

## DOSES DE NITROGÊNIO E FÓSFORO PARA A PRODUÇÃO ECONÔMICA DA MAMONEIRA NO MUNICÍPIO DE MOSSORÓ-RN

ANTONIA ROSIMEIRE DA CRUZ SILVA<sup>2\*</sup>, FÁBIO HENRIQUE TAVARES DE OLIVEIRA<sup>3</sup>, ADELSON PAULO DE ARAÚJO<sup>4</sup>, JOSÉ FRANCISMAR DE MEDEIROS<sup>5</sup> E EVERALDO ZONTA<sup>6</sup>

**RESUMO** - A adubação da mamoneira (*Ricinus communis* L.) é pouco estudada no Nordeste, onde os solos geralmente são muito pobres em nitrogênio (N) e fósforo (P). Neste trabalho se objetivou definir as doses de N e de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> associadas à máxima produção econômica da mamoneira cultivar BRS Energia e os níveis críticos de N e de P na folha da mamoneira e o nível crítico de P disponível em um Argissolo Vermelho Amarelo. O delineamento experimental foi em blocos ao acaso em esquema fatorial 4 x 4 com quatro repetições, combinando quatro doses de N (0, 45, 70 e 120 kg ha<sup>-1</sup>) com quatro doses de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> (0, 30, 60 e 120 kg ha<sup>-1</sup>). A mamoneira foi plantada no espaçamento de 0,90 x 0,50 m em condições de sequeiro com irrigação complementar. Ao final do experimento, foram avaliadas a produtividade total e produtividade dos racemos primário, secundário e restantes. A maior receita líquida foi estimada para a produtividade de 2.304 kg ha<sup>-1</sup> de grãos, obtida mediante a aplicação das doses de 120 kg ha<sup>-1</sup> de N + 120 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>. Os níveis críticos de N e de P na folha foram 37,5 g kg<sup>-1</sup> e 2,4 g kg<sup>-1</sup>, respectivamente, e o nível crítico de P disponível no solo pelo extrator Mehlich-1 foi 7,0 mg dm<sup>-3</sup>.

**Palavras-Chave:** *Ricinus communis* L. Adubação. Produtividade.

## DOSES OF NITROGEN AND PHOSPHORUS FOR ECONOMIC PRODUCTION OF CASTOR BEAN PLANT IN MOSSORÓ CITY

**ABSTRACT** - The fertilization of the castor bean plant (*Ricinus communis* L.) is few studies in the Northeast, where soils are generally poor in nitrogen (N) and phosphorus (P). This work aimed to define the doses of N and P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> associated with maximum economic production of castor beans cultivar BRS Energia and critical levels of N and P in castor bean leaf and the critical level of P available in an Oxisols. The experimental design was a randomized block in factorial 4 x 4 with four replicates, combining four N rates (0, 45, 70 and 120 kg ha<sup>-1</sup>) with four P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> rates (0, 30, 60 and 120 kg ha<sup>-1</sup>). The castor bean plant was planted at a spacing of 0,90 x 0,50 m under rainfed conditions with supplementary irrigation. At the end of the experiment, was evaluated the overall productivity and productivity racemes primary, secondary and other. The higher net income was estimated to productivity of 2.304 kg ha<sup>-1</sup> grain, obtained by applying the doses of 120 kg ha<sup>-1</sup> of N + 120 kg ha<sup>-1</sup> of P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>. The critical levels of N and P in the leaf were 37,5 g kg<sup>-1</sup> and 2,4 g kg<sup>-1</sup>, respectively, and the critical level of available P in soil by Mehlich-1 extractor was 7,0 mg dm<sup>-3</sup>.

**Keywords:** *Ricinus communis* L. Fertilization. Productivity.

\* Autor para correspondência

<sup>1</sup> Recebido para publicação em 20/03/2012; aceito em 28/11/2012

<sup>2</sup> Doutoranda em Agronomia-Fitotecnia, UFRSA, Caixa Postal 10A, 59631-190 Mossoró-RN; agro\_meirinha@hotmail.com.

<sup>3</sup> Professor Adjunto do Departamento de Ciências Ambientais da Universidade Federal Rural do Semi-Árido - UFRSA. CEP 59625-900 Mossoró-RN; fabio@ufersa.edu.br.

<sup>4</sup> Professor do Departamento de Solos, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro – FRRJ. CEP 23890-000 Seropédica (RJ). Bolsista do CNPq. E-mail: aparaujo@ufrj.br.

<sup>5</sup> Departamento de Ciências Ambientais, UFRSA, BR 110, km 47, Caixa Postal 137, 59625-900, Mossoró - RN; jfmedeir@ufersa.edu.br.

<sup>6</sup> Professor Adjunto do Departamento de Solos da Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro - UFRJ. BR 465, km7, CEP 23890-000, Seropédica-RJ; ezonta@ufrj.br.

## INTRODUÇÃO

A mamoneira é uma oleaginosa com bastante representatividade no cenário econômico (SILVA et al., 2007), sendo cultivada no nordeste brasileiro há muito tempo. Porém, o interesse por esta cultura tem aumentado nos últimos anos após o lançamento do Programa Nacional do Biodiesel. O óleo da mamoneira possui várias aplicações industriais, sendo utilizado como ingrediente na fabricação de plásticos, lubrificantes, biodiesel, entre outros (LIMA et al., 2008; ALMEIDA JÚNIOR et al., 2009). Para que o cultivo dessa oleaginosa seja economicamente viável, é necessário que se obtenham produtividades elevadas, o que depende muito do suprimento adequado de nutrientes para essa cultura.

No Nordeste Brasileiro, mais especialmente no Estado do Rio Grande do Norte, a cultura da mamona não tem sido muito estudada em relação à definição de doses econômicas recomendadas de nitrogênio e de fósforo, particularmente em condições de irrigação. Sabe-se, porém, que a mamoneira é uma planta exigente em nutrientes, com concentração elevada de óleo e de proteínas nas sementes, o que aumenta a demanda da planta por elementos essenciais, principalmente nitrogênio, fósforo, potássio, cálcio e magnésio (SAVY FILHO, 2005 e LÉLES et al., 2010). Em experimento de campo com a cultura da mamona no município de Carnaubais-RN, Severino et al. (2006) registraram produtividade de grãos da ordem de 1.172 kg ha<sup>-1</sup>, aplicando-se 2,5 t ha<sup>-1</sup> de material orgânico + 55 kg ha<sup>-1</sup> de N + 70 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> e 50 kg ha<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>O.

Silva et al. (2012), estudando o crescimento vegetativo e a produtividade da mamoneira em função da cultivar e da adubação fosfatada, obtiveram o rendimento máximo de 1.116 kg ha<sup>-1</sup>, para a dose de 134 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>. Segundo Cantarutti et al. (2007) e Malavolta et al. (1997), o nível crítico ou teor ideal de N nas folhas da mamoneira é de aproximadamente 40-50 g kg<sup>-1</sup>, para o P, esses valores variam de 3,0 a 4,0 g kg<sup>-1</sup>.

As principais tabelas de recomendação de adubação para a cultura da mamona em uso no país (FERNANDES, 1993; SAVY FILHO, 1997; GOMES; COUTINHO, 1998; COMISSÃO DE FERTI-

LIDADE DO SOLO DO ESTADO DE MINAS GERAIS, 1999; SOUSA; LOBATO, 2004) recomendam doses de N que variam de 35 a 75 kg ha<sup>-1</sup> e doses de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> variando de 20 a 90 kg ha<sup>-1</sup>, dependendo do teor de P disponível no solo. As grandes diferenças entre as doses mínimas e máximas de N e de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> recomendadas para esses nutrientes indicam a necessidade de realização de experimentos de adubação nas diferentes regiões produtoras de mamona do país, tendo em vista a elaboração de recomendações de adubação mais regionalizadas. Atualmente, não existe nenhuma recomendação de adubação oficial para a cultura da mamona no Estado do Rio Grande do Norte.

Assim, a realização de experimentos de campo visando à elaboração de uma recomendação de adubação nitrogenada e fosfatada para a cultura da mamona nas condições edafoclimáticas do semiárido do Estado do Rio Grande do Norte, é fundamental para obtenção de produtividades elevadas e economicamente viáveis dessa cultura.

Neste trabalho, objetivou-se estimar as doses de N e de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> associadas à máxima produção econômica da mamoneira, bem como os níveis críticos de N e de P na folha e o nível crítico de P disponível em um Argissolo Vermelho Amarelo do município de Mossoró.

## MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi realizado em um Argissolo Vermelho Amarelo (EMBRAPA, 2006) da Fazenda Experimental Rafael Fernandes, pertencente à Universidade Federal Rural do Semiárido (UFERSA), localizada no município de Mossoró-RN. A área experimental está localizada na latitude 5°03'40''S, longitude 37°23'51''W e altitude de 72 m, distante 20 km da sede do município de Mossoró-RN. O clima da região é do tipo semiárido quente e apresenta um período chuvoso de quatro meses (fevereiro a maio) e um período de seca de oito meses (junho a janeiro).

Antes da instalação do experimento, foi coletada uma amostra composta de solo da área experimental na profundidade de 0 a 20 cm, para caracterização química e análise do teor de argila (Tabela 1), de acordo com Embrapa (1997).

**Tabela 1.** Características químicas e teor de argila do solo da área experimental, avaliadas na profundidade de 0-20 cm, antes da instalação dos tratamentos

pH	M.O	N <sub>total</sub>	P	K <sup>+</sup>	Na <sup>+</sup>	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Al <sup>3+</sup>	(H+Al)	V	PST	Argila
(água)	---	g kg <sup>-1</sup>	---	mg dm <sup>-3</sup>	---	---	cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>	---	---	---	%	g kg <sup>-1</sup>
5,88	3,6	0,28	1,5	55,9	8,7	0,4	0,5	0,15	2,64	45	0,8	90

Após duas gradagens cruzadas e abertura de sulcos distanciados de 0,9 m, foi realizada calagem aplicando-se 1 t ha<sup>-1</sup> de calcário dolomítico. O calcário e os adubos aplicados no sulco de plantio foram incorporados levemente e cobertos com uma peque-

na camada de terra, sobre a qual foi realizada a semeadura em abril de 2009, colocando-se duas sementes a cada 0,5 m de sulco. A cultivar de mamona utilizada foi a BRS Energia, a qual tem porte baixo (em torno de 1,40 m), ciclo entre 120 e 150 dias e frutos indeiscentes.

Cada parcela constou de quatro linhas de 8 m de comprimento espaçadas de 0,90 m, com 0,50 m entre plantas. A área útil da parcela era formada pelas duas linhas centrais, descartando-se duas plantas em cada extremidade. O delineamento experimental foi o de blocos ao acaso com quatro repetições, em um esquema fatorial 4 x 4, no qual foram combinadas quatro doses de N (0, 45, 70 e 120 kg ha<sup>-1</sup>) com quatro doses de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> (0, 30, 60 e 120 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>), obtendo-se 16 tratamentos. Em todos os tratamentos, foram aplicadas as doses de 50; 20; 1,0; 1,0 e 0,5 kg ha<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>O, S, B, Zn e Cu, respectivamente.

A dose total de N foi parcelada em três aplicações, colocando-se 20% no fundo do sulco por ocasião do plantio, 40% aos 30 dias após a emergência (DAE) e os 40% restantes da dose total de N aos 50 DAE. A dose de K foi parcelada, aplicando-se metade no plantio e metade aos 30 DAE, juntamente com o N. As doses dos demais nutrientes foram aplicadas no fundo do sulco por ocasião do plantio, juntamente com o N. Os adubos utilizados como fontes de N, P, K, B, Zn, Cu e S foram uréia, superfosfato triplo, cloreto de potássio, ácido bórico, sulfato de zinco, sulfato de cobre e gesso, respectivamente.

Após a realização das duas adubações nitrogenadas de cobertura, verificou-se um desenvolvimento limitado das plantas e sintomas visuais de deficiência de N, mesmo nos tratamentos correspondentes às maiores doses de N aplicadas. Isto aconteceu provavelmente por causa de grandes perdas de N por lixiviação e escoamento superficial de adubos durante períodos de intensas chuvas após a aplicação das adubações nitrogenadas de cobertura (690 mm - registrada durante o período de 07/04 a 30/09 de 2009 e sendo que só no mês de implantação (Abril) choveu 442,4 mm). Diante desse fato, aos 63 DAE aplicou-se mais 20 kg ha<sup>-1</sup> de N em todas as parcelas de todos os tratamentos, exceto naquelas correspondentes a dose 0 (zero) de N, de modo que as doses de N aplicadas passaram de 0, 25, 50 e 100 kg ha<sup>-1</sup> inicialmente proposto, para 0, 45, 70 e 120 kg ha<sup>-1</sup>.

Aos 22 DAE foi realizado o desbaste, deixando-se uma planta a cada 0,5 m ao longo da linha, e o controle de plantas daninhas foi realizado utilizando-se capinas manuais. Em alguns períodos de veranico realizou-se a irrigação das plantas por gotejamento, de modo que durante todo o experimento a cultura não sofreu nenhum estresse hídrico.

Aos 45 DAE, na área útil de cada parcela, foram coletadas 12 amostras simples de solo na profundidade de 0 a 20 cm, para formar uma amostra composta. Para essa amostragem, seguiu-se a recomendação de Oliveira et al. (2007), coletando-se duas amostras simples no sulco de plantio, quatro amostras simples a 10 cm de distância do sulco de plantio e as outras seis amostras simples no ponto médio entre os dois sulcos. Nessas amostras compostas de solo foram determinados os teores de P dispo-

nível pelo extrator Mehlich-1 (EMBRAPA, 1997) e os teores de N total (TEDESCO et al., 1995).

No início do florescimento da mamoneira, foi coletado o limbo foliar da quarta folha a partir do ápice (MALAVOLTA et al., 1997) de 12 plantas da área útil de cada parcela. Essas folhas foram secas em estufa a 65 °C, moídas e analisadas quanto aos teores de N e de P, segundo métodos descritos em Tedesco et al. (1995).

A colheita foi manual, sendo que a primeira foi realizada no dia 28/07/2009 e a última no dia 30/10/2009. Os racemos de todas as plantas da área útil da parcela foram cortados, sendo separados em racemos primários, secundários e restantes, que foram levados para laboratório, onde foram colocados para secar a sombra. As sementes foram retiradas dos frutos e pesadas para obtenção da produtividade, ajustando-se o valor para 10% de umidade nos grãos.

As análises estatísticas consistiram da realização de análises de variância e de regressão linear múltipla (superfície de resposta). Foi ajustado um modelo de regressão linear múltipla às médias de cada tratamento,  $Y = a + bN + cN^2 + dP + eP^2 + fNP$ , onde Y é a variável dependente, N as doses de N (kg ha<sup>-1</sup>) e P as doses de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> (kg ha<sup>-1</sup>). 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. Todos os coeficientes do modelo de regressão foram testados com base no quadrado médio do resíduo da análise de variância do experimento, o qual possuía 45 graus de liberdade.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Para todas as características de produção (Tabela 2), a magnitude do efeito da adubação fosfatada foi maior que a magnitude do efeito da adubação nitrogenada (Figuras 1 e 2), indicando que a deficiência de P é mais limitante para a produção da mamoneira do que a deficiência de N. A superfície de resposta para a produção total de grãos (Figura 1a) mostra que, na ausência de adubação fosfatada, a produção total de grãos da mamoneira chegou a diminuir com o aumento das doses de N, mas a resposta da cultura à adubação nitrogenada foi muito alta quando se aplicou 120 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>. Para esta dose de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> e aplicando-se 120 kg ha<sup>-1</sup> de N, a produção dobrou quando comparada com a aplicação dos mesmos 120 kg ha<sup>-1</sup> P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> de na dose 0 kg ha<sup>-1</sup> de N (Tabela 2).

O efeito da adubação fosfatada na produção da mamoneira foi pequeno para a dose zero de N, mas foi de grande magnitude na dose de 120 kg ha<sup>-1</sup> de N (Figura 1a).

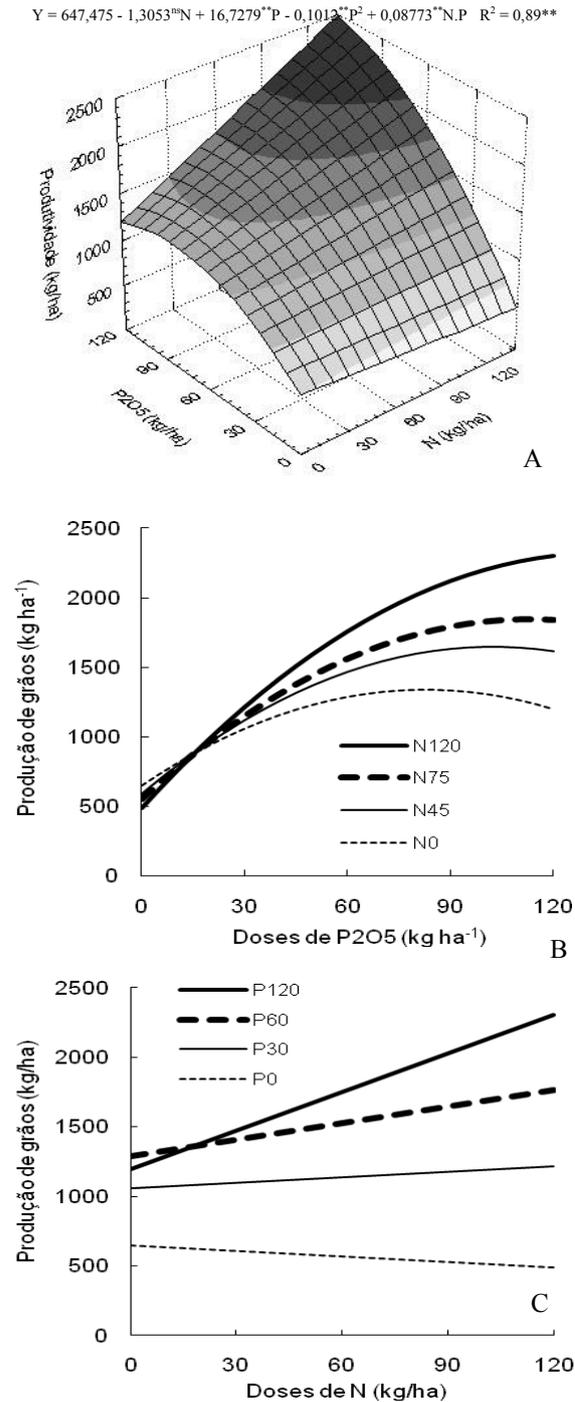
**Tabela 2.** Produção total de grãos, produção de grãos do racemo primário, produção de grãos do racemo secundário e produção de grãos dos racemos restantes em função de doses de nitrogênio e de fósforo aplicadas no solo

Dose de N (kg ha <sup>-1</sup> )	Dose de P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (kg ha <sup>-1</sup> )				Média
	0	30	60	120	
----- Produção total de grãos (kg ha <sup>-1</sup> ) -----					
0	378	1.273	1.271	1.222	1.036
45	610	1.488	1.112	1.516	1.182
70	504	1.334	1.584	1.885	1.327
120	531	1.143	1.591	2.416	1.420
Média	506	1.310	1.389	1.760	1.241
ANOVA <sup>(1)</sup>	F <sub>(N)</sub> = 9,13**	F <sub>(P)</sub> = 89,75**	F <sub>(NXP)</sub> = 6,37**		CV(%) = 18
----- Produção de grãos do racemo primário (kg ha <sup>-1</sup> ) -----					
0	250	398	352	396	349
45	304	481	404	542	433
70	270	450	500	573	448
120	271	480	532	759	510
Média	274	452	447	568	435
ANOVA <sup>(1)</sup>	F <sub>(N)</sub> = 22,17**	F <sub>(P)</sub> = 74,33**	F <sub>(NXP)</sub> = 5,63**		CV(%) = 13
----- Produção de grãos do racemo secundário (kg ha <sup>-1</sup> ) -----					
0	125	517	501	513	414
45	229	482	429	563	426
70	206	472	569	621	467
120	232	401	680	776	522
Média	198	468	545	618	457
ANOVA <sup>(1)</sup>	F <sub>(N)</sub> = 2,92**	F <sub>(P)</sub> = 41,08**	F <sub>(NXP)</sub> = 2,00 <sup>ns</sup>		CV(%) = 25
----- Produção de grãos dos racemos restantes (kg ha <sup>-1</sup> ) -----					
0	4	358	417	312	273
45	77	525	280	412	323
70	28	412	515	691	412
120	29	262	379	881	388
Média	34	389	398	574	349
ANOVA <sup>(1)</sup>	F <sub>(N)</sub> = 3,58**	F <sub>(P)</sub> = 46,39**	F <sub>(NXP)</sub> = 5,61**		CV(%) = 38

<sup>(1)</sup>Valores de “F” da análise de variância, para os efeitos de doses de N (N), doses de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> (P) e da interação entre doses de N e doses de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> (NXP). Considerou-se o delineamento de blocos ao acaso, com 15 graus de liberdade para tratamentos e 45 graus de liberdade para o resíduo. \*\*: Significativo a 1%, \*: significativo a 5%, <sup>ns</sup>: não significativo.

Para esta dose de N e aplicando-se 120 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, a produção aumentou aproximadamente cinco vezes quando comparada com a aplicação dos

mesmos 120 kg ha<sup>-1</sup> de N na dose zero de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> (Figura 1a).



**Figura 1.** Superfície de resposta para a produção total de grãos (a) em função de doses de nitrogênio e de fósforo aplicadas no solo, com detalhes para a produção total de grãos em função de doses de N (b) e em função de doses de  $P_2O_5$  (c). \*\*: significativo a 1% <sup>ns</sup>: não significativo.

A produção total de grãos da mamoneira variou de 378 ( $0 \text{ kg ha}^{-1}$  de N +  $0 \text{ kg ha}^{-1}$  de  $P_2O_5$ ) a  $2.416 \text{ kg ha}^{-1}$  ( $120 \text{ kg ha}^{-1}$  de N +  $120 \text{ kg ha}^{-1}$  de  $P_2O_5$ ), com média geral de  $1.241 \text{ kg ha}^{-1}$  (Tabela 2). Quanto à distribuição dessa produção entre os racemos, observa-se que os racemos primários, secundários e restantes responderam com aproximadamente 35, 37 e 28% da produção total de grãos, respectiva-

mente.

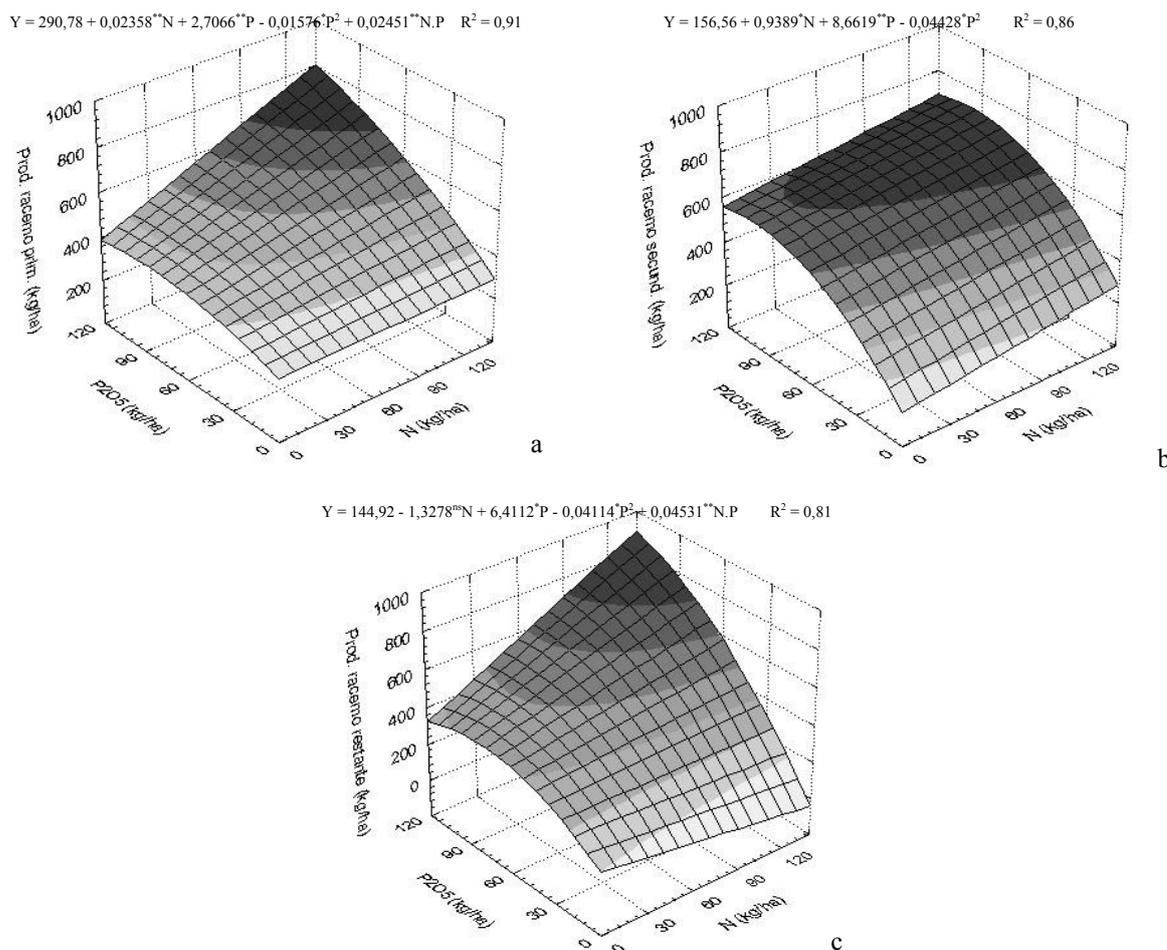
Pelo que se observa na figura 1a, a máxima produção total de grãos da mamoneira se obtém mediante a combinação das doses de  $120 \text{ kg ha}^{-1}$  de N +  $120 \text{ kg ha}^{-1}$  de  $P_2O_5$ . De modo geral, a distribuição da produção de grãos entre os racemos não foi influenciada pelas doses de N e de  $P_2O_5$ , com destaque apenas para os tratamentos correspondentes à dose zero de  $P_2O_5$ , nos quais a pequena produção de grãos ( $506 \text{ kg ha}^{-1}$ ) ficou concentrada nos racemos primários, que responderam por 54% da produção total de grãos (Tabela 2).

Houve efeito da interação entre doses de N e de  $P_2O_5$  na produção total de grãos, produção de grãos dos racemos primários e produção de grãos dos racemos restantes (Figuras 1 e 2 a,c), mas não houve interação entre esses fatores para a produção de grãos dos racemos secundários (Figura 2b). Houve sinergismo na interação significando que a resposta da mamoneira à adubação fosfatada depende da disponibilidade de N no solo e que a resposta da cultura à adubação nitrogenada depende da disponibilidade de P no solo.

Silva et al. (2012) observaram um aumento significativo na produtividade, obtendo-se rendimento máximo de  $1.116,20 \text{ kg ha}^{-1}$  na dose de  $134,10 \text{ kg ha}^{-1}$  de  $P_2O_5$  e em estudos conduzidos por Oliveira et al. (2010), onde observou-se aumento da produtividade da mamoneira pela aplicação de doses crescente de  $P_2O_5$ . Segundo Pacheco et al. (2008), a produtividade da mamoneira é mais influenciada pela adubação fosfatada, havendo pouco efeito do N, o que discorda dos resultados encontrados por Severino et al. (2006), que constataram maior resposta à adubação nitrogenada, seguida pela fosfatada e potássica.

De acordo com os valores observados (Tabela 2) e estimados (Tabela 3) para a produtividade total de grãos, a produtividade de máxima eficiência física ( $2.326 \text{ kg ha}^{-1}$ ) seria obtida aplicando-se  $120 \text{ kg ha}^{-1}$  de N +  $135 \text{ kg ha}^{-1}$   $P_2O_5$ , de modo que as doses de N e de  $P_2O_5$  correspondentes à máxima eficiência econômica seriam menores ou iguais a estas.

As principais tabelas de recomendação de adubação em uso no país (Universidade Federal do Ceará, 1993; Quaggio & Ungaro, 1997; CFSEMG, 1999; Sousa & Lobato, 2004; Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2004) recomendam doses de N variando de  $40$  a  $70 \text{ kg ha}^{-1}$  (média de  $55 \text{ kg ha}^{-1}$ ) e doses de  $P_2O_5$  variando de  $24$  a  $90 \text{ kg ha}^{-1}$  (média de  $57 \text{ kg ha}^{-1}$ ). Assim, em média, as tabelas de recomendação de adubação recomendam doses de N e de  $P_2O_5$  correspondentes à metade das doses desses nutrientes estimados para a máxima eficiência física neste trabalho.



**Figura 2.** Superfície de resposta para a produção de grãos dos racemos primários (a), produção de grãos dos racemos secundários (b) e produção de grãos dos racemos restantes (c), em função de doses de nitrogênio e de fósforo aplicadas no solo. \*\*: significativo a 1% ; \* : significativo a 5%. ns: não significativo.

**Tabela 3.** Produtividade total de grãos estimada, receita bruta, gastos com adubos nitrogenados e fosfatados e receita líquida, em função de doses N e de  $P_2O_5$  aplicadas ao solo

Dose de N	Dose de $P_2O_5$	Produtividade estimada <sup>(1)</sup>	Receita Bruta	Gasto com adubos	Receita Líquida
kg ha <sup>-1</sup>	kg ha <sup>-1</sup>	kg ha <sup>-1</sup>	----- R\$ -----	----- R\$ -----	----- R\$ -----
0	0	647	798	0	798
0	30	1.058	1.305	76	1.229
0	60	1.287	1.587	151	1.436
0	120	1.198	1.477	302	1.174
45	0	589	726	120	606
45	30	1.118	1.378	196	1.183
45	60	1.465	1.806	271	1.535
45	120	1.613	1.988	423	1.566
70	0	556	686	187	499
70	30	1.151	1.419	263	1.157
70	60	1.564	1.928	338	1.590
70	120	1.843	2.273	489	1.783
120	0	491	605	320	285
120	30	1.217	1.501	396	1.105
120	60	1.762	2.172	472	1.701
<b>120</b>	<b>120</b>	<b>2.304</b>	<b>2.841</b>	<b>623</b>	<b>2.218</b>
120 <sup>(2)</sup>	135 <sup>(2)</sup>	2.326	2.868	664	2.204

<sup>(1)</sup> Produção estimada pela equação de regressão linear múltipla apresentada na figura 1a.

<sup>(2)</sup> Doses de N e de  $P_2O_5$  estimadas pela equação de regressão linear múltipla para produção de máxima eficiência física.

Atribuindo-se o valor de  $60 \text{ kg ha}^{-1}$  para as doses de N e de  $\text{P}_2\text{O}_5$  na função de produção (Figura 1a), obtém-se a produtividade de  $1.524 \text{ kg ha}^{-1}$ , valor correspondente a 66 % da produtividade da máxima eficiência física. Portanto, a diminuição das doses de N e de  $\text{P}_2\text{O}_5$  de 120 para  $60 \text{ kg ha}^{-1}$  diminuiria a produtividade de grãos em  $780 \text{ kg ha}^{-1}$ . Considerando que uma saca de 60 kg de grãos de mamona custa aproximadamente R\$ 75,00, a diminuição na receita bruta do produtor rural seria de R\$ 975,00, caso ele diminuísse as doses de N e de  $\text{P}_2\text{O}_5$  de 120 para  $60 \text{ kg ha}^{-1}$ .

Considerando que um saco de 50 kg de superfosfato triplo custa R\$ 53,00 e o de ureia R\$ 60,00, o preço de 1 kg de  $\text{P}_2\text{O}_5$  custa R\$ 2,52 e o de N via ureia custa R\$ 2,67. Dessa forma, a diminuição na dose de  $\text{P}_2\text{O}_5$  de  $120 \text{ kg ha}^{-1}$  para  $60 \text{ kg ha}^{-1}$  gera uma economia na compra do superfosfato triplo de R\$ 151,20. Para o N, a diminuição na dose de N de  $120 \text{ kg ha}^{-1}$  para  $60 \text{ kg ha}^{-1}$  gera uma economia de R\$ 160,20 na compra de ureia. Dessa forma, reduzindo as doses de N e de  $\text{P}_2\text{O}_5$  pela metade, obtém-se uma economia de R\$ 311,40 na compra de fertilizantes nitrogenados e fosfatados, mas se perderia R\$ 975,00 de receita bruta pela diminuição na produtividade de grãos.

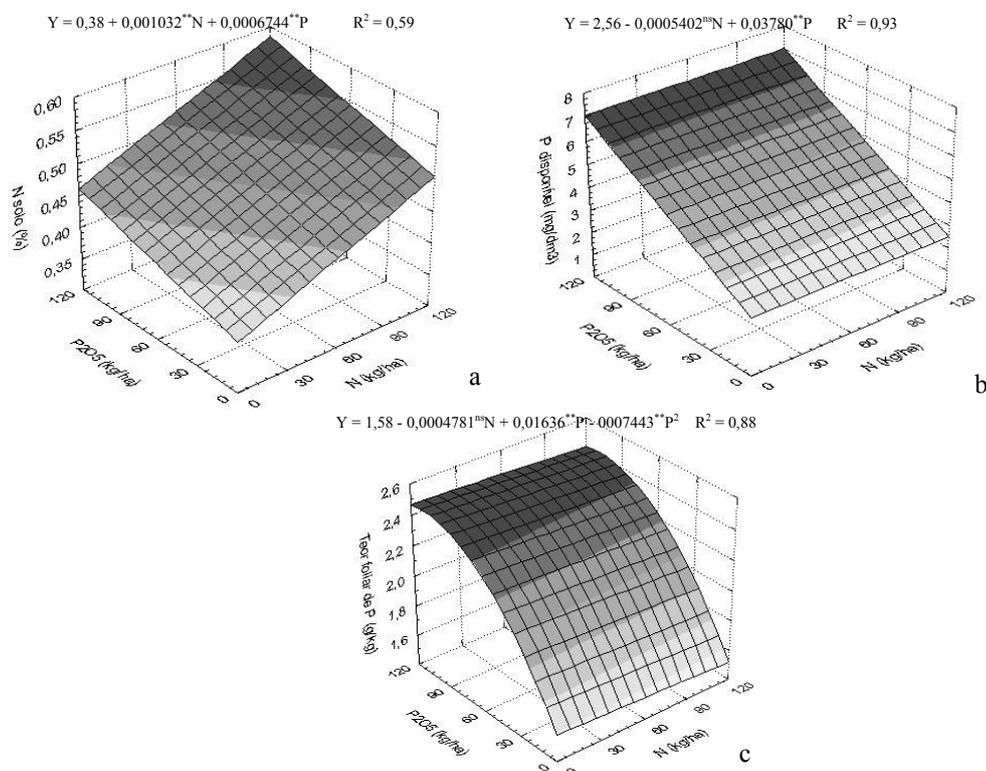
Pelo exposto, as doses de  $60 \text{ kg ha}^{-1}$  de N e de  $60 \text{ kg ha}^{-1}$  de  $\text{P}_2\text{O}_5$  não podem ser consideradas como as doses correspondentes à máxima eficiência econômica, o que discorda com as doses médias de N e de  $\text{P}_2\text{O}_5$  recomendadas pelas tabelas de recomendação

de adubação em uso no país. No presente trabalho, a aplicação de  $120 \text{ kg ha}^{-1}$  de N +  $120 \text{ kg ha}^{-1}$  de  $\text{P}_2\text{O}_5$  proporcionou a maior receita líquida, de modo que elas podem ser consideradas com as doses de máxima eficiência econômica.

Os teores médios de N na folha variaram de  $34,78 \text{ g kg}^{-1}$  a  $41,67 \text{ g kg}^{-1}$  (Tabela 4), não sendo observado efeito significativo das doses de N e de  $\text{P}_2\text{O}_5$  aplicadas nos teores de N na folha, de modo que nenhum modelo de regressão linear múltipla se ajustou aos dados. A ausência de resposta do teor de N na folha ao aumento das doses de N aplicadas ocorreu provavelmente por um efeito de diluição do N, em função do maior crescimento das plantas nas doses mais elevadas de N (SILVA, 2010).

Dessa forma, pode-se considerar que o nível crítico de N na folha diagnóstica da mamoneira para este experimento seja igual a média geral obtida, que foi de  $37,53 \text{ g kg}^{-1}$ . Malavolta et al. (1997) e Cantarutti et al. (2007) consideram que o nível crítico de N na folha diagnóstica da mamoneira varia de 40 a  $50 \text{ g kg}^{-1}$ .

Os teores de P na planta (Tabela 4) variaram de  $1,41 \text{ g kg}^{-1}$  ( $0 \text{ kg ha}^{-1}$  de N +  $0 \text{ kg ha}^{-1}$  de  $\text{P}_2\text{O}_5$ ) a  $2,60 \text{ g kg}^{-1}$  ( $120 \text{ kg ha}^{-1}$  de N +  $120 \text{ kg ha}^{-1}$  de  $\text{P}_2\text{O}_5$ ). Não houve efeito de doses de N nos teores de P na planta, mas o aumento das doses de  $\text{P}_2\text{O}_5$  aplicadas no solo provocou aumento na concentração de P na folha (Figura 3c). Pelo modelo de regressão (Figura 3c), estima-se que a maior concentração de P na folha ( $2,51 \text{ g kg}^{-1}$ ) seja obtida pela aplicação de  $110 \text{ kg ha}^{-1}$  de  $\text{P}_2\text{O}_5$  no solo.



**Figura 3.** Superfície de resposta para os teores de nitrogênio (a) e de fósforo no solo (b) e de fósforo na folha (c), em função de doses de nitrogênio e de fósforo aplicadas no solo. \*\*: significativo a 1%<sup>ns</sup>: não significativo.

**Tabela 4.** Teores de nitrogênio e de fósforo no solo e na planta, em função de doses de nitrogênio e de fósforo aplicadas no solo.

Dose de N (kg ha <sup>-1</sup> )	Dose de P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (kg ha <sup>-1</sup> )				Média
	0	30	60	120	
----- Nitrogênio no solo (g kg <sup>-1</sup> ) -----					
0	0,37	0,42	0,49	0,40	0,42
45	0,44	0,39	0,48	0,52	0,46
70	0,51	0,44	0,54	0,53	0,50
120	0,54	0,44	0,53	0,65	0,54
Média	0,46	0,42	0,51	0,52	0,48
ANOVA <sup>(1)</sup>	F <sub>(N)</sub> = 1,74 <sup>ns</sup>	F <sub>(P)</sub> = 2,88 <sup>**</sup>	F <sub>(NXP)</sub> = 0,76 <sup>ns</sup>	C.V(%) = 7	
----- Fósforo disponível no solo <sup>(2)</sup> (mg dm <sup>-3</sup> ) -----					
0	2,21	3,86	5,23	6,35	4,41
45	2,93	4,28	5,20	7,27	4,92
70	2,32	3,87	4,33	6,47	4,25
120	1,98	3,47	4,61	7,90	4,49
Média	2,36	3,87	4,84	7,00	4,52
ANOVA <sup>(1)</sup>	F <sub>(N)</sub> = 10,63 <sup>**</sup>	F <sub>(P)</sub> = 148,49 <sup>**</sup>	F <sub>(NXP)</sub> = 0,66 <sup>ns</sup>	C.V(%) = 16	
----- Nitrogênio na planta (g kg <sup>-1</sup> ) -----					
0	41,67	35,44	36,97	34,78	37,21
45	36,17	36,64	37,19	36,09	36,52
70	36,86	37,95	39,27	37,84	37,98
120	38,06	38,94	38,61	37,95	38,39
Média	38,19	37,24	38,01	36,67	37,53
ANOVA <sup>(1)</sup>	F <sub>(N)</sub> = 1,66 <sup>ns</sup>	F <sub>(P)</sub> = 1,19 <sup>ns</sup>	F <sub>(NXP)</sub> = 1,40 <sup>ns</sup>	C.V(%) = 23	
----- Fósforo na planta (g kg <sup>-1</sup> ) -----					
0	1,41	2,25	2,12	2,51	2,07
45	1,69	2,05	2,42	2,37	2,13
70	1,52	2,02	2,16	2,36	2,02
120	1,48	1,94	2,12	2,60	2,04
Média	1,52	2,07	2,20	2,46	2,06
ANOVA <sup>(1)</sup>	F <sub>(N)</sub> = 4,88 <sup>**</sup>	F <sub>(P)</sub> = 22,77 <sup>**</sup>	F <sub>(NXP)</sub> = 0,65 <sup>ns</sup>	C.V(%) = 24	

<sup>(1)</sup>Valores de "F" da análise de variância, para os efeitos de doses de N (N), doses de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> (P) e da interação entre doses de N e doses de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> (NXP). Considerou-se o delineamento de blocos ao acaso, com 15 graus de liberdade para tratamentos e 45 graus de liberdade para o resíduo. \*\*: Significativo a 1% , \* : significativo a 5%, ns: não significativo.

<sup>(2)</sup>P extraído do solo com o extrator Mehlich-1.

Esta concentração de P na folha (2,51 g kg<sup>-1</sup>) ainda está abaixo da faixa de suficiência (3,0 a 4,0 g kg<sup>-1</sup>) recomendada por Malavolta et al. (1997) e Cantarutti et al. (2007). Isso indica que houve uma provável deficiência de P na planta e, ou, uma suficiência Pacheco et al. (2008) observaram que os teores de P na folha da mamoneira variaram de 2,9 para 3,1 g kg<sup>-1</sup>, quando as doses de P aplicadas ao solo variaram de 0 a 144 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>. Substituindo-se estes valores de doses de N e de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> nas equações das figuras 3b e 3c, estima-se que os teores de P no solo e na planta associados à produção máxima da mamoneira foram 7,03 mg dm<sup>-3</sup> e 2,41 g kg<sup>-1</sup>, respectivamente.

## CONCLUSÕES

O aumento das doses de N e de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> aplica-

das ao solo aumentou os teores de N e de P no solo e os teores de P na planta, mas não aumentou os teores de N na planta. A produtividade da cultura da mamoneira também aumentou com o aumento das doses de N e de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> aplicadas ao solo, com interação positiva entre esses fatores.;

Neste trabalho, os níveis críticos de N e de P na folha foram 37,53 e 2,41 g kg<sup>-1</sup>, respectivamente. No solo, o nível crítico de P-Mehlich-1 foi 7,03 mg dm<sup>-3</sup>;

A maior receita líquida foi estimada para a produtividade de 2.304 kg ha<sup>-1</sup> de grãos, obtida mediante a aplicação das doses de 120 kg ha<sup>-1</sup> de N + 120 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>.

## REFERÊNCIAS

- ALMEIDA JUNIOR, A. B. et al. Efeito de doses de fósforo no desenvolvimento inicial da mamoneira. **Revista Caatinga**, Mossoró, v. 22, n. 1, p. 217-221, 2009.
- CANTARUTTI, R. B.; BARROS, N. F.; MARTINEZ, H. E. P.; NOVAIS, R. F. Avaliação da fertilidade do solo e recomendação de fertilizantes. In: NOVAIS, R. F.; ALVAREZ, V. H.; BARROS, N. F.; FONTES, R. L. F.; CANTARUTTI, R. B.; NEVES, J. C. L. **Fertilidade do solo**. Viçosa, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007. p. 769 – 850.
- COMISSÃO DE FERTILIDADE DO SOLO DO ESTADO DE MINAS GERAIS. **Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais**. (5a aproximação). 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. 311 p.
- EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Manual de métodos de análise de solo**. Rio de Janeiro: EMBRAPA, 1997. 212 p.
- GOMES, R. V.; COUTINHO, J. L. B. Recomendações de calcário e fertilizantes: Mamona. In: \_\_\_\_\_. **Recomendações de adubação para o estado de Pernambuco**, Recife, PE: IPA, 1998. 2. ed. p.155.
- LÉLES, E. P. et al. Interação de doses de calcário e zinco nas características morfológicas e nos componentes de produção da mamoneira. **Acta Scientiarum Agronomy**. Maringá, v. 32, n. 3, p. 501-509, 2010.
- LIMA, C. B. et al. Desenvolvimento da mamoneira, cultivada em vasos, sob diferentes níveis de salinidade da água em latossolo vermelho-amarelo eutrófico. **Revista Caatinga**, Mossoró, v. 21, n. 5, p. 50-56, 2008.
- MALAVOLTA, E.; VITTI, G. C.; OLIVEIRA, S. A. **Avaliação do estado nutricional das plantas**. Associação Brasileira para Pesquisa da Potassa e do Fósforo, 2.ed. Piracicaba, 1997. 319 p.
- OLIVEIRA, F. H. T. et al. Amostragem para avaliação da fertilidade do solo em função do instrumento de coleta das amostras e de tipos de preparo do solo. **Revista Brasileira Ciência Solo**, Viçosa, v. 31, n. 5, p. 973-983, 2007.
- OLIVEIRA, J. P. M. et al. Adubação fosfatada para cultivares de mamoneira no Rio Grande do Sul. **Revista Ciência Rural**, Santa Maria, v. 40, n. 8, p. 1835-1839, 2010.
- PACHECO, D. D. et al. Produção e disponibilidade de nutrientes para mamoneira (*Ricinus communis*) adubada com NPK. **Revista de Biologia e Ciências da Terra**, Campina Grande, v. 8, n. 1, p. 153-160, 2008.
- SAVY FILHO, A. **Mamona: tecnologia agrícola**. Campinas: EMOPI, 2005. 105 p.
- SAVY FILHO, A. Leguminosas e Oleaginosas: Mamona. In: \_\_\_\_\_. **Recomendações de adubação e calagem para o estado de São Paulo**. Campinas, Instituto Agrônomo & Fundação IAC, 1997. p. 201. (Boletim Técnico, 100).
- SEVERINO, L. S et al. **Fatores de conversão do peso de cachos e frutos para peso de sementes de mamona**. Campina Grande: Embrapa Algodão, 2005. 14 p. (Boletim de Pesquisa, 56).
- SEVERINO, L. S. et al. Produtividade e crescimento da mamoneira em resposta à adubação orgânica e mineral. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 41, n.5, p. 879-882, 2006.
- SILVA, A.R.C. **Adubação nitrogenada e fosfatada da cultura da mamoneira no município de Mossoró-RN**. 2010. 45 f. Dissertação (Mestrado em Ciências do Solo: Área de concentração em Fertilidade) - Universidade Federal Rural do Semi-Árido, Mossoró, 2010.
- SILVA, D. F. et al. Crescimento vegetativo e produtividade de mamoneira em função da variedade e da adubação fosfatada. **Revista Caatinga**, Mossoró, v. 25, n. 1, p. 160-167, 2012.
- SILVA, T. R. B. da et al. Adubação nitrogenada em cobertura da mamona em plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 42, n. 09, p. 1357-1359, 2007.
- SOUSA, D. M. G.; LOBATO, E. Calagem e adubação para culturas anuais e semiperenes. In: \_\_\_\_\_. **Cerrado: correção do solo e adubação**. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2004. p.283-315.
- TEDESCO, M. J et al. **Análises 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: UFC, 1993. 247p.