47	429,36	2.124,11
60	90	4.797	2.734,60	504,96	2.229,64
60	95	4.823	2.749,11	517,56	2.231,55
60	**109**	**4.852**	**2.765,94**	**552,08**	**2.213,85**
60	120	4.832	2.754,51	580,56	2.173,95
90	30	4.260	2.428,44	492,84	1.935,60
90	60	4.861	2.770,78	568,44	2.202,34
90	90	5.178	2.951,91	644,04	2.307,87
90	95	5.204	2.966,43	656,64	2.309,79
90	**109**	**5.233**	**2.983,25**	**691,16**	**2.292,09**
90	120	5.213	2.971,83	719,64	2.252,19
120	30	4.641	2.645,76	631,92	2.013,84
120	60	5.242	2.988,10	707,52	2.280,58
120	90	5.560	3.169,23	783,12	2.386,11
120	91	5.565	3.172,49	785,64	2.386,85
120	92	5.571	3.175,57	788,16	2.387,41
120	93	5.576	3.178,47	790,68	2.387,79
120	94	5.581	3.181,20	793,20	2.388,00
120	**95**	**5.585**	**3.183,74**	**795,72**	**2.388,02**
120	96	5.589	3.186,11	798,24	2.387,87
120	**109[2]**	**5.615**	**3.200,57**	**830,24**	**2.370,32**
120	120	5.594	3.189,14	858,72	2.330,42

[1] Produção estimada pela equação de regressão linear múltipla apresentada na tabela 18 e figura 10.
[2] Dose de P_2O_5 estimada pela equação de regressão linear múltipla para a produção de máxima eficiência física.

Tendo em vista que no comércio de Mossoró-RN, um saco de milho com 60 kg custa R$ 34,00, a diminuição na receita bruta do produtor rural seria de R$ 551,98 caso ele diminuísse a dose de N de 120 kg ha^{-1} para 60 kg ha^{-1} e a dose de P_2O_5 de 120 kg ha^{-1} para 70 kg ha^{-1}.

Considerando que um saco de superfosfato triplo custa R$ 53,00, o de uréia custa R$ 94,00 e o de sulfato de amônio R$ 47,50, o preço de 1 kg de P_2O_5 via superfosfato triplo custa R$ 2,52, 1 kg de N via uréia custa R$ 4,18 e 1 kg de N via sulfato de amônio custa R$ 4,75. Para calcular o custo da adubação nitrogenada, considerou-se que 20 % da dose de N foi aplicada via uréia e 80 % via sulfato de amônio. Com base nessas informações e nos valores das doses de N e de P aplicadas, calculou-se o custo da adubação (Tabela 22). Dessa forma, constata-se que a diminuição na dose de N de 120 kg ha^{-1} para 60 kg ha^{-1} gera uma economia de R$ 278,16 nas compras de uréia e de sulfato de amônio. Para P, a diminuição da dose de 120 kg ha^{-1} de P_2O_5 para 70 kg ha^{-1} de P_2O_5 gera uma economia na compra do superfosfato triplo de R$ 126,00. Logo, reduzindo a dose de N pela metade e a dose de P_2O_5 de 120 kg ha^{-1} para 70 kg ha^{-1}, obtém-se uma economia de R$ 404,16 na compra de fertilizantes nitrogenados e fosfatados, no entanto, o produtor perde aproximadamente R$ 552,00 de receita bruta pela diminuição na produção de grãos.

Pelo exposto, as doses de 60 kg ha^{-1} de N e de 70 kg ha^{-1} de P_2O_5 não podem ser consideradas como as doses correspondentes à máxima eficiência econômica, o que discorda com as doses médias de N e de P_2O_5 recomendadas pelas tabelas de recomendação em uso no país. No presente trabalho, a maior receita líquida obtida para a produção de grãos foi proporcionada com a aplicação de 120 kg ha^{-1} de N + 95 kg ha^{-1} de P_2O_5, de modo que essas doses (120 kg ha^{-1} de N + 95 kg ha^{-1} de P_2O_5) podem ser consideradas como as doses de máxima eficiência econômica.

4.2.7. Níveis críticos de N e de P no solo e na planta para a produção de milho verde e de grãos

A máxima produção de espigas verdes empalhadas comercializáveis se obtém mediante a combinação das doses de 120 kg ha^{-1} de N + 120 kg ha^{-1} de P_2O_5 (Tabela 16 e Figura 9b). De acordo com a análise econômica da adubação para a produção de milho verde (Tabela 17), as doses de máxima eficiência econômica recomendadas foram também estimadas para essa combinação de doses (120 kg ha^{-1} de N + 120 kg ha^{-1} de P_2O_5). Em relação a produção de grãos, verifica-se que a máxima produção total se obtém mediante a combinação das doses de 120 kg ha^{-1} de N + 108,7 kg ha^{-1} de P_2O_5 (Tabela 18 e figura 9b). Entretanto, embora essa máxima produção de grãos tenha sido estimada para essa combinação de doses de N e de P_2O_5, de acordo com a análise econômica da adubação (Tabela 22), as doses de máxima eficiência econômica recomendadas foram, 120 kg ha^{-1} de N e 95 kg ha^{-1} de P_2O_5. Assim, substituindo-se estes valores de doses de N e de P_2O_5, tanto os referentes à produção de milho verde (120 kg ha^{-1} de N + 120 kg ha^{-1} de P_2O_5) quanto os referentes à produção de grãos (120 kg ha^{-1} de N + 95 kg ha^{-1} de P_2O_5) na equação da Figura 15a, estima-se que o teor de N no solo associado à produção de máxima eficiência econômica para a produção de milho verde e de grãos neste experimento foi de 0,43 g kg^{-1}.

Com relação ao nível crítico de N na folha diagnóstico do milho associado à produção de máxima eficiência econômica para a produção de milho verde e de grãos neste experimento, verifica-se de acordo com a Tabela 21, que as doses de N e P_2O_5 aplicadas no solo exerceram efeito significativo ($p < 0,01$) nos teores de N na folha, entretanto, nenhum modelo de equação de regressão se ajustou aos dados observados, sendo assim, considerou-se como nível crítico de N na folha tanto para a produção de milho verde quanto para a produção de grãos, a média geral dos tratamentos que foi de 17,17 g kg^{-1}.

Com relação aos teores de P na folha em função das doses de N e de P_2O_5 aplicadas no solo, constatou-se efeito significativo ($p < 0,01$) para os tratamentos estudados, porém nenhum modelo de regressão se ajustou aos dados (Tabela 21).

Deste modo, o nível crítico de P na folha diagnóstico do milho tanto para a produção de milho verde quanto para a produção de grãos, foi considerado também como sendo a média geral dos tratamentos, que foi de 1,54 g kg^{-1}.

Substituindo-se as doses de máxima eficiência de N e de P_2O_5 referentes às produções de milho verde (120 kg ha^{-1} de N + 120 kg ha^{-1} de P_2O_5) e de grãos (120 kg ha^{-1} de N + 95 kg ha^{-1} de P_2O_5) na equação da Figura 15b, estima-se que o teor de P no solo associado à produção de máxima eficiência econômica para a produção de milho verde é de 8,21 mg dm^{-3}. Para a produção de grãos esse teor foi estimado em 6,9 mg dm^{-3}.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O peso de espigas empalhadas comercializáveis produzidas no Cambissolo de Baraúna, sem aplicar nenhuma dose de N e nem de P_2O_5, foi 4.277 kg ha^{-1}, produtividade 1,8 vez maior que a obtida no Argissolo de Mossoró, que foi de 2.329 kg ha^{-1}. Com relação à produtividade de grãos, esses valores foram de 3.112 kg ha^{-1} no Cambissolo, produtividade 1,7 vez maior que a obtida no Argissolo, que foi de 1.857 kg ha^{-1}. Esses resultados são coerentes, pois o Cambissolo de Baraúna é mais fértil e inclusive apresenta maiores teores de nitrogênio.

A magnitude da resposta da planta à adubação nitrogenada foi maior no Argissolo, provavelmente em decorrência dos menores teores de matéria orgânica e de nitrogênio total observados nesse solo. Para a produção de máxima eficiência econômica de milho verde, são necessários aplicar 120 kg ha^{-1} de N no Argissolo e 60 kg ha^{-1} de N no Cambissolo. Para produção de grãos são necessários 120 kg ha^{-1} de N no Argissolo e 70 kg ha^{-1} de N no Cambissolo (Tabelas 23 e 24).

Tabela 23. Doses de máxima eficiência econômica, nível crítico de N no solo, N na planta, P no solo e P na planta para produção de milho verde, em função de doses de N e de P aplicadas em dois solos da Chapada do Apodi-RN

Doses de máxima eficiência econômica		Nível crítico			
N	P_2O_5	N no solo	N na folha	P no solo	P na folha
-- kg ha^{-1} --	----- kg ha^{-1} -----	-- g kg^{-1} --	--- g kg^{-1} ---	mg dm^{-3}	--- g kg^{-1} ---
---------- Cambissolo ----------					
60	103	1,15	33,54	7,22	3,08
---------- Argissolo ----------					
120	120	0,43	17,17	8,21	1,54

Tabela 24. Doses de máxima eficiência econômica, nível crítico de N no solo, N na planta, P no solo e P na planta para produção de grãos, em função de doses de N e de P aplicadas em dois solos da Chapada do Apodi-RN

Doses de máxima eficiência econômica		Nível crítico			
N	P_2O_5	N no solo	N na folha	P no solo	P na folha
-- kg ha^{-1} --	----- kg ha^{-1} -----	--- g kg^{-1} --	--- g kg^{-1} ---	mg dm^{-3}	--- g kg^{-1} ---
---------- Cambissolo ----------					
70	120	1,17	32,95	7,97	3,11
---------- Argissolo ----------					
120	95	0,43	17,17	6,90	1,54

Portanto, o menor teor de matéria orgânica do Argissolo, associado à textura arenosa que favorece a perde de N por lixiviação, exigiu maior dose de N para a produção de máxima eficiência econômica tanto do milho verde quanto de grãos.

Os níveis críticos de N no solo e na folha foram maiores no Cambissolo (Tabelas 23 e 24), tanto para a produção de milho verde quanto para produção de grãos. Isso possivelmente deve-se ao fato do Cambissolo ter apresentado um maior teor de matéria orgânica e, consequentemente, um maior teor de nitrogênio disponível em solução devido a mineralização dessa matéria orgânica, o que proporcionou uma maior absorção pelas plantas refletindo-se em um maior teor na folha.

Comparando os dois solos em relação à adubação fosfatada, observou que a aplicação de pequenas doses de P_2O_5 promoveu maiores acréscimos na produção de milho verde no Cambissolo, alcançando-se a produção de máxima eficiência econômica para produção de milho verde com a aplicação de 103 kg ha^{-1} de P_2O_5 (Tabela 23). Por outro lado, para a produção de grãos no Argissolo, a produção de máxima eficiência econômica foi alcançada com a aplicação de 95 kg ha^{-1} de P_2O_5 (Tabela 24), valor 26% menor que o estimado para o Cambissolo, o qual é argiloso e possivelmente apresenta maior adsorção de fósforo.

Com relação aos níveis críticos de P no solo tanto para a produção de milho verde quanto para a produção de grãos os valores não foram discrepantes entre os solos estudados (Tabelas 23 e 24). Porém, de modo geral os níveis críticos de P em solos arenosos são geralmente maiores comparados aos solos argilosos, pois os solos arenosos não têm o poder de reter o P e posteriormente fornecê-lo gradativamente para a solução do solo. Na planta os maiores valores foram registrados para o Cambissolo, tanto para a produção de milho verde quanto para a produção de grãos. Isto ocorreu provavelmente, devido o Cambissolo apresentar uma textura mais argilosa e, consequentemente, um maior poder-tampão em relação ao Argissolo, o que proporcionou uma maior retenção de fósforo, dificultando a absorção do nutriente pela planta e contribuindo para uma maior elevação do nível crítico de P na folha em relação àquele verificado no Argissolo.

6. CONCLUSÕES

1. A melhor combinação das doses de N e de P_2O_5 recomendadas para a produção de espigas verdes empalhadas comercializáveis no Cambissolo é de 60 kg ha^{-1} de N combinado com 103 kg ha^{-1} de P_2O_5. Para produção de grãos essa combinação recomendada é de 70 kg ha^{-1} de N combinado com 120 kg ha^{-1} de P_2O_5.

2. Para produção de espigas verdes no Cambissolo o nível crítico de N no solo é de 1,15 g kg^{-1}, o nível crítico de P no solo é de 7,22 mg dm^{-3} e os níveis críticos de N e de P na folha são, respectivamente, de 33,54 g kg^{-1} e de 3,08 g kg^{-1}.

3. Para a produção de grãos no Cambissolo o nível crítico de N no solo é de 1,17 g kg^{-1}, o nível crítico de P no solo é de 7,97 mg dm^{-3} e os níveis críticos de N e de P na planta são, respectivamente, de 32,95 g kg^{-1} e de 3,11 g kg^{-1}.

4. A melhor combinação das doses de N e de P_2O_5 recomendadas para a produção de espigas verdes empalhadas comercializáveis no Argissolo é de 120 kg ha^{-1} de N combinado com 120 kg ha^{-1} de P_2O_5. Para produção de grãos essa combinação recomendada é de 120 kg ha^{-1} de N combinado com 95 kg ha^{-1} de P_2O_5.

5. Para as produções tanto de espigas verdes quanto de grãos no Argissolo, o nível crítico de N no solo é de 0,43 g kg^{-1} e os níveis críticos de N e de P na folha são, respectivamente, de 17,17 g kg^{-1} e 1,54 g kg^{-1}. Os níveis críticos de P no solo para as produções de espigas verdes e grãos são, respectivamente, 8,21 e 6,9 mg dm^{-3}.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABREU, C. A.; LOPES, A. S.; SANTOS, G. Micronutrientes. In: NOVAIS, R. F.; ALVAREZ V., V. H.; BARROS, N. F.; FONTES, R. L. F.; CANTARUTTI, R. B.; NEVES, J. C. L. (Eds.). Fertilidade do Solo. Viçosa: SBCS/ UFV, 2007. p. 645-736.

AGUIAR, R. A.; SILVEIRA, P. M.; MOREIRA, J. A. A.; WANDER, A. E. Análise econômica de diferentes práticas culturais na cultura do milho (*Zea mays* L.). Pesquisa Agropecuária Tropical, v. 38, n. 4, p. 241-248, 2008.

AITA, C.; BASSO, C. J.; CERETTA, C. A.; GONÇALVES, C. N.; DA ROS, C. O. Plantas de cobertura de solo como fonte de nitrogênio ao milho. Revista Brasileira de Ciência do Solo, v. 25, n. 1, p. 157-165, 2001.

ALBUQUERQUE, C. J. B.; VON PINHO, R. G.; SILVA, R. Produtividade de híbridos de milho verde experimentais e comerciais. Bioscience Journal, v. 24, n. 2, p. 69-76, 2008.

ALVES, V. M. C.; MAGALHÃES, J. V.; NOVAIS, R. F.; BAHIA FILHO, A. F. C.; OLIVEIRA, C. A.; FRANÇA, C. C. M. Localização de fósforo e de nitrogênio afetando os parâmetros cinéticos de absorção de nitrogênio em milho. Revista Brasileira de Fisiologia Vegetal, v. 10, n. 3, p. 197-201, 1998.

ALVES, V. M. C.; MAGALHÃES, J. V.; VASCONCELLOS, C. A.; NOVAIS, R. F.; BAHIA FILHO, A. F. C. Acúmulo de nitrogênio e fósforo em plantas de milho afetadas pelo suprimento parcial de fósforo às raízes. Revista Brasileira de Ciência do Solo, v. 23, n. 2, p. 299-305, 1999.

AMABILE, R. F.; FANCELLI, A. L.; CARVALHO, A. M. Absorção de N, P e K por espécies de adubos verdes cultivados em diferentes épocas e densidades num Latossolo Vermelho-Escuro argiloso sob cerrado. Revista Brasileira de Ciência do Solo, v. 23, n. 4, p. 837-845, 1999.

AMADO, T. J. C.; MILNICZUK, J.; AITA, C. Recomendação de adubação nitrogenada para o milho no RS e SC adaptada ao uso de culturas de cobertura do solo, sob sistema plantio direto. Revista Brasileira de Ciência do Solo, v. 26, n. 1, p. 241-248, 2002.

ANJOS, J. L.; CARVALHO, H. W. L.; SOBRAL, L. F.; BARRETO, A. C.; OLIVEIRA, I. R.; GOMES J. B. V.; OLIVEIRA, V. D. Produtividade de milho sob doses e parcelamentos de N em solo com alto teor de matéria orgânica no Agreste Sergipano. Aracaju, 2008. (Comunicado Técnico 70).

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. 10, n. 9, 2006.

ARAÚJO, L. A. N.; FERREIRA, M. E.; CRUZ, M. C. P. Adubação nitrogenada na cultura do milho. Pesquisa Agropecuária Brasileira, v. 39, n. 8, p. 771-777, 2004.

BALKO, L. G. & RUSSEL, W. A. Response of maize inbred lines to N fertilizer. Agronomy Journal, v. 72, n. 5, p. 723-732, 1980.

BRASIL. Ministério da Agricultura. Divisão de Pesquisa Pedológica, DNPEA. Levantamento exploratório-reconhecimento de solos do Estado do Rio Grande do Norte. Recife: Convênio MA/DNPES-SUDENE/DRN, MA/USAID/BRASIL. 1971. 531p. (Boletim Técnico, 21).

BULL, L. T. Nutrição mineral do milho. In: BULL, L. T. & CANTARELLA, H. (Eds.). Cultura do milho. Fatores que afetam a produtividade. Piracicaba, Associação Brasileira para pesquisa da Potassa e do Fósforo, 1993, p. 143-165.

BULL, L. T.; FORLI, F.; TECCHIO, M. A.; CORRÊA, J. C. Relação entre fósforo extraído por resina e resposta da cultura do alho à adubação fosfatada em cinco solos com e sem adubação orgânica. Revista Brasileira de Ciência do Solo, v. 22, n. 3, p. 459-470, 1998.

CAIRES, E. F.; FONSECA, A. F.; MENDES, J.; CHUEIRI, W. A.; MADRUGA, E. F. Produção de milho, trigo e soja em função das alterações das características químicas do solo pela aplicação de calcário e gesso na superfície, em sistema de plantio direto. Revista Brasileira de Ciência do Solo, v. 32, n. 2, p. 315-327, 1999.

CANTARELLA, H. Calagem e adubação do milho. In: BÜLL, L. T. A cultura do milho: fatores que afetam a produtividade. Piracicaba: Potafos, 1993, p.147-185.

CANTARELLA, H.; RAIJ, B. van. Adubação nitrogenada no Estado de São Paulo. In: SANTANA, M. B. M. (Coord.). Adubação nitrogenada no Brasil. Ilhéus: CEPLAC, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1986, p. 47-49.

CANTARUTTI, R. B.; BARROS, N. F.; MARTINEZ, H. E. P.; NOVAIS, R. F. Avaliação da fertilidade de solo e recomendação de fertilizantes. In: NOVAIS, R. F.; ALVAREZ V., V. H.; BARROS, N. F.; FONTES, R. L. F.; CANTARUTTI, R. B.; NEVES, J. C. L. (Ed.). Fertilidade do solo. Viçosa: SBCS, 2007. p.769-850.

CARDOSO, M. J.; SILVA, A. R.; GUIMARÃES, L. J. M.; PARENTONI, S. N.; SETUBAL, J. W. Produtividade de espiga verde de milho sob diferentes níveis de nitrogênio. Horticultura Brasileira, v. 28, n. 2 (Suplemento - CD ROM), p. S3786-S3789, 2010.

CARDWELL, V. B. Fifty years of Minnesota corn production: sources of yield increase. Agronomy Journal, v. 74, n. 6, p. 984-995, 1992.

CASAGRANDE, J. R. R.; FORNASIERI FILHO, D. Adubação nitrogenada na cultura do milho safrinha. Pesquisa Agropecuária Brasileira, v. 37, n. 1, p. 33-40, 2002.

CASTRO, R. S. Rendimentos de espigas verdes e de grãos de cultivares de milho após a colheita da primeira espiga como minimilho. Mossoró, Universidade Federal Rural do Semi-Árido, 2010. 90 f. (Tese de Doutorado em Fitotecnia).

CAVALCANTI, F. J. A. C. (Coord.). Recomendações de adubação para o Estado de Pernambuco 2ª aproximação. Recife: IPA, 1998, 198 p.

CLARKSON, D. T. & HAWKESFORD, M. J. Molecular biological approaches to plant nutrition. Plant and Soil, The Hague, v. 155/156, p. 21-31, 1993.

COBUCCI, T. Efeitos de doses e épocas de aplicação em cobertura do adubo nitrogenado no consórcio milho-feijão. Viçosa, Universidade Federal de Viçosa, 1991. 94 p. (Tese de Doutorado em Fitotecnia).

COELHO, A. M. & FRANÇA, G. E. 2. ed. Seja o doutor do seu milho: nutrição e adubação. Informações Agronômicas, Piracicaba, v. 71, n. 2, p. 1-9, 1995. Encarte.

COELHO, A. M. Nutrição e adubação do milho. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2006. 10 p. (Circular Técnica, 78).

COMISÃO DE QUÍMICA E FERTILIDADE DO SOLO - CQFSRS/SC. Manual de adubação e calagem para os Estados do Rio Grande do Sul e de Santa Catarina. 10. ed. Porto Alegre: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo/ Núcleo Regional Sul/ Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2004. 394 p.

COMISSÃO ESTADUAL DE FERTILIDADE DO SOLO. Manual de adubação e calagem para o estado da Bahia. 2. ed. Salvador: CEPLAC/ EMATERBA/ EMBRAPA/ EPABA/ NITROFÉRTIL, 1989. 173 p.

CONAB - COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. Acompanhamento de safra brasileira: grãos, sétimo levantamento, Safra 2011/2012. Brasília: Conab, abril 2012. Disponível em: <http://www.conab.gov.br/conabweb/download/safra/estudo_safra.pdf>. Acesso em: 09 de jul de 2012.

CPRM - Serviço Geológico do Brasil. Projeto cadastro de fontes de abastecimento por água subterrânea. Diagnóstico do município de Mossoró, Estado do Rio Grande do Norte. Recife: CPRM/ PRODEEM, 2005. 11 p.

CRUZ, J. C.; PEREIRA FILHO, I. A.; ALVARENGA, R. C.; GONTIJO NETO, M. M.; VIANA, J. H. M.; OLIVEIRA, M. F.; SANTANA, D. P. Manejo da cultura do milho. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2006. 12 p. (Circular Técnica, 87).

CRUZ, S. C. S.; PEREIRA, F. R. S.; SANTOS, J. R.; ALBUQUERQUE, A. W.; SILVA, E. T. Parcelamento da adubação nitrogenada na cultura do milho irrigado em sistema plantio direto. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v. 12, n. 4, p.370-375, 2008.

DUETE, R. R. C.; MURAOKA, T.; SILVA, E. C.; TRIVELIN, P. C. O.; AMBROSANO, E. J. Manejo da adubação nitrogenada e utilização do nitrogênio (^{15}N) pelo milho em Latossolo Vermelho. Revista Brasileira de Ciência do Solo, v. 32, n. 1, p. 161-171, 2008.

EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Embrapa Solos, Embrapa Informática Agropecuária. Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes. Brasília: EMBRAPA, 1999. 370 p.

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Manual de métodos de análises de solo. 2. ed. Rio de Janeiro: Embrapa, 1997. 212 p.

FERNANDES, F. C. S. Efeitos de níveis de nitrogênio na produtividade de seis cultivares de milho (Zea mays L.). Revista Científica Eletrônica de Agronomia, v. 4, n. 7, 2005.

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

FERREIRA, A. C. B.; ARAÚJO, G. A. A.; PEREIRA, P. R. G.; CARDOSO, A. A. Características agronômicas e nutricionais do milho adubado com nitrogênio, molibdênio e zinco. Scientia Agricola, v. 58, n. 1, p. 131-138, 2001.

FERREIRA, H. A.; SOUZA, A. S.; SOUSA, D. A.; SOUZA, A. S.; MARACAJÁ, P. B. Componentes de produção e produtividade do milho submetido a doses de nitrogênio no semiárido paraibano. Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável, v. 5, n. 4, p. 90-96, 2010.

FORNASIERE FILHO, D. A cultura do milho. São Paulo: Funep, 1992. 273 p.

FRANÇA, G. E.; BAHIA FILHO, A. F. C.; VASCONCELOS, C. A.; SANTOS, H. L. Adubação no Estado de Minas Gerais. In: SANTANA, M. B. M. (Coord.). Adubação nitrogenada no Brasil. Ilhéus: CEPLAC, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1986. p. 107-124.

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, n. 3, p. 213-222, 2010.

FUNCEME (Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos). Disponivel em: http://www. funceme.br/ Acesso em 22 de março de 2013.

GODOY JÚNIOR, C. & GRANER, E. A. Milho: adubação mineral nitrogenada. IV - Parcelamento do calnitro. Revista da Agricultura, v. 39, p. 185-189, 1964.

GOMES, R. F.; SILVA, A. G.; ASSIS, R. L.; PIRES, F. R. Efeitos de doses e épocas de aplicação de nitrogênio nos caracteres agronômicos da cultura do milho sob plantio direto. Revista Brasileira de Ciência do Solo, v. 31, n. 5, p. 931-938, 2007.

HANWAY, J. L. & OLSON, R. A. Phosphate nutrition of corn, sorghum, soybeans and small grains. In: KHASAWNEH, F. E.; SAMPLE, E. C.; KAMPRATH, E. J. (Eds). The role of phosphorus in agriculture. American Society of Agronomy, 1980, p. 681-692.

IBGE. (Fundação Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística). Diagnóstico Ambiental da Bacia do Rio Jaguaribe. Salvador, 1999.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. (2011). Estados@. Disponível em:http://www.gov.br/estadosat/temas.php?sigla=rn&tema=lavouratemporaria2011. Acesso em: 22 de março de 2013.

INTERNATIONAL FERTILIZER INDUSTRY ASSOCIATION. Fertilizer use by crop. 5. ed. 2008. Disponível em: <http://www.fertilizer.org/ifa/statistics.asp>. Acesso em: 19 jun. 2012.

JAKELAITIS, A.; SILVA, A. A.; FERREIRA, L. R. Efeitos do nitrogênio sobre o milho cultivado em consórcio com *Brachiaria brizantha*. Acta Scientiarum. Agronomy, v. 27, n. 1, p. 39-46, 2005.

JENKINSON, D. S.; FOX, R. H; RAINER, J. H. Interactions between fertilizer nitrogen and soil nitrogen-the so-called “priming”effect. Journal Soil Science, v. 36, n. 3, p. 425-444, 1985.

KAMPRATH, E. J. Enhanced phosphorus status of maize resulting from nitrogen fertilization of high phosphorus soil. Soil Science Society of America Journal. v. 51, n. 6, p. 1522-1526,1987.

KLEPKER, D. & ANGHINONI, I. Crescimento radicular e aéreo do milho em vasos em função do nível de fósforo no solo e da localização do adubo fosfatado. Revista Brasileira de Ciência do Solo**,** v.19. n. 3, p. 403-408, 1995.

LEE, R. B.; PURVES, J. V.; RATCLIFFER, R. G.; SAKER, L. R. Nitrogen assimilation and the control of ammonium and nitrate absorption by maize roots. Journal of Experimental Botany, v. 43, p. 1385-1396, 1992.

LEMAIRE, G.; GASTAL, F. N. N uptake and distribution in plant canopies. In: LEMAIRE, G. (Ed.). Diagnosis of the nitrogen status in crops. Berlin: Springer, 1997. p. 1-56.

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

MAGALHÃES, P. C.; DURÃES, F. O. M.; CARNEIRO, N. P.; PAIVA, E. Fisiologia do Milho. 1. ed. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2002, 23 p. (Circular Técnica).

MAIA, M. C. C. & SILVA, P. S. L**.** Parcelamento da adubação nitrogenada e matéria seca do milho. Revista Caatinga, v. 14, n. 1/2, p. 53-63, 2001.

MALAVOLTA, E. Avaliação do estado nutricional das plantas: Princípios e aplicações. 2. ed. Piracicaba: Potafos, 1997. 319 p.

MALAVOLTA, E. Manual de nutrição mineral de plantas. São Paulo: Agronômica Ceres, 2006. 638 p.

MAR, G. D.; MARCHETTI, M. E.; SOUZA, L. C. F.; GONÇALVES, M. C.; NOVELINO, J. O. Produção do milho safrinha em função de doses e épocas de aplicação de nitrogênio. Bragantia, v. 62, n. 2, p. 267-274, 2003.

MARSCHNER, H. Mineral nutrition of higher plants. 2. ed. London: Academic Press, 1995. 889 p.

MARTINEZ, H. E. P.; CARVALHO, J. G.; SOUZA, R. B. Diagnose foliar. In: RIBEIRO, A. C.; GUIMARÃES, P. T. G.; ALVAREZ, V. V. H. (Ed.) Recomendação para uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais: 5ª Aproximação. Viçosa: Comissão de Fertilidade do Solo do Estado de Minas Gerais, 1999. p. 143-168.

MELGAR, R. J.; SMYTH, T. J.; CRAVO, M. S.; SANCHEZ, P. A. Doses e épocas de aplicação do fertilizante nitrogenado para milho em Latossolo da Amazônia Central. Revista Brasileira de Ciência do Solo, v. 15, n. 3, p. 289-296, 1991.

MINISTÉRIO DA FAZENDA. Secretaria de Acompanhamento Econômico - SEAE - Panorama do mercado de fertilizantes, p. 8-33, Maio/2011.

MONTEIRO, M. A. R.; COSTA, E. F.; GHEIY, H. R.; PINTO, J. M. Níveis de nitrogênio e lâminas de irrigação no rendimento do milho verde. Pesquisa Agropecuária Brasileira, v. 24, n. 6, p. 741-749, 1989.

MUZILLI, O. Adubação fosfatada no Estado do Paraná. In: OLIVEIRA, A. J. (Ed.). Adubação fosfatada no Brasil. Brasília: Embrapa, 1982. p. 61-100.

NEPTUNE, A. M. L.; NAKAGAWA, J.; SCOTTON, L. C.; SOUZA, E. A. Efeitos de doses não equidistantes de N, P, K, nas concentrações destes macronutrientes na folha e na produção do milho (*Zea mays* L.). Piracicaba: Anais da Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, v. 39, n. 2, p. 917-941, 1982.

NOVAIS, R. F. & SMYTH, T. J. Fósforo em solo e planta em condições tropicais. Viçosa: Universidade Federa de Viçosa, 1999, 399 p.

OLIVEIRA, A. J., LOURENÇO, S., GOEDERT, W. J. Adubação fosfatada no Brasil. Brasília: EMBRAPA, 1982. 326 p.

OLIVEIRA, F. A.; CAVALCANTE, L. F.; SILVA, I. F.; PEREIRA, W. E.; OLIVEIRA, J. C.; COSTA FILHO, J. F. Crescimento do milho adubado com nitrogênio e fósforo em um Latossolo Amarelo. Revista Brasileira de Ciências Agrárias, v. 4, n. 3, p. 238-244, 2009.

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, n. 5, p. 973-983, 2007.

OLIVEIRA, J. M. S. & CAIRES, E. F. Adubação nitrogenada em cobertura para o milho cultivado após aveia preta no sistema plantio direto. Acta Scientiarum. Agronomy, v. 25, n. 2, p. 351-357, 2003.

PARENTONI, S. N. Estimativas de efeitos gênicos de diversos caracteres relacionados à eficiência e resposta ao fósforo em milho tropical. Piracicaba: Universidade Federal de São Paulo – ESALQ, 2008. 207 p. (Tese de Doutorado).

PATERNIANI, E. Melhoramento e produção do milho no Brasil. Campinas: Fundação Cargill, 1978. 650 p.

PAULETTI, V. Nutrientes: Teores e interpretações. 2. ed. Castro, Fundação ABC, 2004. 86 p.

PEREIRA FILHO, I. A. Comportamento dos cultivares de milho (Zea mays L.) ‘Piranão’ e ‘Centralmex’ em diferentes condições de ambientes, espaçamentos e níveis de nitrogênio. Lavras, Universidade Federal de Lavras, 1977. 84 p. (Dissertação de Mestrado em Fitotecnia).

PEREIRA, R. G. Produção de sorgo granífero adubado com nitrogênio e fósforo na Chapada do Apodi-RN. Mossoró, Universidade Federal Rural do Semi-Árido, 2011. 81 f. (Tese de Doutorado em Fitotecnia).

PRADO, R. M.; FERNANDES, F. M.; ROQUE, C. G. Resposta da cultura do milho a modos de aplicação e doses de fósforo, em adubação de manutenção. Revista Brasileira de Ciência do Solo, v. 25, n. 1, p. 83-90, 2001.

RAIJ, B. V.; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J. A.; FURLANI, A. M. C. Recomendações de adubação e calagem para o estado de São Paulo. 2. ed. Campinas: Instituto Agronômico/ Fundação IAC, 1997. 285 p. (Boletim Técnico, 100).

RAIJ, B. van. Fertilidade do solo e adubação. Piracicaba: Agronômica Ceres, Associação Brasileira para a Pesquisa da Potassa e do Fosfato, 1991. 343 p.

RAO, A. C. S.; SMITH, J. L.; PARR, J. F.; PAPENDICK, R. I. Considerations in estimating nitrogen recovery efficiency by the difference and isotopic dilution methods. Fertilizer Research, v. 33, n. 3, p. 209-217, 1992.

RIBEIRO, A. C.; GUIMARÃES, P. T. G.; ALVAREZ V., V. H. (Eds.). Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais. Viçosa: CFSEMG, 1999. 359 p.

RIBEIRO JÚNIOR, J. I. Análises estatísticas no SAEG. Viçosa: Universidade Federal de Viçosa, 2001. 301 p.

SAMPAIO, E. V. S. B.; SALCEDO, I. H.; SILVA, F. B. R. Fertilidade de solos do semiárido do Nordeste. In: PEREIRA, J. R. & FARIA, C. M. B. (Eds.). Fertilizantes: Insumos básicos para a agricultura e combate à fome. Petrolina: Embrapa, 1995. p. 51-71.

SANTOS, M. R.; SEDIYAMA, M. A. N.; SANTOS, I. C.; SALGADO, L. T.; VIDIGAL, S. M. Produção de milho-verde em resposta ao efeito residual da adubação orgânica do quiabeiro em cultivo subsequente. Revista Ceres, v. 58, n. 1, p. 77-83, 2011.

SCHRÖDER, J. J.; NEETESON, J. J.; OENEMA, O.; STRUIK, P. C. Does the crop or the soil indicate how to save nitrogen in maize production? Reviewing the state of the art. Field Crops Research, v. 66, n. 1, p. 151-164, 2000.

SCUDELER, F.; VENEGAS, F.; CORDEIRO, R. N. Avaliação técnica e econômica de fontes de nitrogênio em plantio e cobertura na cultura do milho (*Zea mays* L.). Ensaios e Ciências: Ciências Biológicas, Agrárias e da Saúde, v. 15, n. 2, p. 67-75, 2011.

SEMENTES AGROCERES. Perfeito para milho verde e silagem. Disponível em: <www.sementesagroceres.com.br/ag1051.aspx>. Acesso em: 17 mar. 2012.

SEVERINO, F. J. Supressão da infestação de plantas daninhas pelo sistema de produção de integração lavoura-pecuária. Piracicaba, Universidade de São Paulo, 2005. 113 f. (Tese de Doutorado em Fitotecnia).

SHIOGA, P. S.; OLIVEIRA, E. L.; GERAGE, A. C. Densidade de plantas e adubação nitrogenada em milho cultivado na safrinha. Revista Brasileira de Milho e Sorgo, v. 3, n. 3, p. 381-390, 2004.

SILVA, E. C.; MURAOKA, T.; VILLANUEVA, F. C. A.; ESPINAL, F. S. C. Aproveitamento de nitrogênio pelo milho, em razão da adubação verde, nitrogenada e fosfatada. Pesquisa Agropecuária Brasileira, v. 44, n. 2, p. 118-127, 2009.

SILVA, P. S. L. & SILVA, P. I. B. Parcelamento da adubação nitrogenada e rendimento de espigas verdes de milho. Horticultura Brasileira, v. 21, n. 2, p. 149-152, 2003.

SILVA, P. S. L.; DINIZ FILHO, E. T.; GRANJEIRO, L. C.; DUARTE, S. R. Efeitos de níveis de nitrogênio e da aplicação de deltametrina sobre os rendimentos de espigas verdes e de grãos de milho. Revista Ceres, v. 47, n. 269, p. 75-87, 2000.

SILVA, P. S. L.; OLIVEIRA, F. H. T.; SILVA, P. I. B. Efeitos da aplicação de doses de nitrogênio e densidades de plantio sobre os rendimentos de espigas verdes e de grãos de milho. Horticultura Brasileira, v. 21, n. 3, p. 452- 55, 2003.

SILVEIRA, J. C. Determinação da necessidade de calagem em solos do Estado do Ceará. Fortaleza, Universidade Federal do Ceará, 1986. 67 p. (Dissertação de Mestrado).

SOARES, M. A. Influência de nitrogênio, zinco e boro e de suas respectivas interações no desenvolvimento da cultura do milho *(Zea mays* L.). Piracicaba, Universidade de São Paulo - ESALQ, 2003, 92 f. (Dissertação de Mestrado em Agronomia).

SOUSA, D. M. G. & LOBATO, E. Cerrado: correção do solo e adubação. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2004. 416 p.

SOUZA, E. C. A.; COUTINHO, E. L. M.; NATALE, W.; BARBOSA, J. C. Respostas do milho à adubação com fósforo e zinco. Pesquisa Agropecuária Brasileira, v. 33, n. 7, p. 1031-1036, 1998.

TAIZ, L. & ZEIGER, E. Fisiologia vegetal, 3. ed. Porto Alegre: Artmed, 2004. 526 p.

TEDESCO, M. J.; GIANELLO, C.; BISSANI, C. A.; BOHNEM, H.; VOLKWEISS, S. J. Análise de solo, plantas e outros materiais. 2. ed. Porto Alegre: Universidade Federal do Rio Grande do Sul. 1995. 174 p. (Boletim Técnico, 5).

UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ. Recomendações de adubação e calagem para o estado do Ceará. Fortaleza: Universidade Federal do Ceará, 1993. 247 p.

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, n. 2, 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, n. 3, p. 382-394, 2006.

VIEIRA, J. M.; FONTES, L. A.; GALVÃO, J. D. Produção de grãos, teores de proteínas e de lisina em cultivares de milho Opaco-2 e normal, em diferentes níveis de adubação nitrogenada e fosfatada. Experimento UFV, Viçosa v. 21, n. 3, p. 49-69, 1976.

WENDLING, A.; CUBILLA, M.; ELTZ, F. L. F.; GRAMINHO, D. H.; SARI, E. L.; MIELNICZUK, J. Resposta da cultura do milho em plantio direto a aplicação de nitrogênio na região sudoeste do Paraguai. 2004. Disponível em: <http://w3.ufsm.br/pgcs/congressos/XVRBMCSA_SM/Eltz/Ademir%20Wendling.pdf>. Acesso em 21 jun. 2012.