

**AGRÁRIA**

Revista Brasileira de Ciências Agrárias

v.4, n.4, p.405-413, out.-dez., 2009

Recife, PE, UFRPE. www.agraria.ufrpe.br

Protocolo 537 - 02/03/2009 • Aprovado em 01/06/2009

José Lavres Junior<sup>1</sup>Thiago A. R. Nogueira<sup>1</sup>Cleusa P. Cabral<sup>1</sup>Eurípedes Malavolta<sup>1\*</sup>

# Deficiências de macronutrientes no crescimento e na produção da mamoneira cultivar Iris

## RESUMO

Objetivou-se, com este estudo, avaliar o efeito da deficiência dos macronutrientes no crescimento e na produção da mamoneira (*Ricinus communis* L.) cultivar Iris. O experimento foi desenvolvido em casa de vegetação. Utilizou-se o delineamento experimental inteiramente casualizado, com os tratamentos arranjados nas unidades experimentais em parcelas subdivididas, constando de seis repetições para N, P e K, e três repetições para Ca, Mg e S. As parcelas corresponderam aos tratamentos e as subparcelas às avaliações efetuadas semanalmente após o início da aplicação dos tratamentos. Durante o cultivo avaliaram-se: as manifestações visuais das deficiências dos nutrientes, o diâmetro do caule, altura da parte aérea e o comprimento da raiz principal. As plantas foram colhidas aos 91 dias após o início dos tratamentos, procedendo-se nesta ocasião, a separação das partes e, por fim, quantificando-se a relação parte aérea : raízes. Os sintomas de deficiência manifestaram-se primeiramente para N e em seguida para K, Ca, Mg, S e P. As deficiências de N, S e Mg foram as que mais afetaram o diâmetro do caule e altura da planta. A altura da planta guarda relação direta e positiva com o diâmetro do caule. O comprimento total da raiz principal e a relação parte aérea : raízes não foram afetados pelos tratamentos. As deficiências de N, S e Mg com aquelas de P, de K e de Ca concorreram para a redução na produção de massa de matéria seca das plantas, na seguinte ordem decrescente: N > Ca > S > Mg > K > P, o que reflete as exigências da planta.

**Palavras-chave:** *Ricinus communis* L, nutrição de plantas, sintomatologia de deficiência

## Deficiencies of macronutrient on the growth and biomass yield of castor bean cultivar Iris

## ABSTRACT

The objective of this study was to evaluate the effects of macronutrient deficiencies on the growth and biomass yield of castor beans (*Ricinus communis* L.) cultivar Iris. The experiment was carried out under greenhouse conditions. It was used a completely randomized design, with the treatments in a split plot arrangement with six replications for N, P and K, and three replications for Ca, Mg and S. The plots corresponded to treatments and sub-plots, the evaluations performed weekly right after the treatments started. Nutrient solutions containing all macronutrient and those from which one of these elements was omitted were the treatments used. Visual symptoms of deficiencies were observed in all treatments. The following determinations and measurements were made: stem diameter, plant height, axial root length and the shoot : root ratio. Plants were harvested at 91 days after the treatments started, then various parts were separated. Visual symptoms of deficiencies were observed for each treatment with N, K, Ca, Mg and S being the first to show up and that of P being the last. Deficiencies of N, Ca, Mg and S were the most limiting for castor bean stem diameter as well as the plant height, whereas K and P had less effect. There is a close relationship between the plant height and stem diameter. The axial root length as well as the shoot : root ratio was not affected by the treatments. N, Ca, S and Mg deficiencies were the most limiting for the dry matter yield, being followed, in a decreasing order, by K and P, showing up the nutritional requirements of the castor beans 'Iris'.

**Key words:** *Ricinus communis* L, plant mineral nutrition, symptoms of deficiencies

1 Universidade de São Paulo, Centro de Energia Nuclear na Agricultura, endereço institucional, Fone: (19) 3429-4696. Fax: (19) 3429-4683. E-mail: jlavres@cena.usp.br; tarnogueira@gmail.com; cpcabral@cena.usp.br

\* In memoriam

## INTRODUÇÃO

A mamoneira (*Ricinus communis* L.) é uma das 7.000 espécies da família Euforbiaceae, possivelmente originária da antiga Abissínia, hoje Etiópia. A semente de mamona contém 90% de ácido ricinoléico, o que representa uma fonte praticamente pura de ácido graxo, sendo o único óleo solúvel em álcool (Beltrão et al., 2001). Tal característica confere ao óleo de mamona ampla aplicação industrial, inclusive como fonte alternativa de combustível, propiciando à cultura da mamoneira importante potencial econômico e estratégico (Savy Filho, 2005).

Atualmente, o Brasil é o terceiro maior produtor com área plantada em torno de 167 mil hectares no ano agrícola de 2008. No ano de 2007, em área colhida de 154 mil ha, foram produzidas 88.574 toneladas de mamona em baga (IBGE, 2008). Por outro lado, o rendimento médio da mamona em bagas na safra 2006/2007 foi de 728 kg ha<sup>-1</sup> (CONAB, 2008), o qual está bem abaixo daqueles obtidos nos Estados americanos de Missouri e Illinois, na década de 60 (Baldwin & Cossar, 2009). Por sua vez, pode-se considerar que a perda de competitividade é consequência do baixo nível tecnológico adotado pelo produtor, pelo uso incorreto de insumos e principalmente pela falta de cultivares melhorados e adaptados à colheita manual ou mecânica (Savy Filho, 2005).

Quando se considera a necessidade de garantir para a humanidade o abastecimento crescente de alimentos, fibra e energia renovável, o papel maior cabe ao aumento na produtividade da terra pelo emprego de adubos e corretivos, e de práticas adequadas de manejo do solo e da água (Malavolta, 1994). Neste contexto, estima-se que o uso de fertilizantes é um importante fator de produção, promovendo incrementos na produtividade de aproximadamente 60% (Stewart et al., 2005). Neste sentido, vários estudos no Brasil sobre adubação em mamoneira, mais específicos a N, P e K, foram conduzidos há algum tempo (Canecchio Filho & Freire, 1958; Canecchio Filho et al., 1963; Rocha et al., 1964) e outros mais recentes como aqueles de Severino et al. (2006), Silva et al. (2007) e Almeida Jr. et al. (2009). Todavia, poucos foram direcionados à avaliação do estado nutricional da cultura, fornecendo indicações das exigências minerais (Rojas & Neptune, 1971; Hocking, 1982; Nakagawa et al., 1982; Lange et al., 2005; Lavres Jr. et al., 2005; Chiaradia et al., 2009), bem como da influência dos nutrientes no desenvolvimento vegetativo destas plantas.

Desta forma, partindo-se da hipótese de que a baixa disponibilidade dos macronutrientes no substrato e que, por sua vez, as deficiências nutricionais comprometem significativamente o desenvolvimento e a produção das plantas de mamona, objetivou-se avaliar o efeito da deficiência dos macronutrientes no crescimento da mamoneira Iris e obter o quadro sintomatológico das deficiências de nitrogênio (N), fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg) e enxofre (S).

## MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi realizado em de casa de vegetação, no Centro de Energia Nuclear na Agricultura – USP, em Piracicaba-SP, no período de fevereiro a junho de 2003. Foram utilizadas plantas de mamoneira (*Ricinus communis* L.) do híbrido comercial Iris, selecionado para condições de cerrado, cujas características principais são: porte baixo, precoce, não deiscente e adequado para colheita mecânica.

As sementes foram colocadas para germinar em bandeja rasa com vermiculita, umedecida com solução de sulfato de cálcio (CaSO<sub>4</sub>, 0,1 mmol L<sup>-1</sup>). Quando as plântulas atingiram cerca de 5 cm de altura, foram transferidas para bandeja plástica com capacidade de 40 L contendo solução nutritiva adaptada por Epstein & Bloom (2005), indicada na Tabela 1, modificada, e diluída a 1/5 da concentração usual. As plantas foram fixadas na região do colo com espuma de plástico. Aos 21 dias após emergência das plantas iniciaram-se os tratamentos.

Cada unidade experimental foi constituída por um vaso plástico, revestido com papel alumínio, preenchido com 1,5 L de solução nutritiva, e uma planta. Durante o desenvolvimento do experimento, as soluções nutritivas, sob constante aeração, foram renovadas a cada 15 dias, completando-se o volume com água desmineralizada, quando necessário. O pH inicial, no preparo das soluções, manteve-se em torno de 5,5.

O delineamento experimental utilizado foi inteiramente casualizado com os tratamentos arranjados nas unidades experimentais em parcelas subdivididas, constando de seis repetições para N, P e K, e três repetições para Ca, Mg e S. As parcelas corresponderam aos tratamentos e as sub-parcelas às avaliações realizadas nos diferentes dias após o início dos tratamentos.

Semanalmente, avaliaram-se a altura da parte aérea a partir do colo da planta e o diâmetro de caule, a dois centímetros do colo, com o uso de paquímetro. O crescimento do sistema radicular foi avaliado durante as quatro primeiras semanas após o início dos tratamentos, por meio de medição direta da raiz principal (pivotante).

Aos 91 dias após início dos tratamentos, as plantas foram colhidas e separadas em caule, folhas inferiores e superiores (limbo e pecíolo) e raízes. O material foi devidamente identificado, acondicionado em sacos de papel e seco em estufa a 65 °C durante 72 horas, até atingir massa de matéria seca constante. Os registros dos sintomas visuais (fotografias) corresponderam às deficiências mais acentuadas dos nutrientes na última semana de avaliação do experimento (Figura 1).

Os dados foram submetidos às análises estatísticas utilizando-se o programa estatístico SAS (SAS Inst., 2000). Realizou-se a análise de variância e, em função do nível de significância no teste F para os dias de avaliação, procedeu-se ao estudo de regressão para os componentes de primeiro e segundo grau e teste de comparação de médias entre os tratamentos (Tukey,  $P < 0,05$ ).

**Tabela 1.** Composição da solução nutritiva adaptada de Epstein & Bloom (2005) e volumes (mL L<sup>-1</sup>) pipetados da solução estoque utilizados para induzir as deficiências na mamoneira cultivar Iris**Table 1.** Nutrient formulations (Epstein & Bloom, 2005) and volume of stock solutions per litre of final solution [mL L<sup>-1</sup>] used to induce mineral nutrient deficiencies in castor beans 'Iris'

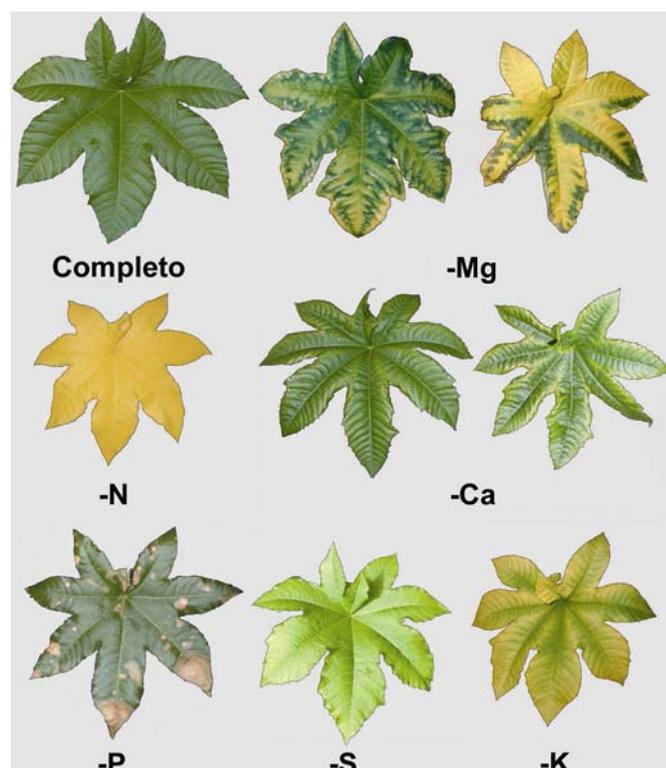
Solução estoque	Tratamentos						
	Completo	Def-N	Def-P	Def-K	Def-Ca	Def-Mg	Def-S
KNO <sub>3</sub> (1 mol L <sup>-1</sup> )	6,0	1,5	6,0	1,5	6,0	6,0	6,0
Ca(NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> .4H <sub>2</sub> O (1 mol L <sup>-1</sup> )	4,0	0,5	4,0	4,0	1,0	4,0	4,0
NH <sub>4</sub> H <sub>2</sub> PO <sub>4</sub> (1 mol L <sup>-1</sup> )	2,0	0,5	0,5	2,0	2,0	2,0	2,0
MgSO <sub>4</sub> .7H <sub>2</sub> O (1 mol L <sup>-1</sup> )	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	0,25	0,25
KCl (25 mmol L <sup>-1</sup> )	-	4,5	-	-	-	-	-
CaSO <sub>4</sub> .7H <sub>2</sub> O (1 mol L <sup>-1</sup> )	-	3,5	-	3,5	-	-	-
NaH <sub>2</sub> PO <sub>4</sub> (1 mol L <sup>-1</sup> )	-	2,0	-	-	-	-	-
NH <sub>4</sub> NO <sub>3</sub> (1 mol L <sup>-1</sup> )	-	-	0,75	2,25	1,5	-	-
Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> .7H <sub>2</sub> O (1 mol L <sup>-1</sup> )	-	-	-	-	-	0,75	-
MgCl <sub>2</sub> .6H <sub>2</sub> O (1 mol L <sup>-1</sup> )	-	-	-	-	-	-	0,25
Micronutrientes <sup>(1)</sup>	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
Fe-EDTA <sup>(2)</sup>	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0

<sup>(1)</sup> g em 1 L: KCl (3,728) [50 µmol L<sup>-1</sup>]; H<sub>3</sub>BO<sub>3</sub> (1,546) [25 µmol L<sup>-1</sup>]; MnSO<sub>4</sub> · H<sub>2</sub>O (0,338) [2 µmol L<sup>-1</sup>]; ZnSO<sub>4</sub> · 7H<sub>2</sub>O (0,575) [2 µmol L<sup>-1</sup>]; CuSO<sub>4</sub> · 5H<sub>2</sub>O (0,125) [0,5 µmol L<sup>-1</sup>]; H<sub>2</sub>MoO<sub>4</sub> (85% MoO<sub>3</sub>) (0,081) [0,5 µmol L<sup>-1</sup>]. <sup>(2)</sup> Dissolver 33,2 g de EDTA-2Na em de 200 mL de H<sub>2</sub>O destilada. Juntar agitando, 89 mL de NaOH 1mol L<sup>-1</sup> (40g L<sup>-1</sup>); Dissolver separadamente, 24,9g de FeSO<sub>4</sub> · 7 H<sub>2</sub>O em de 200 mL de H<sub>2</sub>O destilada e juntar, agitando à solução de EDTA [53,7 µmol L<sup>-1</sup>]. Completar para 900 mL com H<sub>2</sub>O destilada; colocar em frasco escuro, arejar durante uma noite e completar a 1 L com H<sub>2</sub>O destilada; manter em frasco escuro na geladeira. Def = Deficiência.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

### Sintomas de deficiência

As manifestações visuais correspondem às deficiências mais acentuadas dos nutrientes na última semana de avaliação do experimento (Figura 1). Os sintomas de deficiência nos diferentes tratamentos foram observados em épocas diferentes. A primeira manifestação ocorreu em plantas mantidas em solução com baixa disponibilidade de N (3,0 mmol L<sup>-1</sup>) aos 21 dias após o início dos tratamentos, seguida de K (1,5 mmol L<sup>-1</sup>), aos 28 dias, Ca (1,0 mmol L<sup>-1</sup>), Mg (2,25 mmol L<sup>-1</sup>) e S (0,25 mmol L<sup>-1</sup>) aos 49 dias e, P (0,5 mmol L<sup>-1</sup>), após 80 dias.



**Figura 1.** Sintomatologia das deficiências de macronutrientes na mamoneira cv. Iris, crescida em solução nutritiva completa e com deficiências em N, P, K, Ca, Mg e S

**Figure 1.** Macronutrient deficiency symptoms in castor beans 'Iris', grown in the nutrient solutions containing all macronutrients and those from which one of these elements was omitted

ção do experimento (Figura 1). Os sintomas de deficiência nos diferentes tratamentos foram observados em épocas diferentes. A primeira manifestação ocorreu em plantas mantidas em solução com baixa disponibilidade de N (3,0 mmol L<sup>-1</sup>) aos 21 dias após o início dos tratamentos, seguida de K (1,5 mmol L<sup>-1</sup>), aos 28 dias, Ca (1,0 mmol L<sup>-1</sup>), Mg (2,25 mmol L<sup>-1</sup>) e S (0,25 mmol L<sup>-1</sup>) aos 49 dias e, P (0,5 mmol L<sup>-1</sup>), após 80 dias.

### Deficiência de nitrogênio (N)

Inicialmente, observou-se redução do crescimento das plantas e as folhas apresentaram coloração verde claro. Os sintomas acentuaram-se com o tempo de cultivo, sendo observado um desenvolvimento reduzido, folhas pequenas, ausência de ramificações (Tabela 2), ausência de frutificação, senescência precoce e amarelecimento generalizado, sendo mais acentuado nas folhas mais velhas. Nesta condição, tais folhas sofreram abscisão antes de secar totalmente, sendo este fato acentuado com a formação de novas folhas, concordando com as observações feitas por Rojas e Neptune (1971), para o cultivar Campinas.

O N é constituinte de todas as proteínas e de ácidos nucleicos (Mengel & Kirkby, 2001; Malavolta & Moraes, 2007) e sua deficiência na solução nutritiva deve ter afetado o metabolismo, contribuindo para a redução do crescimento vegetativo. A deficiência em N reduz a divisão e expansão celular (Marschner, 1995), bem como aumenta a espessura da parede celular (Wild, 1988), como resultado de uma cadeia de acontecimentos que começa com uma alteração a nível molecular, continua com modificação subcelular que, por sua vez, conduz a uma alteração celular a qual, finalmente, resulta em desorganização do tecido - o sintoma visual, que tem um denominador comum para todas as espécies (Malavolta & Moraes, 2007). Além disso, a ausência de ramificações (brotos laterais) na condição da deficiência de N, outro efeito morfológico observado no presente estudo, pode ser devido à inibição de gemas axilares.

### Deficiência de fósforo (P)

As plantas cultivadas em solução nutritiva com deficiência em P, apresentaram crescimento em altura semelhante às

**Tabela 2.** Produção média de massa de matéria seca da parte aérea, das raízes, massa de matéria seca total, relação parte aérea : raízes e número de brotações laterais por planta da mamoneira cv. Iris, cultivada em soluções nutritivas completa e deficientes em N, P, K, Ca, Mg e S

**Table 2.** Dry mass yield of the shoot, roots and total dry mass yield, castor bean 'Iris' shoot : root ratio, and sprouting per plant grown in the nutrient solutions containing all macronutrients and those from which one of these elements was omitted

Tratamento	Raiz	Parte aérea	Total	Parte aérea : raiz	Nº brotos/planta
	g por planta				
Completo	11,4a	18,4a	29,8a	1,6a	4
Deficiente - N	4,7c	5,0c	9,7d	1,1a	0
Deficiente - P	11,1a	16,4ab	27,5ab	1,5a	1
Deficiente - K	9,1ab	15,3ab	24,4abc	1,7a	4
Deficiente - Ca	6,2bc	8,9bc	15,1cd	1,4a	2
Deficiente - Mg	7,2bc	12,0abc	19,2bc	1,7a	2
Deficiente - S	6,7bc	11,0abc	17,7cd	1,7a	2
CV (%)	13,4	21,6	16,2	19,0	-

Médias seguidas por letras distintas, na coluna, diferem entre si pelo teste de Tukey ( $P < 0,05$ )

plantas cultivadas em solução completa. Inicialmente, as folhas deficientes em P apresentaram coloração verde escura generalizada, concordando com o padrão geral de omissão desse elemento e com relatos descritos por Rojas & Neptune (1971). O sintoma visual da deficiência de P foi um dos últimos a ser notado. Provavelmente, este efeito pode estar associado ao acúmulo inicial, na ocasião em que as plantas permaneceram em solução nutritiva completa e diluída, por um período de 12 dias, bem como devido ao fato da mobilização do P contido na semente, o que também está de acordo com os relatos de Gonçalves et al. (2006), em plantas de umbu. É interessante observar que em ensaios brasileiros de adubação a maior resposta em geral é devida ao fósforo. As folhas maduras desenvolveram pontuações verde claro ao longo do limbo. Estas evoluíram em tamanho dirigindo-se às margens das folhas, apresentando aspecto necrótico e enrolamento do limbo foliar para cima. Em último estágio, observou-se um secamento generalizado com posterior abscisão. Severino et al. (2008) relataram sintomas semelhantes observados nas folhas da mamoneira cultivar BRS Paraguaçu, cultivada em condição de ausência de P no substrato.

Com relação às gemas e brotações laterais, computou-se, em média, um broto axilar por planta (Tabela 2). O desenvolvimento de botões florais e de frutos foi observado aos 62 e 69 dias, respectivamente, após o início dos tratamentos. A quantidade de frutos por planta e o tamanho dos mesmos, foram menores quando comparado aos observado no tratamento completo. Em geral, plantas deficientes em fósforo têm seu crescimento retardado por estar ligado também à função estrutural do nutriente e no processo de transferência e armazenamento de energia (Malavolta, 2006), afetando vários processos metabólicos como a síntese de proteínas e de ácido nucléico, glicose, a fosforilação fotossintética e oxidativa, a respiração, síntese e estabilidade de membrana, ativação e desativação de enzimas – a ATP sintase, por exemplo (Vance et al., 2003).

#### Deficiência de potássio (K)

Inicialmente, nos limbos, observou-se coloração amarela intensa nas pontas dos lóbulos e margens das folhas maduras seguido de coloração verde amarelada em direção ao cen-

tro do limbo, deixando-o por inteiro, com uma tonalidade verde clara assemelhando-se aos sintomas relatados por Rojas & Neptune (1971). Observou-se, também, colapso de pecíolo seguido de abscisão foliar das folhas maduras. Houve em média quatro brotos axilares, semelhante àquelas plantas desenvolvidas no tratamento completo (Tabela 2). O florescimento e a frutificação ocorreram aos 70 e 77 dias após o início dos tratamentos, respectivamente. Estas manifestações também estão de acordo com aquelas relatadas por Gonçalves et al. (2006), em plantas de umbu.

A deficiência de K promove a redução do pH do citosol, aumentando a atividade de algumas hidrolases como a beta-glicosidase ou de algumas oxidases como a polifenoloxidase, podendo ocorrer o acúmulo de compostos nitrogenados solúveis (e.g., putrescina) e açúcares, alterando a composição química da célula e da parede celular (Marschner, 1995; Mengel & Kirkby, 2001). A nutrição adequada de K também está associada aos menores níveis de ácido abscísico (ABA), fitormônio responsável pela senescência foliar (Wright, 1999).

#### Deficiência de cálcio (Ca)

Os sintomas iniciais de deficiência em Ca foram observados em folhas novas. Rojas & Neptune (1971) descreveram sintomas de deficiência desse elemento, em folhas novas e velhas, aos 60 dias de cultivo da mamoneira. No presente estudo, as folhas novas apresentaram, inicialmente, na inserção dos lóbulos, um clareamento da cor verde, evoluindo com o tempo para uma coloração marrom com aspecto de necrose dirigindo-se para as margens das folhas. Observou-se, também, necrose na gema apical. Não houve formação de gemas florais e o número médio de brotos axilares, dois por planta, foi inferior ao do tratamento completo (Tabela 2). Verificou-se um escurecimento generalizado das raízes, seguido de podridão, principalmente no colo da planta, o que também confirma, em parte, as observações descritas por Gonçalves et al. (2006).

O cálcio é fundamental para a permeabilidade das membranas e manutenção da integridade celular, sendo exigido para a divisão e expansão das células. A deficiência de Ca é caracterizada pela redução no crescimento de tecidos meristemáticos, sendo observada, inicialmente, nos órgãos em crescimento e folhas mais jovens – tecidos novos (Mengel & Kirkby, 2001; Malavolta, 2006). O aparecimento dos sintomas nas

áreas marginais da folha e gema apical pode ser atribuído à imobilidade do Ca quanto à sua redistribuição nestas áreas de crescimento. Ademais, as deficiências de Ca e de K podem afetar a atividade de hormônios e de enzimas e que, por sua vez, regulam a senescência e a abscisão das folhas (Marschner, 1995).

### Deficiência de magnésio (Mg)

As folhas maduras apresentaram clareamento da tonalidade verde, a partir das margens, formando linhas claras entre as nervuras secundárias. Com a evolução dos sintomas, estas se tornaram amareladas, dando ao limbo um aspecto de variegação, verde amarelado, surgindo necrose a partir das margens, dirigindo-se para a região central do limbo. Observaram-se também pontuações de coloração verde transparente, que ao aumentar seu tamanho, evoluíram para necrose entre as nervuras secundárias. Não houve florescimento, ocorrendo em média, dois brotos axilares por planta (Tabela 2). Sintomas semelhantes foram descritos por Rojas & Neptune (1971), na mamoneira cv. Campinas. Nas células das folhas, aproximadamente 25% do total das proteínas estão localizadas nos cloroplastos. Isto explica por que a deficiência de Mg afeta o tamanho, estrutura e função dos cloroplastos. Como o Mg é o átomo central da molécula de clorofila, a carência nutricional resulta sempre em clorose (Marschner, 1995).

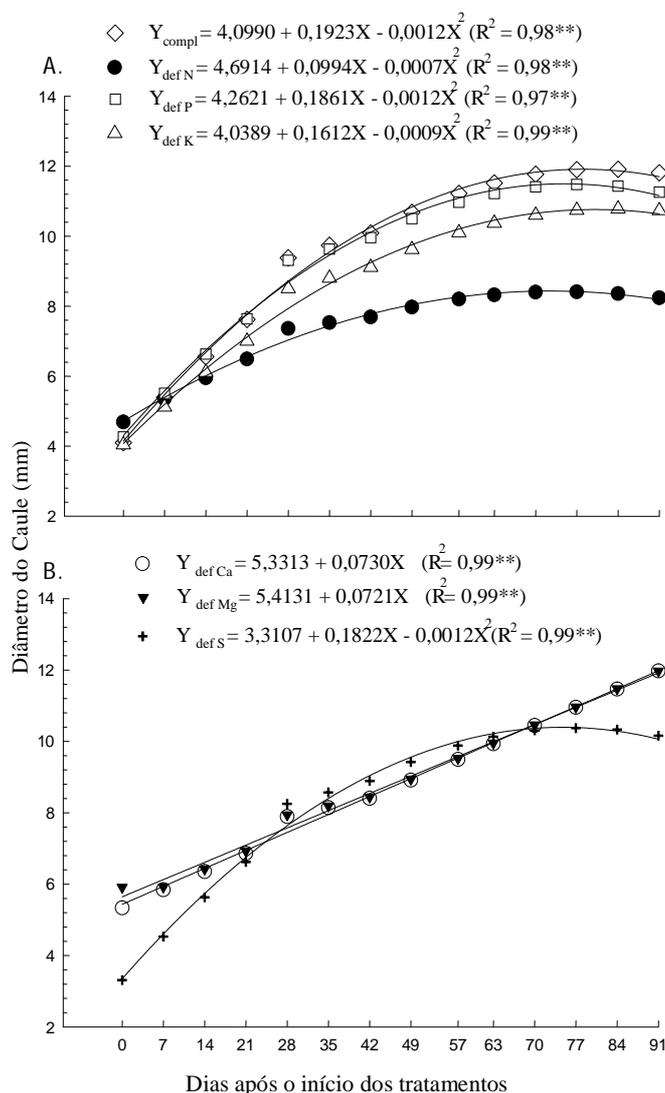
### Deficiência de enxofre (S)

Os sintomas de deficiência de S foram caracterizados, inicialmente, por coloração “verde limão” nas folhas mais novas, evoluindo para uma tonalidade verde clara de forma generalizada. Houve, em média, dois brotos axilares por planta. As gemas florais desenvolveram-se a partir de 70 dias e a frutificação aos 77 dias após o início dos tratamentos.

Nos vegetais, o S participa na síntese de aminoácidos sulfurados (cisteína – porta de entrada do S em compostos orgânicos -, cistina e metionina), proteínas – todas contêm S - e enzimas. A semelhança das funções que o S exerce com as de N explica os sintomas parecidos. Entretanto, sendo o S pouco móvel no floema, os sintomas manifestam-se primeiramente nas folhas mais novas ao contrário do que ocorre com os de N (Malavolta & Moraes, 2007). Baixas concentrações de S, bem como de outros nutrientes como o N, Ca, Fe, Mg e Mn podem afetar no processo de síntese da clorofila resultando em diferentes graus de clorose (Shaahan et al., 1999; Mengel & Kirkby, 2001; Lavres Jr. et al., 2005) e, por fim, no desenvolvimento das plantas.

### Atributos de crescimento

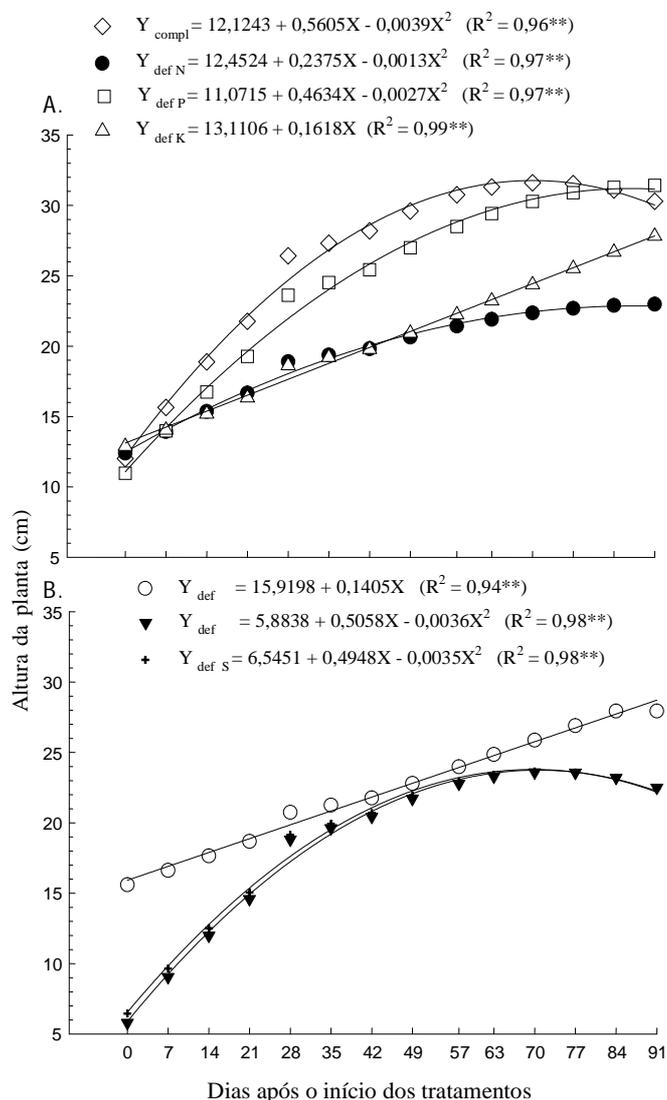
Observou-se interação entre os tratamentos e as épocas de avaliação para diâmetro do caule e altura da parte aérea (Figuras 2 e 3). Os tratamentos com deficiências em N, Mg e S foram os que mais limitaram o desenvolvimento da parte aérea das plantas (Figura 3) e, conseqüentemente, a produção de massa de matéria seca da parte aérea



**Figura 2.** Diâmetro médio do caule da mamoneira cv. Iris cultivada em solução nutritiva completa (◇) e com deficiência em N (●), P (□), K (△), [A] Ca (○), Mg (▼) e S (+) [B], em função dos dias após o início dos tratamentos

**Figure 2.** Mean stem diameter of the castor beans 'Iris', grown in the nutrient solutions containing all macronutrients (◇) and those from which one of these elements was omitted: -N (●), -P (□), -K (△) [A], -Ca (○), -Mg (▼) and -S (+) [B], as related to different days after the treatments started

e a total (Tabela 2). Esta redução no crescimento em altura da parte aérea também foi acompanhada pela redução no diâmetro do caule das plantas, o que pode ser comprovado pela relação direta e significativa entre as duas variáveis dependentes (Figura 4). Ademais, o tratamento com deficiência em N foi o que mais afetou estes atributos morfológicos (Figuras 2 e 3), realçando a importância deste nutriente no desenvolvimento e na produção da mamoneira. Todavia, não foi observada diferença na altura das plantas entre os tratamentos completo e com deficiência em P, nas três últimas semanas de avaliação. Quanto à altura média das plantas, e considerando os tratamentos deficientes em K e Ca, provavelmente o maior fornecimento do  $N-NH_4^+$  em relação aos demais tratamen-

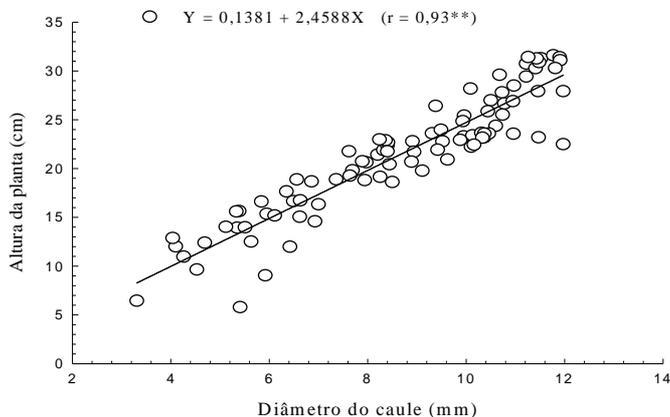


**Figura 3.** Altura média da mamoneira cv. *Iris* cultivada em solução nutritiva completa ( $\diamond$ ) e com deficiência em N ( $\bullet$ ), P ( $\square$ ), K ( $\triangle$ ), [A] Ca ( $\circ$ ), Mg ( $\blacktriangledown$ ) e S (+) [B], em função dos dias após o início dos tratamentos

**Figure 3.** Mean height of the castor beans '*Iris*', grown in the nutrient solutions containing all macronutrients ( $\diamond$ ) and those from which one of these elements was omitted: -N ( $\bullet$ ), -P ( $\square$ ), -K ( $\triangle$ ) [A], -Ca ( $\circ$ ), -Mg ( $\blacktriangledown$ ) and -S (+) [B], as related to different days after the treatments started

tos (Tabela 1), pode ter contribuído para o crescimento em altura da mamoneira, o qual foi representado pelo modelo linear de regressão, todavia sendo este atributo morfológico inferior àquele do tratamento completo. Pode-se aventar também que, a pronta incorporação do  $\text{N-NH}_4^+$  aos esqueletos carbônicos da planta - sem gasto energético com a ativação da redutase do nitrato e da redutase do nitrito -, bem como o efeito interiônico de absorção (inibição não-competitiva) do  $\text{NH}_4^+$  em relação às menores concentrações de  $\text{Ca}^{2+}$  e  $\text{K}^+$  nestas soluções exerceram efeito positivo para a manifestação do evento.

Quanto à relação entre as variáveis dependentes altura das plantas e o diâmetro do caule, pode-se fazer a seguinte indagação: as características agrônômicas da ma-



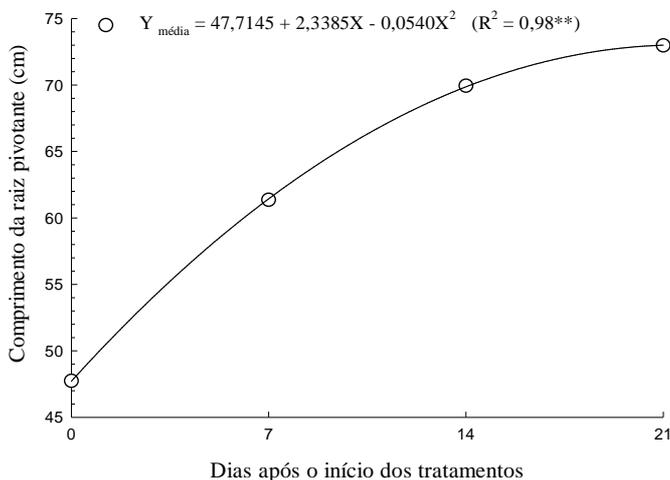
**Figura 4.** Relação entre a altura da planta e o diâmetro do caule da mamoneira cv. *Iris*, considerando todos os tratamentos

**Figure 4.** Relationship between plant height and stem diameter of the castor beans '*Iris*', on the mean of the all treatments

moneira *Iris*, como porte baixo e precocidade podem ter contribuído para a relação direta e significativa? E se, esta relação também poderá ser significativa para àquelas variedades de porte alto?

Em estudo com a mamoneira cultivar Campinas utilizando-se solução completa de macro e micronutrientes, e soluções com omissões individuais de N, P, K, Ca, Mg, S e Fe, Rojas & Neptune (1971) constataram que os tratamentos que mais afetaram a altura das plantas foram: omissão de N, P e Mg. O mesmo efeito foi observado para o diâmetro médio do caule, sendo o N, K e Mg os nutrientes mais limitantes.

Para o comprimento médio da raiz principal (pivotante), observou-se efeito apenas dos dias de avaliação, na média dos tratamentos. Este atributo morfológico variou de 48 a 73 cm, respectivamente, do início aos 21 dias após a aplicação dos tratamentos, com ajuste ao componente quadrático do modelo polinomial de regressão (Figura 5).



**Figura 5.** Comprimento da raiz principal da mamoneira cv. *Iris* em função dos dias após o início dos tratamentos (média dos tratamentos)

**Figure 5.** Axial root length of the castor beans '*Iris*', as related to different days after the treatments started (mean of the treatments)

Em função do aumento do volume radicular, bem como da restrição de espaço físico dos vasos ao crescimento destas raízes, não foi possível efetuar as demais mensurações após este período de avaliação. Pode-se aventar, portanto, que com o agravamento da sintomatologia das deficiências, bem como com o avanço da idade das plantas, a mamoneira produziu raízes mais longas e finas, como resultado das desordens nutricionais. Para tanto, avaliações de comprimento específico das raízes (metros/gramas de massa de matéria seca de raiz) ou diâmetro médio radicular (Fitter, 1996) poderiam dar indicações da geometria e arquitetura destas novas raízes formadas. Embora, a magnitude das respostas e o padrão de desenvolvimento do sistema radicular em função das deficiências minerais sejam bem distintos, de maneira geral, os vegetais priorizam a maior formação das raízes como estratégia de exploração do volume de solo e, por fim, garantem a aquisição de água e nutrientes (Lynch, 2007).

### Produção de massa de matéria seca

Todos os tratamentos com deficiência apresentaram produção de massa de matéria seca total inferior a do completo, sendo o N o nutriente que mais limitou o crescimento (Tabela 2). Na condição de deficiência de N, a produção de massa de matéria seca total foi reduzida em até 68% em relação ao tratamento completo, afetando principalmente, o desenvolvimento da parte aérea. Nos tratamentos com deficiências em Ca, S e Mg, as produções de massa de matéria seca foram 49%, 41% e 35% menores, respectivamente, em relação à produção da massa de matéria seca total obtida no tratamento completo. Os menores efeitos de deficiência na produção de massa de matéria seca total foram observados nos tratamentos deficientes em P e K, os quais não diferiram do tratamento completo. A redução na produção de massa de matéria seca total ocorreu na seguinte ordem decrescente: N>Ca>S>Mg>K>P. Para as raízes, nas condições de deficiências de N, Ca, Mg e S constataram-se efeitos semelhantes àqueles da produção de massa de matéria seca total e diferindo do tratamento completo, enquanto para o tratamento com deficiência de P também não foi observada diferença. Outros aspectos referentes à nutrição mineral e avaliação do estado nutricional da mamoneira e que estão associados à produção da mamoneira foram detalhadamente discutidos por Lavres Jr. et al. (2005).

Ademais, vale destacar que Silva et al. (2009), em estudo de diagnose visual com o pinhão-manso (*Jatropha curcas* L.), espécie da mesma família da mamoneira, relataram que o Ca e o Mg foram os macronutrientes que mais restringiram a produção de massa de matéria seca total.

Observou-se, ainda, na Tabela 2 que, na condição de baixa disponibilidade de N na solução à relação parte aérea : raiz aproximou-se de 1,0, ou seja 1:1, enquanto que, com o fornecimento normal de N na solução esta relação foi aumentando (1,6). O suprimento de N (tratamento completo) resultou em aumento da produção da parte aérea e das raízes, porém, alocando preferencialmente a partição de carbono para a formação do dossel, caracterizando a

plasticidade na alocação de fotoassimilados e biomassa em função da disponibilidade do nutriente no substrato. Este mecanismo é amplamente relatado na literatura como uma adaptação necessária à sobrevivência das plantas, na condição de deficiência, e tem sido demonstrado ser controlado geneticamente, pela concentração de N no vegetal e pela síntese protéica (Marschner, 1995; Andrews et al., 1999). Todavia, não foi constatada diferença para a relação parte aérea : raiz entre os tratamentos, permanecendo todos os valores praticamente constantes. Deve-se considerar, porém, que o equilíbrio de alocação e partição de nitrogênio e carbono entre parte aérea e raízes (modelo de Thornley) - geralmente com prioridade para o maior desenvolvimento da parte aérea -, em condições favoráveis de crescimento, exerce papel determinante no transporte de água e nutrientes à longa distância e de compostos orgânicos (como hormônios e fotoassimilados) da parte aérea para as raízes (Andrews et al., 1999; Fageria et al., 2006).

## CONCLUSÕES

O N e o K são os primeiros elementos a apresentar sintomas visuais de deficiência, seguidos por Ca, Mg, S e P.

Nas condições de deficiência de N, de Mg e de S houve significativa variação na altura média e no diâmetro médio do caule da mamoneira, com reflexo na produção das plantas.

O comprimento total da raiz pivotante, até os 21 dias após o início dos tratamentos, e a relação parte aérea : raízes não são afetados pelas deficiências nutricionais.

A produção total de massa de matéria seca das plantas é afetada pelas deficiências: N>Ca>S>Mg>K>P, sendo o N o elemento mais limitante.

## AGRADECIMENTOS

Ao Cristiano E. Voll pela ajuda na edição das fotografias. Ao Grupo Itaquere (Primavera do Leste, MT) pelo fornecimento das sementes da mamoneira cv. Iris. À FAPESP, pela bolsa de doutorado concedida a T.A.R. Nogueira (Ref. Proc. 07/59402-0) e de Pós-Doutorado (Ref. Proc. 07/58406-1) concedida a J. Lavres-Jr. Ao CNPq pela bolsa de produtividade em pesquisa concedida a E. Malavolta.

## LITERATURA CITADA

- Almeida Jr., A. B.; Oliveira, F. A.; Medeiros, J. F.; Oliveira, M. K. T.; Linhares, P. C. F. Efeito de doses de fósforo no desenvolvimento inicial da mamoneira. *Revista Caatinga*, v. 22, n. 1, p. 217-221, 2009.
- Andrews, M. Relationships between shoot to root ratio, growth and leaf soluble protein concentration of *Pisum sativum*, *Phaseolus vulgaris* and *Triticum aestivum* under different nutrient deficiencies. *Plant, Cell and Environment*, v.22, n.8, p. 949-958, 1999.

- Baldwin, B. S.; Cossar, R. D. Castor yield in response to planting date at four locations in the south-central United States. *Industrial Crops and Products*, v. 29, n.2-3, p.316-319, 2009.
- Beltrão, N. E. M.; Silva, L. C.; Vasconcelos, O. L.; Azevedo, D. M. P. de; Vieira, D. J. Fitologia. In: Azevedo, D. M. P.; Lima, E.L. (Org.). *O agronegócio da mamona no Brasil*, 2001. p. 37-61.
- Canecchio Filho, V.; Freire, E. S. Adubação da mamoneira I - Experiências preliminares. *Bragantia*, v. 17, n. 1, p. 243-259, 1958.
- Canecchio Filho, V.; Rocha, J. L. V.; Freire, E. S. Adubação da mamoneira III – Experiências com doses crescentes de nitrogênio, fósforo e potássio. *Bragantia*, v. 22, n.2, p. 765-775, 1963.
- Chiaradia, J.J.; Chiba, M.K.; Andrade, C.A.; Oliveira, C.; Lavorenti, A. Produtividade e nutrição de mamona cultivada em área de reforma de canavial tratada com lodo de esgoto. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.33, n.3, p.701-709, 2009.
- Companhia Nacional de Abastecimento - CONAB. Central de Informações Agropecuárias. <http://www.conab.gov.br/conabweb/index.php?pag=101>. 01 Nov. 2008.
- Epstein, E.; Bloom, A. J. *Mineral nutrition of plants: principles and perspectives*. 2. ed. Sunderland: Sinauer, 2005. 400p.
- Fageria, N. K.; Baligar, V. C.; Clark, R. B. *Physiology of crop production*. New York: Food Products Press, 2006. 345 p.
- Fitter, A. Characteristics and functions of root systems. In: Waisel, Y.; Eshel, A.; Kafkafi, U. (Org.) *Plant roots: the ridden half*. 2.ed. New York: Marcel Dekker, 1996. p. 1-20.
- Gonçalves, F. C.; Neves, O. S. C.; Carvalho, J. G. Deficiência nutricional em mudas de umbuzeiro decorrente da omissão de macronutrientes. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v. 41, n. 6, p. 1053-1057, 2006.
- Hocking, P. J. Accumulation and distribution of nutrients in fruits of castor bean (*Ricinus communis* L.). *Annals of Botany*, v. 49, n. 1, p. 51-62, 1982.
- Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE. Banco de dados agregados. 2008. <http://www.sidra.ibge.gov.br>. 09 Fev. 2009.
- Lange, A.; Martines, A. M.; Silva, M. A. C. da; Sorreano, M. C. M.; Cabral, C. P.; Malavolta, E. Efeito de deficiência de micronutrientes no estado nutricional da mamoneira cultivar Iris. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v. 40, n. 1, p. 61-67, 2005.
- Lavres Jr., J.; Boaretto, R. M.; Silva, M. L. S.; Correia, D.; Cabral, C. P.; Malavolta, E. Deficiências de macronutrientes no estado nutricional da mamoneira cultivar Iris. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v. 40, n. 2, p. 145-151, 2005.
- Lynch, J. P. Roots of the second green revolution. *Australian Journal of Botany*, v. 55, n.5, p. 493-512, 2007.
- Malavolta, E. Fertilizantes e seu impacto ambiental: metais pesados, mitos, mistificação e fatos. São Paulo: Produquímica, 1994. 153 p.
- Malavolta, E. *Manual de nutrição mineral de plantas*. São Paulo: Agronômica Ceres, 2006. 631 p.
- Malavolta, E.; Moraes, M. F. Fundamentos do nitrogênio e do enxofre na nutrição mineral das plantas cultivadas. In: Yamada, T.; Abdalla, S.R.S.; Vitti, G.C. (Org.) *Nitrogênio e enxofre na agricultura brasileira*. Piracicaba: International Plant Nutrition Institute - Brasil, 2007. cap. 6, p.189-249.
- Marschner, H. *Mineral nutrition of higher plants*. 2.ed. New York: Academic Press, 1995. 889p.
- Mengel, K.; Kirkby, E. *Principles of plant nutrition*. 5.ed. Dordrecht/Boston/London: Kluwer Academic Publishers, 2001. 849 p.
- Nakagawa, J.; Neptune, A. M. L.; Muraoka, T. Absorção e translocação de fósforo em dois cultivares de mamoneira (*Ricinus communis* L.), “Campinas” e “Guarani”. *Anais da Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”*, v. 39, n.1, p. 319-335, 1982.
- Rocha, J. L. V.; Canecchio Filho, V.; Freire, E. S. Adubação da mamoneira V – Experiência com vários fosfatos em solo do arenito Botucatu. *Bragantia*, v. 23, n. 1, p. 291-297, 1964.
- Rojas, A. I.; Neptune, A. M. L. Efeitos dos macronutrientes e do ferro no crescimento e composição química da mamoneira (*Ricinus communis* L.) cultivada em solução de nutrientes. *Anais da Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”*, v.28, n.1, p. 31-67, 1971.
- Statistical Analysis System. *SAS User’s Guide*, 8. ed. Cary: SAS Institute, 2000.
- Savy Filho, A. *Mamona: tecnologia agrícola*. Campinas: Emopi, 2005. 105 p.
- Severino, L. S.; Ferreira, G. B.; Moraes, C. R. A.; Gondim, T. M. S.; Freire, W. S. A.; Castro, D. A.; Cardoso, G. D.; Beltrão, N. E. M. Crescimento e produtividade da mamoneira adubada com macronutrientes e micronutrientes. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v. 41, n.4, p. 563-568, 2006.
- Severino, L. S.; Santos, F. D. S. dos; Ferreira, G. B.; Moraes, C. R. A.; Sampaio, L. R.; Freire, M. A. O.; Silva, D. M. A.; Sofiatti, V.; Beltrão, N. E. M. Descrição dos sintomas visuais de deficiência nutricional na mamoneira. 1. Nitrogênio, fósforo, enxofre e magnésio In: Congresso Brasileiro de Mamona, 3., 2008. Salvador. *Anais...* Salvador: EMBRAPA/SEAGRI, 2008. <http://www.cnpa.embrapa.br/produtos/mamona/publicacoes/cbm3/trabalhos/index.html>. 10 Jan. 2009.
- Shaahan, M. M.; El-Sayed, A. A.; Abou El-Nour, E. A. A. Predicting nitrogen, magnesium and iron nutritional status in some perennial crops using a portable chlorophyll meter. *Scientia Horticulturae*, v. 82, n.3, p. 339-348, 1999.

- Silva, T. R. B.; Leite, V. E.; Silva, A. R. B. da; Viana, L. H. Adubação nitrogenada em cobertura na cultura da mamona em plantio direto. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v. 42, n.9, p. 1357-1359, 2007.
- Silva, E. B.; Tanure, L. P. P.; Santos, S. R.; Resende Jr., P. S. Sintomas visuais de deficiências nutricionais em pinhão-mansão. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v. 44, n.4, p. 392-397, 2009.
- Stewart, W. M.; Dibb, D. W.; Johnston, A. E. Smyth, T. J. The Contribution of commercial fertilizer nutrients to food production. *Agronomy Journal*, v. 97, n. 1, p. 1-6, 2005.
- Vance, C. P.; Uhde-Stone, C.; Allen, D. L. Phosphorus acquisition and use: critical adaptations by plants for securing a nonrenewable resources. *New Phytologist*, v.157, n.3 p.423-447, 2003.
- Wild, A. Russel's soil conditions and plant growth. 11.ed. New York: Wiley, 1988. 991p.
- Wright, P. R. Premature senescence of cotton (*Gossypium hirsutum* L.) – Predominantly a potassium disorder caused by an imbalance of source and sink. *Plant and Soil*, v. 211, n. 2, p. 231-239, 1999.