



**UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
DEPARTAMENTO DE FITOTECNIA E CIÊNCIAS AMBIENTAIS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA**

**CRESCIMENTO E PRODUÇÃO DE FITOMASSA DA MAMONEIRA BRS
ENERGIA ADUBADA COM NITROGÊNIO E SILÍCIO**

DJALMA JOSÉ CORREIA DE FIGUERÊDO

AREIA-PB

Dezembro-2013

DJALMA JOSÉ CORREIA DE FIGUERÊDO

**CRESCIMENTO E PRODUÇÃO DE FITOMASSA DA MAMONEIRA BRS
ENERGIA ADUBADA COM NITROGÊNIO E SILÍCIO**

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia do CCA/UFPB, como parte das exigências para a obtenção do título Doutor em Agronomia (Agricultura Tropical).

Orientador: Dr. Napoleão Esberard de Macêdo Beltrão (*In memoriam*)

Coorientador: Dr. José Félix de Brito Neto

AREIA-PB

Dezembro-2013

Ficha Catalográfica Elaborada na Seção de Processos Técnicos da
Biblioteca Setorial do CCA, UFPB, Campus II, Areia – PB.

F475c Figueiredo, Djalma José Correia de.
Crescimento e produção de fitomassa da mamoneira BRS Energia adubada com
nitrogênio e silício. / Djalma José Correia de Figueiredo. - Areia: UFPB/CCA, 2013.
xiii, 75 f. : il.

Tese (Doutorado em Agronomia) - Centro de Ciências Agrárias. Universidade
Federal da Paraíba, Areia, 2013.

Bibliografia.

Orientador (a): Napoleão Esberard de M. Beltrão (in memoriam).
Coorientador (a): José Felix de Brito Neto.

1. Mamoneira - adubação 2. Nutrição de plantas 3. *Ricinus Communis* L. 4.
Adubação - Silício I. Beltrão, Napoleão Esberard de M. (Orientador) II. Título.

UFPB/CCA

CDU: 633.85(043.2)

DJALMA JOSÉ CORREIA DE FIGUERÊDO

**CRESCIMENTO E PRODUÇÃO DE FITOMASSA DA MAMONEIRA BRS
ENERGIA ADUBADA COM NITROGÊNIO E SILÍCIO**

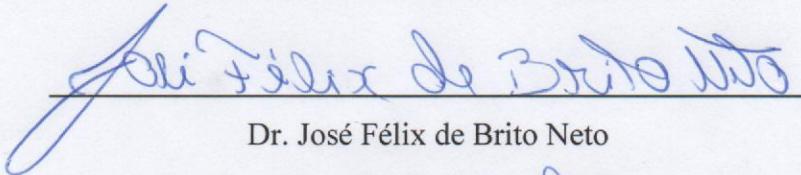
Aprovada em: 17 de Dezembro de 2013

Banca Examinadora

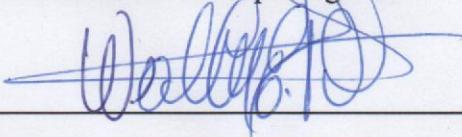
(in memoriam)

Profº. Dr. Napoleão Esberard de M. Beltrão

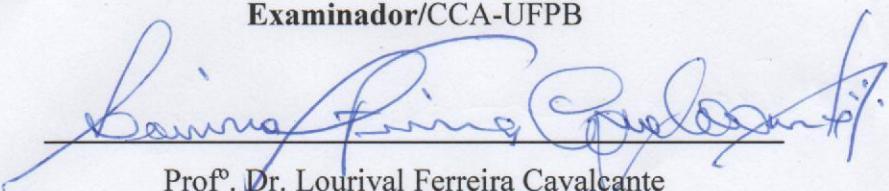
Orientador/Embrapa Algodão/UFPB


Dr. José Félix de Brito Neto

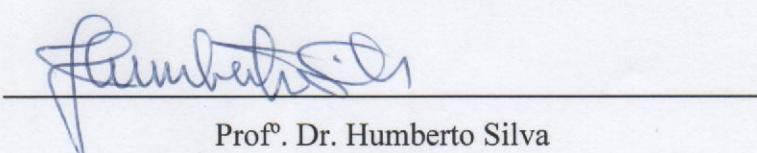
Coorientador/Embrapa Algodão


Profº. Dr. Walter Esfrain Pereira

Examinador/CCA-UFPB


Profº. Dr. Lourival Ferreira Cavalcante

Examinador/CCA-UFPB


Profº. Dr. Humberto Silva

Examinador/UEPB

AREIA-PB

Dezembro-2013

Ao Deus Javé,

Meu Redentor que me formou desde o ventre de minha mãe,
que me Concebeu a Graça da Vida;
o Caminho certo pra seguir na Fé Cristã com Sua Luz,
junto com os meus familiares,

DEDICO

Aos meus pais, Ernane e Laís, pela sabedoria da vida,

À minha tia Ná (*in memoriam*) pelo início deste caminho,

À minha tia, Babi, pela acolhida,

Aos meus irmãos, João, Giovani e Eduardo, pelo companheirismo,

Às minhas filhas, Djana, Dyana e Djayana, por serem a minha vida,

À minha esposa, Ana, por ser o amor de minha vida,

À família, pela fraternidade,

OFEREÇO

AGRADECIMENTOS

À Universidade Federal da Paraíba e à Coordenação do Curso de Pós-Graduação em Agronomia, do Centro de Ciências Agrárias, pela oportunidade de vivenciar essas experiências;

À Embrapa Algodão pela disponibilidade de seus recursos às experimentações científicas;

Aos professores Ademar Pereira de Oliveira, Ricardo Eslebão Alves, Silvanda de Melo Silva, Djail Santos, Ítalo de Aquino e Walter Esfrain Pereira, pelos conhecimentos, especialmente aos que contribuíram com sugestões e aconselhamento para este trabalho, e amizade;

Em especial, ao meu professor e orientador Dr. Napoleão Esberard de Macêdo Beltrão (*in memoriam*), que deixou um legado profissional incomparável, pela extrema competência e dedicação à pesquisa científica, pelo acolhimento, orientação e amizade aos seus alunos, indistintamente, e pela oportunidade da sua convivência;

Ao meu coorientador Dr. José Félix de Brito Neto, pela imensa contribuição em todas as fases do estudo experimental e pelo apreço da convivência;

Ao Prof. Dr. Walter Esfrain Pereira, pela cumplicidade fraternal nos esclarecimentos das análises estatísticas dos dados avaliados desta tese, junto com os pesquisadores da Embrapa Algodão, M. Sc. José Wellington dos Santos e Dr. Tarcísio Marcos de Souza Gondim;

Aos pesquisadores da Embrapa, Dr. Valdinei Sofiatti, pela contribuição incondicional a esta pesquisa; Dr. Francisco (Chicão) e Farias, pela inestimável ajuda e ensinamento de sua sabedoria de vida;

A Adelardo Lira, técnico da Embrapa Algodão, minha gratidão pela valiosa participação e ajuda nos trabalhos de campo;

A Renato (carioca), pela amizade e ajuda da informática;

A Márcia, pela atitude profissional e cristã na ajuda da condução da pesquisa;

Aos técnicos dos laboratórios da Embrapa Algodão, Bruna, Daíse, Edjane, Dona Josa, Joabson, José Menezes, José Carlos, Joênia, Amaro, Carlos, Gilvanzinho, Chico Moura, Jailton Rodrigues, pela ajuda das análises, bem como, as gentilezas das informações necessárias para este trabalho; da Biblioteca, do Núcleo de Informática;

Aos funcionários que, mesmo não contribuindo para a esta pesquisa, compartilharam fraternalmente comigo, como, Socorro, Conceição, Dalva, Marluce e Ângela da cantina, Eunice, Danilo, Mailton (caíca), Márcia, Chico preto, Mário Brito, Mário Cézar, Bereu e Napoleão Silveira;

Aos professores membros do comitê de avaliação, Lourival Ferreira, Walter Esfrain e Humberto Silva por aceitarem fazer parte da banca;

Aos amigos e colegas da Pós-Graduação, pela convivência fraternal e compartilhamento da vida; Márcia Guimarães, Carmem Valdênia da S. Santana, Márcia Maria Gondim, Irenice Gomes de Oliveira, Pollyana F. Montenegro Agra, Rilvânia da Silva Falcão, Lucas Borchartt, Petrônio Donato dos Santos, Francisco da Assis P. Leonardo, Edna de Oliveira Silva, Évio Alves Galindo, Clarisse Pereira Benedito, Damiana Ferreira da Silva, Renato Lima Dantas, Luiz Leonardo Ferreira, Luiz Leonardo Ferreira, Natália Vital da Silva, Jéssica de Souza Lima, Alex da Silva Barbosa, André Japiassú e Hélder Albuquerque;

Aos que fazem o Colégio Santa Rita, pela acolhida de Paz e Cristandade no início do curso;

Aos amigos Maria Cristina, Edmilson Sacre, Sandro e meu sobrinho Davi Figueiredo pela imensa ajuda no experimento em Cumaru-PE;

Aos funcionários do Laboratório de Solos e Nutrição de Plantas e do Laboratório de Química, pelo auxílio na execução das análises, e da Biblioteca da Embrapa Algodão, pela gentileza e competente atendimento profissional;

Aos professores do laboratório de Nutrição de Plantas - UFRPE, Hélio Cabral Lima, Egídio Bezerra Neto e Levy Paes Barreto, Lourinalda e Bejamim pela orientação precisa das análises, e aos amigos, Giovanildo, Júlio e Narciso, que contribuíram com os trabalhos das análises, além do convívio fraternal e aos colegas José Mário e Joselane, pela ajuda e companheirismo;

À Secretaria do Curso de Pós-Graduação em Agronomia CCA/UFPB, Cícera Eliane, pela presteza do atendimento, sempre de forma gentil e fraterna;

A todos que me ajudaram nessa etapa acadêmica, o meu sincero reconhecimento e gratidão.

AGRADECIMENTO ESPECIAL



Professor, Dr. Napoleão,
como todos o chamavam!

O que posso dizer do tão grandioso ser humano e profissional que fora em vida? Apenas lembrar, tão especialmente, que desde os já idos de 2001, o senhor já acolhia

como orientador, muitos desses alunos ansiosos aos seus cuidados de incentivo à militância do estudo e da pesquisa, pois sempre acreditou nas inovações tecnológicas como único instrumento de desenvolvimento e de transformação real da sociedade. E entre eles estava eu, e continuei sendo seu aluno, como inúmeros, até tão pouco atrás, quando resolveu, por desígnios da vida traçados ou não, nos deixar seu legado incomparável de ser humano, de professor e pesquisador, sempre em busca da perfeição, nos presenteando com o que há de melhor na qualificação do indivíduo – sua percepção profissional e sua expressão ética. Assim, Doutor Napoleão, cremos que seu companheirismo foi mais do que o ser professor e pesquisador, mas, uma verdadeira parceria fraternal e cristã que poderíamos chamar indubitavelmente de amizade. Que o senhor que sempre nos acolheu, seja acolhido agora e sempre. Amém!

SUMÁRIO

LISTA DE TABELA	ix
LISTA DE FIGURA	x
RESUMO	xii
ABSTRACT	xiii
1. INTRODUÇÃO	1
2. REFERENCIAL TEÓRICO	3
2.1. A mamoneira	3
2.2. Nutrição da mamoneira	6
2.3. Importância do nitrogênio para a mamoneira	8
2.4. Dinâmica do nitrogênio no solo	12
2.5. Silício	13
2.6. Interação Silício Nitrogênio	17
3. MATERIAL E MÉTODOS	20
3.1. Localização e caracterização do experimento	20
3.2. Delineamento experimental	21
3.3. Variáveis analisadas	22
3.4. Análise estatística.....	25
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	26
4.1. Alterações nos atributos químicos do solo	26
4.2. Análise de crescimento	28
4.2.1. Altura de plantas, diâmetro de caule, número de folhas e área foliar	28
4.2.3. Taxas de Crescimento absoluta e relativa	32
4.4. Medidas de crescimento.....	36
4.5. Análise nutricional.....	39
4.5.1. Macro e micronutrientes em folhas de mamoneira	39
4.5.2. Teor de clorofila em folhas de mamoneira	42
4.6. Teor de clorofila em folhas de mamoneira	44
4.7. Componentes de produção de matéria seca	47
5. CONCLUSÕES	51
6. REFERÊNCIAS	52

LISTA DE TABELAS

TABELA 1. Características químicas do solo utilizado no experimento, realizado na Embrapa Algodão, Campina Grande-PB, 2012	21
TABELA 2. Distribuição dos tratamentos utilizados na experimentação	21
TABELA 3. Resumo das análises de variância e respectivos quadrados médios, para macronutrientes do solo, fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca), manganês (Mn) e enxofre (S), do experimento em plantas de mamoneira cv. BRS Energia. Campina Grande-PB, 2012	26
TABELA 4. Resumo das análises de variância e respectivos quadrados médios, para os componentes de crescimento, altura de planta (ALT), número de folhas (NF), diâmetro caulinar (DIA) e área foliar (AFO) de plantas de mamoneira cv. BRS Energia. Campina Grande-PB, 2012	28
TABELA 5. Resumo das análises de variância e respectivos quadrados médios, para taxa de crescimento absoluta ($\text{mm}.\text{dia}^{-1}$) e relativa ($\text{mm}.\text{mm}.\text{dia}^{-1}$) para o diâmetro caulinar, e absoluta ($\text{cm}^2.\text{dia}$) e relativa ($\text{cm}^2.\text{cm}^2 \text{ dia}^{-1}$) para área foliar, eferente a média de 60-120 DAE, em plantas de mamoneira cv. BRS Energia. Campina Grande-PB, 2012	33
TABELA 6. Resumo das análises de variância e respectivos quadrados médios, para área foliar específica (AFE) em $\text{cm}^2.\text{g}^{-1}$, razão de área foliar (RAF) em $\text{cm}^2.\text{g}^{-1}$ e razão do peso foliar (RPF), em plantas de mamoneira cv. BRS Energia. Campina Grande-PB-2012	36
TABELA 7. Resumo das análises de variância e respectivos quadrados médios, para os teores de nitrogênio (N), fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg) e enxofre (S) em folhas de plantas de mamoneira cv. BRS Energia. Campina Grande-PB, 2012	39
TABELA 8. Resumo das análises de variância e respectivos quadrados médios, para os teores de micronutrientes, manganês (Mn), zinco (Zn), ferro (Fe) e silício (Si) em folhas plantas de mamoneira cv. BRS Energia. Campina Grande-PB-2012	42
TABELA 9. Resumo das análises de variância e respectivos quadrados médios, para o índice de clorofila (ICLO), clorofila a (Cla) e clorofila b (Clb), em folhas de mamoneira cv. BRS Energia. Campina Grande-PB, 2012	45
TABELA 10. Resumo das análises de variância e respectivos quadrados médios, para os componentes de produção primária massa seca da raiz (MSR), massa seca do caule (MSC), massa seca da folha (MSF), massa seca do cacho (MSCX), massa seca total (MST), de plantas de mamoneira cv. BRS Energia. Campina Grande-PB, 2012	48

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1. Vista parcial do experimento em casa de vegetação. Embrapa Algodão, Campina Grande-PB, 2012	20
FIGURA 2. Temperatura Máxima (Temp. Max.), Média (Temp. Méd.), Mínima (Temp. mín.) °C e Umidade relativa (UR %), durante o período de condução do experimento. Fonte: Estação climatológica da Embrapa Algodão, Campina Grande-PB, 2012	20
FIGURA 3. Teor de potássio (K) no solo, de plantas de mamoneira cv. BRS Energia, em resposta a diferentes doses de N (Kg ha^{-1}). Embrapa Algodão, Campina Grande-PB, 2012 ...	27
FIGURA 4. Diâmetro caulinar (A) de plantas de mamoneira cv. BRS Energia, em resposta a diferentes doses de N (kg ha^{-1}), e a doses de Si (B). Embrapa Algodão, Campina Grande-PB, 2012	30
FIGURA 5. Número de folhas (A) e área foliar (B) de plantas de mamoneira cv. BRS Energia, em resposta a diferentes doses de N (Kg ha^{-1}). Embrapa Algodão, Campina Grande-PB, 2012	32
FIGURA 6. Taxa de crescimento absoluta (TCADC) e relativa (TCRDC) do diâmetro caulinar (da média de 60-120 DAE), de plantas de mamoneira cv. BRS Energia, em resposta a diferentes doses de N (kg ha^{-1}). Embrapa Algodão, Campina Grande-PB, 2012	34
FIGURA 7. Taxa de crescimento absoluta (TCAAF) e relativa (TCRAF) da área foliar (da média de 60-120 DAE), de plantas de mamoneira cv. BRS Energia, em resposta a diferentes doses de N (kg ha^{-1}). Embrapa Algodão, Campina Grande-PB, 2012	35
FIGURA 8. Área foliar específica (A), razão de área foliar (B) e razão do peso foliar (C) de plantas de mamoneira cv. BRS Energia, em resposta a diferentes doses de N (kg ha^{-1}). Embrapa Algodão, Campina Grande-PB, 2012	38
FIGURA 9. Teores foliares de N (A), Ca (B), Mg (C) e S (D) de plantas de mamoneira cv. BRS Energia, em resposta a diferentes doses de N (kg ha^{-1}). Embrapa Algodão, Campina Grande-PB, 2012	41
FIGURA 10. Teores foliares de Ferro (A) e Silício (B), de plantas de mamoneira cv. BRS Energia, em resposta a diferentes doses de N (kg ha^{-1}). Embrapa Algodão, Campina Grande-PB, 2012	44
FIGURA 11. Teores foliares de Ferro (A) e Silício (B), de plantas de mamoneira cv. BRS Energia, em resposta a diferentes doses de N (kg ha^{-1}). Embrapa Algodão, Campina Grande-PB, 2012	47

FIGURA 12. Massa seca da folha (A), do caule (B), do fruto (C) e da raiz (D) de plantas de mamoneira cv. BRS Energia, em resposta a diferentes doses de N (kg ha^{-1}). Embrapa Algodão, Campina Grande-PB, 2012 50

FIGUERÊDO, D. J. C. de. CRESCIMENTO E PRODUÇÃO DE FITOMASSA DA MAMONEIRA BRS ENERGIA ADUBADA COM NITROGÊNIO E SILÍCIO. Areia, Centro de Ciências Agrárias, UFPB, Dezembro de 2013. 177p. Tese. Programa de Pós-Graduação em Agronomia. Orientador: Prof. Ph.D. Napoleão Esberard de Macêdo Beltrão (*in memoriam*), e Coorientador: Dr. José Félix de Brito Neto. e-mail: djalmafigueredo@yahoo.com.br.

RESUMO

O silício pode estimular a absorção do N pelas plantas, resultando em uma melhor arquitetura foliar e maior aproveitamento da luz, e consequentemente plantas mais produtivas. Nesse sentido, objetivou-se com este experimento, avaliar os efeitos da interação entre o Si e o N sobre o crescimento, produção de matéria seca, e composição mineral de plantas de mamoneira BRS Energia. O experimento foi realizado na Embrapa Algodão em Campina Grande-PB, sendo os tratamentos distribuídos em um delineamento de blocos ao acaso com arranjo fatorial de (4x4), sendo quatro doses de silício (00; 80; 160; 240 mg L⁻¹), e quatro doses de nitrogênio (00; 60; 120; 180 kg ha⁻¹), aplicados por planta, com quatro repetições, totalizando 64 unidades experimentais. A pesar do aumento das doses de N diminuir os teor de K no solo, estimulou o crescimento das outras variáveis, diâmetro caulinar, número de folhas e área foliar. A adubação silicatada foliar proporcionou aumento significativo do diâmetro caulinar, sendo o maior valor observado (18,54 mm) em função da maior dose de Si aplicada. A taxa de crescimento absoluto em diâmetro caulinar atingiu o valor máximo de 0,068 mm.dia⁻¹ correspondente a 100 kg ha⁻¹ de N. A taxa de crescimento absoluto para área foliar no período avaliado, ajustou-se ao modelo quadrático, com incrementos crescentes em função das doses de N, com maior valor de 20,60 cm².dia⁻¹ na dose de 102,63 kg ha⁻¹. O aumento crescente até o limite máximo de 99,43 kg ha⁻¹ de N, proporcionou uma relação de área foliar de 19,85 cm² por cada grama de matéria seca produzida pela planta. O teor de N nas folhas aumentou em função das doses de N aplicadas, com incremento no teor foliar de 49,82 g kg⁻¹, com a dose observada de 124,89 kg ha⁻¹ de N. A produção de massa seca total chegou a 137,01 g planta⁻¹, em função da dose de 109,71 kg ha⁻¹ de nitrogênio.

Termos para indexação: Silício, *Ricinus communis* L., nutrição de planta.

FIGUERÊDO, D. J. C. de. GROWTH AND BIOMASS PRODUCTION OF ENERGY BRS CASTOR BEAN FERTILIZED WITH NITROGEN AND SILICON. Areia, Center of Agricultural Sciences, Federal University of Paraíba, UFPB, December of 2013. 87p. Thesis. Postgraduate Doctor Science Agronomy Program. Supervisor: Professor Napoleão Esberard de Macêdo Beltrão, Ph.D., (*in memoriam*) and Co-supervisor: José Félix de Brito Neto, Dr. E-mail: djalmafigueredo@yahoo.com.br.

ABSTRACT

Silica can stimulate the uptake of N by plants, resulting in improved leaf architecture and greater use of light, and therefore more productive plants. In this sense, the objective of this experiment was to evaluate the effects of the interaction between Si and N on growth, dry matter yield and mineral composition of castor bean plants BRS Energy. The experiment was conducted at Embrapa Cotton in Campina Grande-PB, with treatments arranged in a randomized complete block design with factorial arrangement (4x4), four doses of silicon (00, 80, 160, 240 mg L⁻¹) and four nitrogen rates (00, 60, 120, 180 kg ha⁻¹) applied per plant, with four repetitions, totaling 64 experimental units. Despite the increase of N levels decrease K content in the soil, stimulated the growth of other variables, stem diameter, number of leaves and leaf area. Silicon fertilization foliar provided a significant increase in stem diameter, with the highest value (18,54 mm) due to the higher dose of Si applied. The absolute growth rate in stem diameter reached a maximum value of 0,068 mm.day⁻¹ corresponding to 100 kg ha⁻¹ N. The absolute growth rate for leaf area during the study period, set the quadratic model, with increasing increments as a function of N rates, with higher value of 20,60 cm².dia⁻¹ at a dose of 102,63 kg ha⁻¹. The increasing up to a maximum of 99,43 kg ha⁻¹ N, gave a ratio of leaf area of 19,85 cm² per gram of dry matter produced by the plant. The N content in the leaves increased as a function of N rates, an increase in leaf content of 4,76 % observed at the dose of 118,75 kg ha⁻¹ N. The total dry mass reached 134,99 g plant⁻¹, depending on the dose of 109,79 kg ha⁻¹ of nitrogen.

Index terms : Silicon, *Ricinus communis* L., plant nutrition.

1. INTRODUÇÃO

Nos últimos anos têm se observado em nível mundial, aumento da demanda por óleos vegetais pela indústria química, devido as suas inúmeras aplicações na fabricação de produtos bioquímicos. Dentre as fontes de óleos vegetais, destaca-se a mamoneira (*Ricinus communis* L.), uma oleaginosa pertencente à família das Euphorbiaceae, considerada uma planta rústica que apresenta em seus inúmeros subprodutos, compostos de natureza química peculiares muito utilizadas pela indústria ricinoquímica para fabricação de shampoos, tintas vernizes, perfumes e outros produtos (BELTRÃO; AZEVEDO, 2007).

A cultura da mamona conquistou seu espaço econômico, político e ambiental no Brasil, devido ao interesse pela indústria ricinoquímica e pela busca de novas fontes de energias, visto que a obtenção do óleo diesel a partir do petróleo tem custo elevado, além da queima deste combustível ser altamente poluente. Os resultados apontam o biodiesel como uma das alternativas viáveis à substituir combustíveis obtidos do petróleo. No Brasil, o cultivo da mamoneira é realizado nas regiões Sudeste, Sul e Nordeste, sendo a área cultivada no país na safra 2011/2012 de 128, 2 mil hectares, com produção de 24,9 mil toneladas, com destaque para a região nordeste com 123,9 mil hectares cultivados com produção de 21,4 toneladas (CONAB, 2013).

Apesar de sua rusticidade, a mamoneira pode ter seu crescimento e produtividade reduzida por diversos fatores, como por exemplo, a carência de nutrientes do solo (COSTA et al., 2011). De forma geral, os solos brasileiros, em especial os do Nordeste, são ácidos e de baixa fertilidade natural, principalmente em nitrogênio e fósforo o que tem limitado o crescimento e produção vegetal (AZEVEDO et al., 1997). No Brasil, o cultivo da mamona em grandes áreas é recente, e assim há uma carência de informações sobre a adubação nitrogenada, pois pouco se conhece sobre o efeito do nitrogênio no equilíbrio nutricional e no crescimento da mamoneira.

O nitrogênio é o nutriente mais exportado pela mamona ($37 \text{ kg de N t}^{-1}$ de bagas) e o segundo mais extraído (156 kg ha^{-1}), perdendo apenas para o potássio (172 kg ha^{-1}) (NAKAGAWA, 1971). Lavres Júnior et al. (2005) verificaram que o N é o primeiro elemento a apresentar sintomas visuais de deficiência, e foi o nutriente que mais limitou o crescimento da mamona cultivada em solução nutritiva, resultando em redução da produção de matéria seca da parte aérea na ordem de 68%.

O estudo desse nutriente na cultura da mamoneira é de suma importância. Segundo Santos et al. (2004) a mamoneira tem elevada demanda por nitrogênio para seu crescimento e produção de área foliar. Quando cultivada sob deficiência, observa-se redução no crescimento e consequentemente plantas de baixo porte. A frutificação, quando ocorre, é fraca com poucos racemos e frutos com peso abaixo do esperado. Considerando as perdas de N, a baixa eficiência das fontes nitrogenadas e alta demanda da cultura em N, para que a mamoneira expresse seu potencial produtivo, as doses usualmente recomendadas não atendem a exigência da cultura.

Efeitos benéficos da adubação com Si têm sido observados em várias espécies vegetais, especialmente quando estas estão submetidas a estresse biótico ou abiótico (SCHIMIDT et al., 1999; FARIA, 2000; TRENHOLM et al., 1999). A absorção de Si traz benefícios às culturas tais como: diminuição da transpiração (DATNOF et al., 2001), redução do ataque de pragas e doenças por se concentrar na epiderme das folhas, aumento da resistência ao acamamento e a eficiência fotossintética (DEREN, 2001).

Mesmo não havendo uma definição clara sobre a interação entre o nitrogênio e o Si, há pesquisas em que se observam esta interação. Há relatos de que quando o N é fornecido em altas doses, pode diminuir os teores de Si nas plantas de arroz, como observado por Mauad et al. (2003). Segundo Barbosa Filho et al. (2000), aplicações de doses elevadas de N diminuem a acumulação de sílica nas folhas mais novas, predispondo a planta à maior incidência de bruzone na cultura do arroz.

O Si melhora a arquitetura da planta favorecendo maior e melhor aproveitamento da luz, resultando da menor abertura do ângulo foliar, que torna as folhas mais eretas, diminuindo o auto sombreamento, sobretudo em condições de altas densidades populacionais e altas doses de N, Deren et al. (1994). Uma das consequências desse efeito seria um aumento da taxa fotossintética em tais plantas, aumentando a produção de poder redutor e, consequentemente, uma maior capacidade de assimilação de nitrogênio pelas plantas.

Objetivou-se com esse trabalho avaliar os efeitos da interação entre o Si e o N sobre o crescimento, produção de matéria seca, e composição mineral de plantas de mamoneira BRS Energia.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

2.1. A Mamoneira

A mamoneira *Ricinus communis* L., espécie oleaginosa originária da África, é considerada a única espécie vegetal a produzir óleo solúvel em álcool, pertencente à família Euforbiácea, popularmente conhecida como carrapateira, enxerida, rícino e palma-de-cristo. (BELTRÃO et al., 2007; BELTRÃO et al., 2011). É uma planta oleaginosa, xerófila e heliófila, distribuída por regiões de clima tropical, subtropical e temperado, com cultivos comerciais entre as latitudes 40° S a 52° N, estando o ótimo ecológico em altitudes de 300 m a 1.500 m (WEISS, 1983) produzindo ou vegetando do Rio Grande do Sul até a Amazônia, em virtude da sua capacidade de adaptação (AZEVEDO; BELTRÃO, 2007). Com variação de temperatura entre 20°C a 30°C, para que haja produções com valor comercial (BELTRÃO et al., 2007).

Necessita de chuvas regulares durante sua fase vegetativa e de períodos secos na fase de maturação dos frutos, requerendo um mínimo de 600 mm de chuvas, para produzir bons rendimentos. Temperaturas muito elevadas, superiores a 40°C provocam aborto das flores, reversão sexual das flores femininas em masculinas e redução substancial do teor de óleo nas sementes (BELTRÃO; SILVA, 1999).

É uma planta C3, com menor eficiência no metabolismo fotossintético que as C4, pois liberar mais CO₂ para a atmosfera, devido ter elevada taxa de respiração (oxidativa e fotorrespiração) foliar, com taxa fotossintética em torno de 18 a 27 mg CO₂ dm².hora, abaixo de plantas eficientes C4, que praticamente, não liberam CO₂, como, milho e sorgo, que podem produzir até 60 mg CO₂ dm².hora (D'YAKOV, 1986; PIMENTEL, 1998). Embora a comparação entre as plantas oleaginosas não pode ser feita de maneira direta com as plantas produtoras de açúcar. As plantas oleaginosas consomem 18 ATP para a formação de hexoses na ausência de fotorrespiração, enquanto as plantas produtoras de açúcar consomem 30 ATP, portanto 40% a mais.

O ciclo da mamoneira, de forma geral, varia de 180 a 240 dias distribuídos em 12 estádios fenológicos, englobando as fases de crescimento e desenvolvimento que ocorrem em todo o seu ciclo biológico, e, do seu conhecimento, se obtém uma maior eficiência no manejo da planta, que vai da germinação até a maturação dos frutos, e estão condicionadas às adaptações edafoclimáticas das diferentes cultivares (BELTRÃO et al., 2011).

Apresenta sistema radicular pivotante com raízes fistulosas ramificadas (WEISS, 1983). O caule é uma haste vertical não ramificado terminando por uma inflorescência (cacho primário ou racemo), que tem em sua base, uma gema na axila da última folha, e, todos os demais ramos crescem da mesma maneira, terminando sempre por uma inflorescência formando uma estrutura simpodial. Apresenta folhas largas (até 60 cm), simples, digitolobadas, denticuladas, pecíolo longo (até 50 cm), com coloração verde ou avermelhada, tendo dois pares de glândulas nectaríferas (BELTRÃO et al., 2007). No caule, os internódios (espaços entre as gemas foliares: nós) longos indicam um bom crescimento da planta a uma boa disponibilidade de nutriente, água e condição climática; os curtos indicam condições adversas (estiagem, deficiência de nutrientes) ao crescimento (BELTRÃO et al., 2011).

Ela é uma planta monóica, com inflorescência no final de um ramo, complexa, devido à variabilidade de flores: femininas, femininas instáveis, masculinas, masculinas com genes feminino e apesar de ser uma planta autógama, tem uma taxa de alogamia em torno de 40%, o fruto é uma cápsula lisa ou espinhosa, deiscente ou indeiscente, com coloração verde ou vermelha e com um comprimento de até 80 cm (BELTRÃO et al., 2007).

O óleo de mamona provém de sementes com grande variabilidade em cor, massa, tamanho do tegumento e da cartúcula. A amêndoia da semente pode ter 70% da massa da baga contendo 43 a 49% de óleo e 18 a 26% de proteína bruta, além de ser constituída de 84 a 91 % de um único ácido graxo, o ricinoléico, que é o único a ter uma hidroxila ligada à cadeia de carbono (ácido graxo hidroxilado) que o torna solúvel em álcool lhe permitindo grande versatilidade na síntese de produtos pela indústria química, ao contrário dos outros óleos vegetais constituído por diferentes ácidos graxos. É empregado na indústria de cosméticos, lubrificantes, para motores de alta rotação, fluido hidráulico em avião, (FREIRE et al., 2007). É utilizado, ainda, na fabricação de corantes, desinfetantes, germicidas, vernizes, matéria plástica, na elaboração de próteses e implantes em cirurgia óssea, de mama e de próstata (SANTOS et al., 2007).

Como coproducto, tem-se a torta de mamona (nutriente orgânico), rica em nitrogênio (4,6-7,54%), fósforo (3,0-3,11%) e potássio (0,52-0,96%) e, é usada para recuperar solos desgastados, e também, no complemento de ração animal, pelo seu alto valor protéico, mediante a destoxicação por tratamento térmico, como a autoclavagem,

para neutralizar a ação de dois compostos tóxicos (ricina e ricinina) e um alergogênico (SEVERINO, 2005; SEVERINO et al., 2005).

O biodiesel é um derivado éster monoalquílico resultante da transesterificação de óleos vegetais ou, de gordura animal. O óleo de mamona mesmo com alta viscosidade (21,6 a 37,8 cSt), devido à alta concentração de ácido ricinoléico, poderia resultar numa queima incompleta com excesso de carbono nos bicos e anéis dos pistões, no entanto, poderá ser misturado ao óleo diesel em até 40% para formar biodiesel, mantendo-se nas especificações da Agência Nacional do Petróleo (até 5,5 cSt), com baixo ponto de inflamabilidade, elevada estabilidade térmica e elevado número de cetano, e consequentemente, menor emissão de poluentes. Na composição do biodiesel, apenas a soja é cultivada em escala suficiente para a demanda de produção desse óleo, com cerca de 90%, o restante é complementado com outros óleos vegetais, como, mamona, algodão, girassol, canola, dendê, babaçu. A glicerina é o outro subproduto da transesterificação com cerca de cerca de 10% do total (BELTRÃO, 2008).

O petróleo além de ser um recurso finito, não renovável, é altamente poluente, provocando aumento do CO₂ atmosférico e elevação da temperatura, aumento do nível do mar em até 1,0 metro, além da inibição da fotossíntese devido ao excesso de amido nos cloroplastos e desorganização das membranas das organelas promovendo a destruição da vida no planeta Terra. O biodiesel é menos tóxicos, biodegradáveis e muito menos poluentes, podendo reduzir entre 78% a 100% os gases que produzem o efeito estufa, bem como, a redução total do enxofre, e além do mais, envolve muita gente e ocupações na produção da matéria-prima principal, que são os óleos vegetais, que para produzi-los, as plantas retiram o dióxido de carbono do ar, fazendo uma espécie de sequestro de carbono. Na atualidade o Brasil consome por ano cerca de 42 bilhões de litros de diesel, dos quais 6,7 bilhões são usados na agricultura e importa-se quase 25%, ou seja, cerca de 11 bilhões de litros, com a evasão de mais de 2,5 bilhões de dólares por ano, o que equivalente à geração de mais de 600.000 empregos ou ocupações por ano, com espécies adaptadas ao semi-árido, sendo a mamona uma das poucas disponíveis, assim como o algodão herbáceo e arbóreo, dependendo da área zoneada para esta fibrosa e oleaginosa (BELTRÃO et al., 2007).

Com a lei nº 11.097, publicada em 13 de janeiro de 2005, foi introduzido o biodiesel na matriz energética brasileira e ampliada à competência administrativa da ANP, que passou desde então a denominar-se Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e

biocombustíveis e assumiu as atribuições de especificar e fiscalizar a qualidade dos biocombustíveis e garantir o abastecimento do mercado, em defesa do interesse dos consumidores. Apesar de somente em 1º de janeiro de 2010, o óleo diesel comercializado em todo o Brasil passou a conter 5% de biodiesel.

A contínua elevação do percentual de adição de biodiesel ao diesel demonstra o sucesso do Programa Nacional de Produção e Uso do Biodiesel e da experiência acumulada pelo Brasil na produção e no uso em larga escala de biocombustíveis. O Brasil está entre os maiores produtores e consumidores de biodiesel do mundo, com uma produção anual, em 2010, de 2,4 bilhões de litros e uma capacidade instalada, no mesmo ano, para cerca de 5,8 bilhões de litros (ANP, 2013).

2.2. Nutrição da mamoneira

A falta de nitrogênio na mamoneira causa sintomas de deficiência que são semelhantes aos da maioria das plantas: clorose (amarelecimento) das folhas mais velhas e abscisão (queda) de folhas (principalmente as mais velhas) e redução do crescimento em altura, no entanto, quando o solo é muito pobre em matéria orgânica e em nitrogênio, poderá haver apenas a paralisação do crescimento e abscisão das folhas velhas inferiores (SEVERINO et al., 2009); nesse aspecto, poderá haver menor produção de carbono e deficiência na quantidade de clorofila e da enzima Rubisco (EPSTEIN; BLOOM, 2006).

A mamoneira é uma planta que necessita ser cultivada em solos muito férteis para que atinja boa produtividade (SEVERINO et al., 2005), podendo-se adaptar a diversos tipos de solos e climas, embora ser uma planta exigente em solos férteis (BELTRÃO et al., 2005).

Nesse sentido, as plantas adultas iniciam a deficiência, avaliadas por diagnose visual, por um amarelecimento nas folhas inferiores que podem ou não se iniciar pelas nervuras, mas invariavelmente alcança rapidamente toda a folha, que tomba sobre o caule, fecha-se sobre a face superficial e cai; há perda de cor das folhas inferiores para o ápice, seguido de queda prematura da folhagem. A mamona tem forte demanda por nitrogênio para seu crescimento e produção de área foliar, ocorrendo forte redução no crescimento com baixa estatura. A frutificação, quando ocorre, é fraca com poucos cachos e frutos com peso abaixo do esperado (FERREIRA, et al., 2008).

Resultados de pesquisas realizadas no sudeste do País indicam que a mamoneira é sensível à acidez do solo e bastante responsiva à adubação, e tem uma demanda nutricional elevada, exportando, em média, 38 kg de N; 9 kg de P₂O₅; 10 kg de K₂O; 7 kg de Ca e 9 kg de Mg por tonelada de sementes produzida (SAVY FILHO, 1995). Nesse aspecto a poderá exportar 80 kg de N, em lavouras com produtividade de 2.000 kg ha⁻¹ (CANECCHIO FILHO e FREIRE, 1958).

A recomendação de adubação com o nitrogênio é feita de acordo com os teores de matéria orgânica (MO): solo com baixo teor (menos de 10 g de MO para 1 kg de solo), usar até 60 kg de nitrogênio por hectare, e, em solos com alto teor (mais de 30 g de MO para 1 kg de solo), usar 15 kg de nitrogênio por hectare. Para o Fósforo, a recomendação é de 50, 40 e 30 kg ha⁻¹, respectivamente, quando os teores no solo forem menores que 11, de 11 a 20, e maior que 20 mg dm⁻³; e para o potássio, a recomendação é de 40, 30 e 20 kg ha⁻¹, respectivamente, quando os teores de potássio no solo, for menor que 0,12, de 0,12 a 0,23, e maior que 20 mg dm⁻³ (SEVERINO et al., 2007).

Sabe-se que os teores foliares de N na mamona, chegam a 41,3 g kg⁻¹ aos 64 dias da germinação e é comum se encontrar na torta da semente cerca de 45,0 g kg⁻¹ desse nutriente (NAKAGAWA; NEPTUNE, 1971). Severino et al. (2006), ao avaliar a adubação com macro e micronutrientes na cultura da mamona, concluíram que a adubação promoveu aumento de produtividade da cultivar BRS Nordestina, com destaque para a adubação nitrogenada, e o teor de óleo foi influenciado positivamente pelo aumento das doses de fósforo.

Foi avaliada a aplicação de nitrogênio em cobertura na cultura da mamoneira usando-se doses de 0, 30, 60 e 120 kg ha⁻¹ de N e a produtividade máxima foi obtido com a aplicação de 80 kg ha⁻¹ de N em cobertura sem alterar o teor de óleo das sementes (Silva et al., 2007).

Pela avaliação da adubação da mamoneira cultivar BRS Nordestina em condições de sequeiro, concluiu-se que ela proporciona maior crescimento vegetativo das plantas e as doses de 100 kg ha⁻¹ de N incrementa a produtividade de sementes em 165%, sendo indispensável para a obtenção de elevadas produtividades (SOFIATTI et al., 2010). A clorofila é o principal pigmento fotossintético, e sua correlação com a nutrição nitrogenada pode ser medida por meio do índice SPAD (JESUS; MARENCO, 2008).

2.3. Importância do Nitrogênio para a mamoneira

O nitrogênio é um dos nutrientes absorvidos em maior quantidade pela maioria das culturas. Sua importância é conhecida pelas funções exercidas no metabolismo das plantas, participando como constituinte de proteínas, enzimas, ácidos nucléicos, citocromos, moléculas de clorofila, membranas e diversos hormônios vegetais promover o crescimento vegetativo e a formação de gemas floríferas e frutíferas etc., além de ser considerado um dos fatores mais relevantes para o aumento da produção (MARSCHNER, 1995; SOUZA e FERNANDES, 2006).

Esse nutriente influencia a taxa de emergência, de expansão e duração da área foliar, consequentemente, atua na interceptação da radiação fotossinteticamente ativa, bem como no uso eficiente desta e nos seus efeitos sobre a taxa fotossintética (ARAUJO et al., 2004). Além disso, o nitrogênio é responsável por características do porte da planta, tais como tamanho de folhas e do colmo, que são fatores intrínsecos à produção de massa seca e valor nutritivo da planta. Em muitos sistemas de produção, a disponibilidade de nitrogênio é quase sempre um fator limitante, influenciando o crescimento da planta mais do que qualquer outro nutriente. A eficiência da adubação nitrogenada é dependente de condições climáticas, tipo de solo, acidez, conteúdo de argila, cultivares, cultura anterior, distribuição de chuvas, níveis de fertilização nitrogenada e sua interação com outros nutrientes (OLIVEIRA et al., 2002).

A maior quantidade de nitrogênio nos solos está ligada a cadeias carbônicas constituindo a matéria orgânica, em formas não diretamente disponíveis para as plantas podendo ocorrer a partir de deposições atmosféricas, fixação biológica (simbiótica ou não) e adubações minerais ou orgânicas (CANTARELLA, 2007). O teor total desse elemento na camada superficial (0-20 cm) varia em geral de 0,05 a 5%, o que equivale de 1000 a 10000 kg ha⁻¹. Geralmente, menos de 5% do N total está em formas inorgânicas como o íon amônio (NH_4^+) e o íon nitrato (NO_3^-), sendo as formas mais absorvidas pelas plantas (SÁ, 1997), mas pode ocorrer nas formas de aminoácidos, peptídeos e formas complexas insolúveis (ODUM, 1988).

A deposição superficial de resíduos vegetais e a não incorporação desses ao solo contribuem para a diminuição das perdas de matéria orgânica por erosão e mineralização microbiológica e nos resíduos vegetais mantidos na superfície do solo e elevam, constituindo-se nos principais reservatórios de N para as culturas em sistema de semeadura

direta, especialmente para aqueles que não fixam N₂ da atmosfera (OLIVEIRA et al., 2002).

A mamoneira é exigente em fertilidade do solo e necessita de constante conhecimento científico sobre o uso de fertilizantes, seu aperfeiçoamento e adaptação para as diferentes regiões onde a cultura é plantada. Essas informações demonstraram que os macronutrientes estimulam o crescimento vegetativo e o reprodutivo, enquanto os micronutrientes se expressam principalmente sobre o crescimento reprodutivo. A mamona tem elevada demanda por nitrogênio para seu crescimento e produção de área foliar, e quando cultivada sob deficiência, observa-se redução no crescimento e consequentemente plantas de baixa estatura, e a sua frutificação, quando ocorre, é fraca com poucos racemos e frutos com peso abaixo do esperado (SANTOS et al., 2004).

O fornecimento de nitrogênio as plantas via adubação mineral funciona como complementação a capacidade de seu suprimento pelo solo, a partir da mineralização, pois, quando ocorre a falta de nitrogênio no solo as plantas crescem e produzem menos e suas folhas ficam cloróticas, no entanto, quando há excesso de N no solo, a planta vegeta excessivamente, produz menos frutos, apresenta menos raiz, transpira demasiadamente, ficando sujeita à seca e ao ataque de pragas e moléstias (MALAVOLTA et al., 2002).

Em estudos para avaliar os efeitos da adubação nitrogenada (doses de 0, 90, 180 e 270 kg ha⁻¹), sobre os teores foliares de N, P, K, Ca, Mg e S no algodoeiro, nas condições do semiárido conclui-se que para as variáveis de crescimento, como altura de plantas, diâmetro caulinar e área foliar, houve aumento linear com o aumento das doses nitrogenadas, elevação dos teores foliares de N e K e redução dos de S (SOFIATTI et al., 2010).

De modo geral, o comportamento das plantas em relação ao diâmetro caulinar foi semelhante ao crescimento das plantas em altura, mostrando correlação positiva entre as duas variáveis de crescimento estudadas, indicando elevada eficiência da espécie para transformar nutrientes absorvidos em fitomassa (SOFIATTI et al., 2010; DINIZ NETO, et al., 2012) e que o aumento dessas doses proporcionaram maior número de folhas, possibilitando sintetizar e assimilar maior quantidade de carboidratos produzidos pelo processo fotossintético (TAIZ; ZEIGER, 2010). Já em estudos feitos por Scivittaro et al. (2008), observou-se que para altas doses de N (até 100 kg ha⁻¹), houve um ajuste dos valores de altura da mamoneira a uma regressão polinomial quadrática, com valor máximo de 1,50m, decrescendo-se a partir dessa dose.

Brito Neto et al. (2012), estudando o efeito de quatro doses de nitrogênio (0, 40, 80, 120 kg ha⁻¹) na forma de uréia e quatro doses de Zn (0,0, 1,0, 2,0 e 3,0g L⁻¹) na forma de sulfato de zinco (20%), sendo estas aplicadas via foliar, sobre o crescimento e os componentes de produção da mamoneira, observaram que não houve efeito significativo das doses de nitrogênio para a altura da planta e diâmetro do caule, no entanto, a dose de 40 Kg ha⁻¹ de nitrogênio promoveu incremento sobre o número de cápsulas, sendo a responsável pelo maior número, porém a aplicação de doses superiores (80, 120 kg ha⁻¹), promoveu o decréscimo dessa variável.

Avaliações de crescimento observadas por Severino et al.(2005), revelaram que a altura e o diâmetro do caule das plantas é muito influenciada por adubações nitrogenadas, e que devido o excessivo crescimento vegetativo, o diâmetro do caule das plantas é muito alto, com média de 4 cm. Nas plantas que não receberam adubação nitrogenada, a altura foi 31% menor, reduzindo-se de 2,62 m para 1,8 m. Nesse sentido, foi constatado por Severino et al. (2007) que dose de 2,0 t ha⁻¹ de torta de mamona (7,4 % de N) propicia aumento significativo em todas as características de crescimento, de forma proporcional à dose fornecida, tendo a vantagens em relação à aplicação de fertilizantes químicos é a liberação gradual dos nutrientes à medida em que são demandados para o crescimento da planta (SEVERINO et al.,2004).

Estudos de Souza et al. (1974) afirmam que, geralmente o nitrogênio, quando aplicado em doses entre 40 e 100 kg ha⁻¹, tem propiciado aumento significativo na produtividade, embora possam atribuir que a falta de resposta à adubação nitrogenada, pode ser devido ao alto teor de matéria orgânica existente no solo. E a ausência do nitrogênio, segundo Marschner (1995), que é o elemento formador de aminoácidos e proteínas, impede e retarda o crescimento inicial da planta, por impossibilitar a incorporação de carbono e, desta forma, à medida que a planta cresce, haverá deficiência na quantidade de clorofila e da enzima Rubisco (Ribulose-1,5-bisfosfato Carboxilase).

Pelos estudos de produtividade e crescimento da mamoneira em resposta à adubação orgânica e mineral feitos por (SEVERINO et al., 2006) em que usaram dose de doses de matéria orgânica (2,5, 5,0 e 10,0 t ha⁻¹) e mais, N, P, K, e micronutrientes, observou-se que quando a adubação mineral incluiu N, o aumento de produtividade foi significativo, embora a limitação de chuvas tenha reduzido atividade dos microrganismos e limitado a mineralização dos nutrientes, observado pela grande parte do esterco não ter sido decomposto até o período da colheita.

O material orgânico também pode favorecer o crescimento da mamoneira pela melhoria das características físicas do solo, como aeração e retenção de água. No entanto, para surtir esses efeitos, o material o material precisa ser espalhado em toda a área e, se possível, incorporado ao solo. O nitrogênio também promove mudanças na expressão sexual da mamoneira, favorecendo o aumento de produtividade (SEVERINO et al., 2005). Moro (2008), avaliando adubação nitrogenada em mamona, concluiu que a produtividade de grãos foi incrementada em 25% a mais, pela aplicação de nitrogênio independente da forma de parcelamento e da fonte utilizada e que maior volatilização de NH_3 ocorreu na maior dose de nitrogênio (120 kg ha^{-1}).

A adubação nitrogenada aumentou a produtividade da mamoneira, quando se utilizaram as doses de máxima eficiência técnica e econômica, respectivamente, 84,3 e $76,6 \text{ kg ha}^{-1}$ de N., promovendo seu crescimento com doses de até 100 kg ha^{-1} (SCIVITTARO et al., 2008). A aplicação na mamoneira de doses maiores de adubação nitrogenada (120 e 180 kg ha^{-1}) favoreceu o aumento apenas da massa seca foliar, e, não diferiram significativamente, da testemunha, em função das condições de sombreamento em que as plantas foram submetidas durante o experimento, sendo assim, o crescimento vegetativo da testemunha provavelmente não foi devido a resposta ao tratamento, mas pode ter sido um estiolamento que resultou em uma não diferenciação dos tratamentos que receberam maiores doses de nitrogênio. (LIMA SILVA et al., 2008).

Baliza et al. (2007), observaram que quando as plantas foram cultivas na menor concentração de N (20 mg L^{-1}) seu crescimento foi drasticamente reduzido, apresentando sintomas visuais de deficiência de nitrogênio aos 20 dias da emergência, em relação a doses mais elevadas de 100 mg L^{-1} , indicando que o aumento deste nutriente, proporciona maior produção de tecido vegetal e de matéria seca. O N participa de diversos processos na planta, dentre eles a divisão celular e a constituição de tecidos (Taiz e Zeiger, 2011).

O nitrogênio também proporciona repostas quanto à ocorrência de doenças. No estudo dos efeitos de doses de Silício, Nitrogênio e Potássio, na incidência de doenças em tomate, verificou-se decréscimo na severidade de alternaria com o aumento das doses de nitrogênio. Concentrações altas de nitrogênio promove suculência de tecido foliar criando condições à ocorrência deste patógeno Santos (2008). Leite et al. (2003), constataram que doses mais altas de N, proporcionaram ao tomateiro, maiores áreas de folha, maior incremento de flores por cacho e maior ataque de traça favorecido por estas doses.

2.4. Dinâmica do nitrogênio no solo

A disponibilidade de N para as culturas em dependerá da dinâmica de decomposição da matéria orgânica e dos resíduos vegetais na superfície do solo, e às transformações microbiológicas por que passa no solo, o nitrogênio está sujeito a perdas por lixiviação, volatilização e desnitrificação, constituindo-se, na forma de NO_3^- , quando em excesso, um eventual poluente de mananciais d'água (LOPES et al., 2005). Assim, as diferentes formas de N orgânico e inorgânico do solo estão em equilíbrio dinâmico, de modo que seu comportamento é muito complexo (SÁ, 1997; OLIVEIRA et al., 2002).

Para que o nitrogênio seja disponibilizado e assimilado pelos vegetais, suas formas orgânicas precisam ser mineralizadas, e este processo de mineralização é feito por bactérias amonificantes transformam o N orgânico em N amoniacal e posteriormente as bactérias nitrificantes transformam o N amoniacal em N nítrico (MARSCHNER, 1995), esta nitrificação ocorre em duas etapas, a nitritação (transformação de amônio em nitrito, por bactérias do gênero *Nitrossomonas*) e nitratação (transformação de nitrito a nitrato, por bactérias do gênero *Nitrobacter*) e é influenciado por diversos fatores, entre os quais se destacam a aeração, temperatura, umidade, pH, matéria orgânica e relação C/N, além de fatores tóxicos (Moreira e Siqueira, 2006), ou, reações bioquímicas de desaminação, em que libera N na forma de amônio (NH_4^+), a qual pode ser oxidada a NO_3^- pela ação de bactérias nitrificadoras (AITA; GIACOMINI, 2007), e assim, o N é encontrado, principalmente, nas formas de nitrato e amônio na solução do solo, sendo a forma de nitrato a mais disponível para as plantas (MARSCHNER, 1995).

No solo pode ocorrer perdas de nitrogênio por lixiviação de nitrato podendo infiltrar e contaminar o lençol freático (MARSCHNER, 1995), por imobilização microbiana do N contido no fertilizante, por volatilização que consiste na redução de formas oxidadas (N- NO_2^- e N- NO_3^-) a formas gasosas (N_2 e N_2O), intermediada por bactérias anaeróbias facultativas (MOREIRA; SIQUEIRA, 2006). Por outro lado, a maioria das plantas assimila preferencialmente o N- NO_3^- (MARSCHNER, 1995). Sendo a disponibilidade de N- NO_3^- dependente da nitrificação biológica, a capacidade nitrificadora é um bom indicador de fertilidade de solo (MOREIRA; SIQUEIRA, 2006; SÁ et al., 2007).

As perdas gasosas na forma de amônia (NH_3^+) e óxidos nitrosos (NO_2 , N_2O , NO) para a atmosfera pode chegar a 80% do adubo aplicado, ou seja, em casos extremos a

planta consegue absorver apenas 20% do adubo (OLIVEIRA, 2008), provoca a volatilização da amônia devido às mudanças no metabolismo do N da planta e também por meio da quebra de proteínas e aminoácidos (BOLOGNA, 2006), para minimizar os efeitos desse processo, recomenda-se o parcelamento da adubação nitrogenada (SILVA, 2007).

2.5. Silício

O Si é um micronutriente regulamentado pelo decreto nº 4954 de 2004 e atualizado pela instrução normativa nº 5 de 23 de fevereiro de 2007 (BRASIL, 2004).

Ele é considerado elemento benéfico (MALAVOLTA, 1980; EPSTEIN, 1999; KORNDÖRFER, 2006). Dessa forma, o efeito benéfico do silício nas plantas é mais evidente em cultivos sob condições de estresse (MA; TAKAHASHI, 2002). Isto acontece porque o Si é capaz de proteger as plantas contra vários estresses bióticos e abióticos (FAWE et al., 2001; LUX et al., 2002; MA; YAMAJI, 2006).

No solo o Si ocorre principalmente como mineral inerte das areias, quartzo (SiO_2 puro), caulinita, micas, feldspato e em outros argilo-minerais silicatados, sendo o óxido de silício (SiO_2) o mineral primário mais abundante nos solos, constituindo a base da estrutura da maioria dos argilo-minerais (BARBOSA FILHO et al., 2001).

As principais formas de Si no solo de acordo com Korndörfer et al. (2003) são:

- Si solúvel (H_4SiO_4 Ácido monossilícico) facilmente aproveitável pelas plantas;
- Si estrutural em minerais silicatados;
- Si adsorvido ou precipitado com óxidos de Fe, Al e Mn;
- Sílica biogênica oriunda da decomposição da matéria orgânica do solo e constituída por formas amorfas (ou poliméricas de Si).

O Si no solo na forma solúvel H_4SiO_4 (ácido monossilícico) é facilmente absorvido pelas plantas (KORNDÖRFER et al., 2003). Ao ser absorvido, é facilmente translocado no xilema na forma H_4SiO_4 , tem tendência natural a se polimerizar sendo assim pouco móvel, pois depois de solidificado, torna-se imóvel na planta. A absorção de Si traz inúmeros benefícios, principalmente ao arroz, que absorve e acumula elevadas quantidades (2,7–8,4%) (KORNDÖRFER et al., 1999).

As principais formas de Si presentes no solo são o ácido monossilícico (H_4SiO_4), ácido polissilícico, compostos organosilícicos, óxidos de ferro e alumínio e nos minerais silicatados, e na planta, o ácido monossilícico, sílica amorfa hidratada- $\text{SiO}_2\text{nH}_2\text{O}^-$ (Bezerra

Neto e Barreto, 2011) disponível na solução do solo, e através de transportadores se acumula principalmente na parte aérea, junto à cutícula (tricomas, espinhos, pelos, etc) (KORNDÖRFER, 2007), depositado como sílica amorfa hidratada principalmente no retículo endoplasmático, em espaços intercelulares e paredes celulares, protegendo-a das enzimas de degradação (TAIZ e ZEIGER, 2011).

Em 1840, Justius Von Liebig, pai da Nutrição Mineral de Plantas, o primeiro cientista a sugerir o uso de silicato de sódio, como fertilizante silicatado, e a conduzir um trabalho de pesquisa com o elemento em casa-de-vegetação. De acordo com Rodrigues et al. (2007), anteriormente, o Si era fornecido para as plantas somente via uso de escórias de siderurgia na forma de silicatos de cálcio e magnésio, com baixíssima solubilidade em água e podendo apresentar traços de metais pesados. O silicato de potássio é originário da fusão em alta temperatura e pressão da sílica (quartzo finamente moído) com hidróxido de potássio e, ou, carbonato de potássio. No mercado existem diferentes silicatos de potássio com diferentes garantias de potássio (K) e Si, no entanto, de maneira geral, são produtos totalmente solúveis em água de alto pH, densos ($d= 1,4 \text{ g cm}^{-3}$) com teores médios de K_2O de 10 a 15% e Si de 10 a 12,2%.

A essencialidade do silício é ponderada por Bezerra Neto e Barreto (2011), no sentido em que ainda não foi demonstrada, mesmo com a utilização de técnicas, como o cultivo hidropônico de plantas, entretanto, alguns autores mostram que principalmente para gramíneas o Si é benéfico, pois, melhora a arquitetura de planta, impede a toxidez provocada pelo excesso de Mn, diminui a taxa de transpiração, aumenta a atividade fotossintética e a resistência das plantas às pragas e doenças.

Lima Filho (2013) observa que essa essencialidade foi comprovada apenas para algumas espécies, falhando-se em descrever o mecanismo de ação deste elemento, o que faz com que a maioria dos autores o considere apenas como elemento benéfico, o que o incluiu na lista dos micronutrientes. Os conceitos de essencialidade de minerais para as plantas, estabelecidos há 65 anos, levam em conta o fato de que a deficiência do elemento torna impossível para a planta completar a fase vegetativa ou reprodutiva do seu ciclo de vida, de que a deficiência do elemento é específica, sendo impedida ou corrigida com o fornecimento deste elemento e que o elemento está diretamente relacionado com a nutrição da planta, não levando em conta os possíveis efeitos na correção de quaisquer condições químicas ou microbiológicas do solo ou outro meio de cultura.

Pode-se entender a essencialidade do silício a partir de uma situação em que a concentração do ácido silícico estiver abaixo de um limite crítico na solução do solo e, consequentemente na planta, estiver provocando mudanças bioquímicas, como, a diminuição de sua resistência a fatores estressantes, bióticos ou abióticos, ou seja, causados por desequilíbrio nutricionais, doenças fúngicas, pragas e condições climáticas adversas. O Silício é considerado essencial para as plantas por alguns autores (Epstein e Bloom, 2006), benéfico por proporcionar resultados positivos no que diz respeito ao manejo alternativo de pragas e doenças (Korndorfer, 2006), absorvido do solo na forma de ácido silícico, é depositado na parede celular podendo trazer efeitos benéficos para as plantas (Epstein 2001).

De acordo com Lima Filho (2013), o silício exerce um papel importante nas relações planta-ambiente, pois pode produzir melhor adaptações ás condições climáticas, edáficas e biológicas. Pode reduzir a susceptibilidade à doenças causadas por fungos, por meio da formação de barreiras mecânicas, por sua acumulação na epiderme das folhas, produzindo células epidérmicas mais grossas e um grau maior de silicificação, semelhante ao da lignina, que é um componente estrutural resistente à compressão; pode ativar genes da produção de compostos do metabolismo de defesa das plantas, como polifenóis e enzimas; da síntese de toxinas que podem agir como substâncias inibidoras ou repelentes ao ataque de parasitas.

Alguns exemplos de doenças que encontram resistência do hospedeiro com a suplementação de silício incluem bruzone e mancha parda em arroz, cancro-da-haste em soja, oídio em trigo, soja, cevada, pepineiro e tomateiro, rizoctoniose em arroz e sorgo, cercosporiose em cafeeiro, dentre outras. Além desses aspectos, seu uso proporciona aumentar a produtividade através de uma nutrição mais equilibrada e sustentável, com a diminuição de fertilizantes químicos.

Analizando-se alguns estudos, observa-se que a acumulação de SiO_2 nas células da epiderme foliar aumentam a resistência mecânica dos tecidos à brusone e a insetos praga, aumenta o teor de clorofila das folhas e a tolerância das plantas aos estresses ambientais como frio, calor, seca, o desbalanço nutricional, toxicidade a metais, além de reforçar a parede celular e aumentar a resistência contra patógenos e insetos (MARSCHNER, 1995; EPSTEIN, 2001), podendo aumentar a produtividade de algumas espécies, e potencializar processos fisiológicos nas plantas (KORNDÖRFER et al.,1999),

aumentar a fitomassa, a qualidade e a produtividade de grãos de arroz irrigado e contribui para o manejo sustentável de brusone e de insetos-praga (SANTOS et al., 2007).

Gomes et al. (2005) sugeriram que o silício atua como elicitador do mecanismo de resistência induzida em plantas de trigo, que são as mudanças fisiológicas e morfológicas que as plantas podem apresentar em respostas induzidas à herbivoria ou outro tipo de estresse, que reduzem a sobrevivência do herbívoro, sua reprodução ou preferência pela planta hospedeira, ocorre a resistência induzida (KARBAN; MYERS 1989). Nesse aspecto, Camargo et al. (2008), verificaram resistência induzida quanto à aplicação do ácido silícico em *Pinus taeda* induzindo resistência ao pulgão-gigante-do-pinus *C. atlantica*, com efeitos expressivos na fase adulta do inseto.

Do mesmo modo, Goussain et al. (2002), observaram que a aplicação de silicato de sódio aumentou significativamente o teor de silício nas folhas de plantas de milho, que atingiu 1,4% de SiO_2 , enquanto na testemunha (sem silício) foi de 1,0%, o que dificultou a alimentação das lagartas, causando aumento de mortalidade e canibalismo e, portanto, tornando as plantas de milho mais resistentes à lagarta-do-cartucho.

Avaliando o mecanismo de indução à resistência bioquímica em batatas, Gomes et al. (2008), observou que a lignina foi mais afetada que os taninos, visto que o teor destes só aumentaram nas plantas adubadas com silício via solo e foliar, provavelmente pela maior quantidade de silício fornecida para essas plantas. Já o teor de lignina aumentou nas plantas adubadas com silício independentemente da forma de aplicação, podendo ter contribuído para as reduções da taxa de crescimento populacional e da fecundidade dos pulgões.

Estes pesquisadores citando outros trabalhos observam que a lignina é um polímero complexo depositado na parede celular e responsável pelo enrijecimento da parede e pelo aumento da resistência ao ataque de agentes externos (STRACK, 1997), a lignificação das células estabelece uma barreira mecânica à penetração, tornando a parede celular mais resistente ao ataque de enzimas hidrolíticas e aumentando sua resistência à difusão de toxinas (RIDE, 1978), que dentre os mecanismos de resistência de plantas a insetos, a antixenose e a antibiose, podem ser independentes ou não, atuando de forma diferenciada na planta e no inseto (THOMPSON 1988, TIFFIN, 2000).

Rodrigues et al. (2007), avaliando o efeito da aplicação de Si foliar sobre a ferrugem asiática na soja, observou que a aplicação de Si dificulta o início do processo de infecção, devido sua deposição sobre a superfície das folhas formando uma barreira

protetora contra a penetração do fungo no tecido vegetal. Após essa ocorrência, somente com a aplicação de fungicidas se tem um controle mais eficaz. Sendo assim, que o efeito do Si é indireto sobre a requeima. Do mesmo modo, Rodrigues et al. (2007), avaliando o efeito da aplicação de doses de Si foliar e de fungicidas sobre a severidade de requeima, canela preta e sarna da batatinha e suas correlações com os teores de Si foliar, concluíram que a aplicação de Si (0,5% de Si) pode auxiliar no controle de requeima e sarna da batata, no entanto, há interação desse nutriente com os fungicidas e que deve ser melhor avaliado em futuros trabalhos

Através de Pesquisas realizadas por Epstein e Bloom (2006), o Si auxilia controle alternativa de doenças através de dois mecanismos, físico e bioquímico. O mecanismo físico já é bem esclarecido pela literatura onde a deposição de sílica em superfície dificulta o processo de infecção do fitopatógeno. O mecanismo bioquímico ainda não é bem elucidado os processos, no entanto plantas adubadas com Si apresentam maiores concentrações de compostos naturais de defesa como os compostos fenólicos.

Farias (2012), avaliando o crescimento do algodoeiro herbáceo (*Gossypium hirsutum* L. raça *latifolium* Hutch.), cultivar BRS 8H, sob efeito de quatro doses crescentes de silício (0; 40; 80 e 120 g L⁻¹), concluiu que a aplicação foliar de silício promoveu o crescimento apenas em altura, nas concentrações de até 80 g L⁻¹, Entretanto, verificou-se um aumento expressivo nos teores de clorofila total da planta, não interferindo na atividade da enzima peroxidase. Pilon (2011) observou que o fornecimento de Si, via solo e foliar aumentou o teor de Si e a produtividade de tubérculos da cultura da batata sob deficiência hídrica.

2.6. Interação do silício e nitrogênio

O uso de cultivares com alto potencial reprodutivo tem induzido a aplicação mais intensa de fertilizantes, entre os quais o nitrogênio. No entanto, a utilização de doses cada vez mais elevadas deste elemento, para aumentar a produtividade, promove elevado desenvolvimento vegetativo, o que causa acamamento de plantas e interfere negativamente na produtividade e na qualidade dos grãos (BUZETTI et al., 2006). O problema de acamamento pode ser minimizado pelo fornecimento de silício para as plantas (KORNDÖRFER et al., 2003).

A aplicação de altas doses de N pode favorecer a incidência elevada de doenças fúngicas. O silício, ao ser absorvido, deposita-se nas folhas, nos tecidos da epiderme, logo abaixo da cutícula, precisamente nas paredes mais externas (AGARIE et al., 1998). Assim, a aplicação de silício confere resistência mecânica à penetração das hifas (BARBOSA FILHO et al., 2001) e, desta forma, diminui o ataque de doenças. Por outro lado, trabalhos como os de Mauad et al. (2003), Baliza et al. (2007) e Fallah (2008), mostram que a aplicação de doses de N interfere no teor de Si na planta e que, quando a adubação nitrogenada é baixa, os teores de Si na planta promovem aumentos mais pronunciados, quando comparados com as doses mais elevadas de N.

O silício estimula o aproveitamento do N, a arquitetura da planta favorecendo maior e melhor aproveitamento da luz, resultando da menor abertura do ângulo foliar, que torna as folhas mais eretas, diminuindo o auto-sombreamento, sobretudo em condições de altas densidades populacionais e altas doses de N (DEREN et al., 1994), melhora a interceptação da luz solar, portanto, da fotossíntese, devido à melhor arquitetura das plantas supridas com uma grande quantidade de Si (RAVEN, 1983). Em função de uma camada dupla de sílica formada abaixo da cutícula, em decorrência da adubação silicatada, as plantas mantêm as folhas mais eretas, promovendo maior aproveitamento da luz (YOSHIDA et al., 1969).

Uma das consequências desse efeito seria um aumento da taxa fotossintética em tais plantas, proporcionando um aumento da produção de poder redutor e, consequentemente, uma maior capacidade de assimilação de nitrogênio pelas plantas. BALIZA et al. (2007), avaliando o efeito da interação Si-N, concluíram que o fornecimento de Si não interferiu na produção de matéria seca e nem nos acúmulos de N nos tecidos das plantas de arroz, mas aumentou o número de panículas e a percentagem de perfilhos férteis do arroz. A adubação com nitrogênio na presença de adubação silicatada promove aumento de produtividade no cultivo de arroz (SAVANT et al., 1997).

Santos et al. (2003), avaliando a severidade da brusone em arroz, observaram que a aplicação do N em doses parceladas de 70 kg ha^{-1} , aos 40 e 70 dias após a emergência, reduziu esta incidência e aumentou a produtividade, enquanto que, com doses altas (100 kg ha^{-1}) numa só aplicação, aumenta a severidade desta doença. A alta concentração de nitrogênio reduz a produção de compostos fenólicos e de lignina nas folhas, diminuindo a resistência aos patógenos; o nitrogênio aumenta a concentração de aminoácidos e amidas,

no apoplasto e superfície foliar, que têm maior influência do que os açúcares no crescimento dos conídeos, favorecendo as doenças fúngicas (MARSCHNER, 1986).

Adubações nitrogenadas em excesso podem reduzir o teor de Si nas plantas e o número de células epidérmicas silicatadas devido ao efeito de diluição desse elemento propiciado pelo maior crescimento das plantas (SANTOS et al., 2007; MAUAD et al., 2003), diminuir a acumulação de sílica nas folhas mais novas, predispondo a planta à maior incidência de bruzone na panícula (BARBOSA FILHO et al., 2000).

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1. Localização e caracterização do experimento

O experimento foi conduzido durante os meses de abril e agosto de 2012 em casa de vegetação no Centro Nacional de Pesquisa de Algodão - Embrapa Algodão, em Campina Grande-PB (Figura 1).



Figura 1. Vista parcial do experimento em casa de vegetação. Embrapa Algodão, Campina Grande-PB, 2012.

Localizada na microrregião da Serra da Borborema Paraibana, situando-se a uma altitude de 551 m de altitude, com clima Aw (tropical chuvoso) segundo a classificação de Köppen, com temperatura média anual de 28,6°C e mínima de 19,5°C. Os dados climatológicos referentes à temperatura, umidade e precipitação pluvial para o período de execução do experimento são representados na Figura 2.

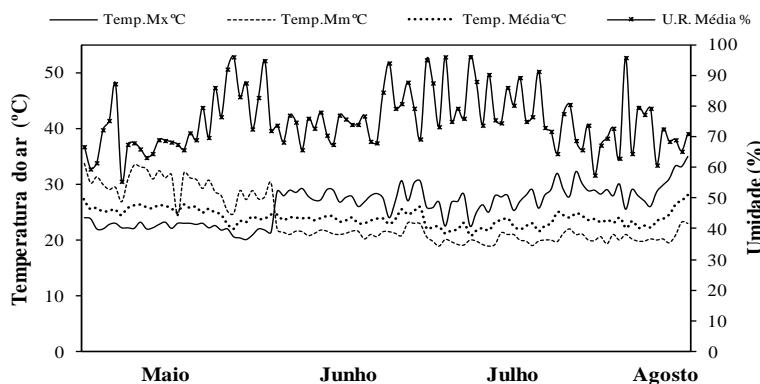


Figura 2. Temperatura Máxima (Temp. Max.), Média (Temp. Méd.), Mínima (Temp. mín.) °C e Umidade relativa (UR %), durante o período de condução do experimento. Fonte: Estação climatológica da Embrapa Algodão, Campina Grande-PB, 2012.

Para realização do trabalho foi utilizado um material de solo classificado como Neossolo Regolítico, de textura franco-arenosa, de acordo com a classificação da Embrapa Solos (2009), proveniente da Estação Experimental da Empresa de Pesquisa Agropecuária

(EMEPA), localizada no município de Lagoa Seca-PB, coletado a uma profundidade de 0-30 cm correspondente à camada arável. Esse solo foi proveniente de áreas utilizada pela Embrapa Algodão para desenvolver suas pesquisas com a cultura da mamoneira. Uma amostra de solo composta foi coletada e enviada para o Laboratório de Química e Fertilidade do solo da Embrapa Algodão, onde foi destorroada, seca ao ar e passada em peneira de malha de 2 mm para caracterização química e física (Tabela 1), conforme (EMBRAPA, 2009).

Tabela 1. Características químicas do solo utilizado no experimento, realizado na Embrapa-Algodão, Campina Grande-PB, 2012.

Determinações								
pH	P	K	Na ⁺	H+Al ⁺³	Al ⁺³	Ca ⁺²	Mg ⁺²	M.O
H ₂ O	mg dm ⁻³	-----	-----	cmolc/dm ³	-----	-----	-----	g/kg
4,98	0,69	0,02	0,08	0,60	0,08	0,80	0,84	3,8

Com base no resultado da análise de solo, foi realizada a calagem do solo com aplicação de calcário dolomítico para correção do pH. O solo foi incubado por um período de 30 dias com umidade ao nível de 80% da capacidade de campo para que houvesse a reação do calcário. Após o período de incubação, foi realizada uma adubação de fundação com P e K, utilizando-se o superfosfato triplo (111,11 kg ha⁻¹) e cloreto de potássio (83,33 kg ha⁻¹) respectivamente, sendo as quantidades aplicadas de acordo com a recomendação baseada no resultado da análise do solo.

Os tratos culturais relacionados ao controle de pragas e doenças foram realizados de acordo com as recomendações feitas para o cultivo convencional da mamoneira (EMBRAPA, 2007).

3.2. Delineamento experimental

Os tratamentos (Tabela 2), foram distribuídos num delineamento de blocos casualizados, para se adaptar melhor às condições desuniformes de temperatura e luminosidade da casa de vegetação, com arranjo fatorial 4x4, sendo quatro doses de silício (00, 80, 160 e 240 mg L⁻¹) em pulverização foliar, e quatro doses de nitrogênio (00, 60,

120 e 180 kg ha⁻¹) aplicadas no solo, com quatro repetições, totalizando 64 unidades experimentais.

Utilizou-se o produto comercial Sifol® Diatom como fonte de silício líquido, contendo 12% de Si (168 g L⁻¹) (SIFOL-DIATON, 2013). Como fonte de nitrogênio, utilizou-se a ureia com 45% de N. Os tratamentos foram aplicados em duas vezes, sendo a primeira após o desbaste, e a segunda, 15 dias após a primeira.

Cada unidade experimental foi composta um vaso de 60 L e uma planta, pintado na cor prata fosco, a fim de refletir os raios solares. Na base do vaso, foi colocada uma camada de 3 cm de brita, previamente lavada com água corrente, em seguida, os vasos foram preenchidos com o solo.

Foram semeadas cinco sementes de mamoneira BRS Energia tratadas com fungicida, a uma profundidade de 3 cm. Após 15 dias da emergência foi realizado o desbaste, deixando-se apenas uma planta por vaso.

Tabela 2. Distribuição dos tratamentos utilizados na experimentação.

Tratamentos	Doses	
	Nitrogênio (kg ha ⁻¹)	Silício (mg L ⁻¹)
T1	0,0	0,0
T2	0,0	80
T3	0,0	160
T4	0,0	240
T5	60	0,0
T6	60	80
T7	60	160
T8	60	240
T9	120	0,0
T10	120	80
T11	120	160
T12	120	240
T13	240	0,0
T14	240	80
T15	240	160
T16	240	240

3.3. Variáveis analisadas

No final do experimento (aos 120 DAE- dias após a emergência) foram tomados dados de altura da planta (ALT), diâmetro do caule (DC) e área foliar (AF), bem como

dados de peso de matéria seca da parte aérea e da raiz. Para determinação da área foliar foi utilizada uma régua milimetrada, medindo-se o comprimento e a largura da folha, aplicando-se os valores à fórmula: $S = 0,2439 \times (P + T)^{2,0898}$ de acordo com Severino et al. (2004), onde:

S = área foliar;

P = comprimento da nervura principal;

T = comprimento médio das nervuras laterais.

O diâmetro do caule foi medido na altura de 1 cm do solo com o auxílio de um paquímetro digital; a altura foi medida com uma régua milimetrada. No final do experimento, aos 120 dias a pós a emergência (DAE) da planta, foi efetuado o corte da parte aérea das plantas de cada vaso a 1 cm do solo, separando a planta em parte aérea (caule e folha) e raiz. Em seguida, o material vegetal foi lavado em água corrente, e, posteriormente, com água destilada, submetido a uma pré-secagem ainda na casa de vegetação e acondicionado em saco de papel perfurado. Para completar a secagem, o material foi levado a uma estufa de circulação forçada de ar, a 65°C, até peso constante, e depois pesado em balança analítica de precisão 0,01g para obtenção da massa da matéria seca. Depois de pesada, a matéria seca da parte aérea foi triturada em moinho tipo Wiley e mineralizada por digestão sulfúrica (TEDESCO et al., 1995) sendo o P dosado nos extratos por colorimetria (BRAGA; DEFELIPO, 1974).

Foi determinada a área foliar específica (AFE), que relaciona a superfície da folha com o peso da própria folha, significando a disponibilidade de área foliar em cada grama de folha, indicando a espessura foliar.

$$AFE = \frac{AF}{MF} (\text{dm}^2 \text{ g}^{-1}) \text{ onde: } AF = \text{área da folha; } MF = \text{massa seca da folha.}$$

Determinou-se a razão de área foliar (RAF), que é a relação entre área foliar específica e a massa da planta, isto é, representa área foliar disponível para ocorrer à fotossíntese na planta.

$$RAF = \frac{AF}{MP} (\text{dm}^2 \text{ g}^{-1}) \text{ onde: } AFE = \text{área da folha; } MP = \text{massa seca da planta.}$$

Também se determinou a razão de massa foliar (RMF), que é a fração de matéria seca produzida pela fotossíntese, não utilizada na respiração, nem exportada para outras

partes da planta, retida nas folhas; representa o quanto à planta investiu da sua produção via fotossíntese para as folhas. É um cálculo adimensional.

$$RMF = \frac{MF}{MP} \text{ onde:}$$

MF= massa seca da folha; MP= massa seca total da planta.

Taxas de crescimentos são medidas utilizadas para avaliar o crescimento de uma planta. Com os dados das avaliações de AP, DC e AF realizadas aos 120 DAS, foi possível o cálculo das taxas de crescimento absoluto e relativo para estas variáveis. Taxa de crescimento absoluto (TCA) representa o incremento em crescimento durante certo intervalo de tempo pré-determinado, sem levar em consideração ao material inicial existente que deu origem a esse ganho. É expressa em crescimento (área, volume, peso) por dia: ($\text{cm}^2 \text{ dia}^{-1}$; $\text{cm}^3 \text{ dia}^{-1}$ e g dia^{-1}).

$$TCA = \frac{V2 - V1}{T2 - T1} \text{ onde: } (V2 - V1) = \text{variável avaliada nos períodos 2 e 1};$$

$(T2 - T1)$ = o período de tempo constante entre uma e outra avaliação;

A taxa de crescimento relativo (TCR) é a medida mais adequada para avaliar o crescimento de uma planta. Representa a quantidade (área, volume, peso) de material vegetal produzido por determinada quantidade de material existente, durante um intervalo de tempo prefixado. É expressa em crescimento (área; volume; peso) por dia: ($\text{cm}^2 \text{ cm}^2 \text{ dia}^{-1}$; $\text{cm}^3 \text{ cm}^3 \text{ dia}^{-1}$; e, g g dia^{-1}).

$$TCR = \frac{\text{Log } V2 - \text{Log } V1}{T2 - T1} \text{ onde :}$$

$(\text{Log } V2 - \text{Log } V1)$ = logarítmico da variável avaliada nos períodos 2 e 1;

$(T2 - T1)$ = o período de tempo constante entre uma e outra avaliação.

Foi coletada uma folha do segundo terço médio da altura da planta de todos os tratamentos, aos 60 DAE, e enviadas para o laboratório de fisiologia da Embrapa Algodão, para determinar os teores de clorofila A, B e Total, seguindo-se a recomendação da Embrapa Algodão (2011).

A partir das amostras secas foliares de cada tratamento, coletadas aos 120 DAE, foram feitas determinações dos teores de P, K, Ca, Mg e S, através da digestão Nitro-Perclórica das folhas, e do teor foliar de nitrogênio, determinado pela digestão sulfúrica da amostras, todas realizadas no laboratório de Fisiologia da Embrapa Algodão.

As análises foliares para Fe, Zn e Mn, foram realizadas no Laboratório de Nutrição de Plantas da UFRPE-PE, cujas determinações foram feitas pela Espectrofotometria de Absorção Atômica. Para a determinação do Silício utilizou-se a Espectrofotometria do Azul de molibdênio, sugeridas pela metodologia da digestão Nitro-Perclórica, recomendada por Bezerra Neto e Barreto (2011).

3.4. Análise estatística

Os resultados foram submetidos à análise de variância, processados através do Sistema de Análise Estatística (SAS/STAT, 2008), sendo a significância determinada pelo teste “F”. Os fatores quantitativos foram submetidos às análises de regressão polinomial com o modelo de maior referência, e os seus valores foram ajustados à função linear e quadrática, conforme coeficiente de determinação, com apresentação em gráficos, utilizando-se o programa SIGMAPLOT (2008).

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. Alterações nos atributos químicos do solo

O resumo da análise de variância com os quadrados médios e suas respectivas significâncias pelo teste F a 5% de probabilidade, para os parâmetros da fertilidade do solo (fósforo, potássio, cálcio, magnésio e enxofre) estão apresentados na tabela 3. O teste F indicou significância a 1% de probabilidade apenas do fator nitrogênio sobre a variável, potássio (K). Entretanto, não se verificou efeito dos fatores isolados, e também, de sua interação sobre as demais variáveis estudadas.

Segundo Marschner (1995), após o nitrogênio, o potássio é um nutriente mineral retirado em grandes quantidades pelas plantas, participando de várias funções importantes no processo de crescimento e desenvolvimento vegetal, sendo de acordo com Mengel; Kyrkby (2001) o cátion mais importante nos processos fisiológicos das plantas, não só por sua concentração nos tecidos vegetais, mas também pelas funções bioquímicas.

Tabela 3. Resumo das análises de variância e respectivos quadrados médios, para macronutrientes do solo, fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca), manganês (Mn) e enxofre (S) em plantas de mamoneira cv. BRS Energia. Campina Grande, PB, 2012.

Fonte de Variação	GL	Quadrados Médios				
		P	K	Ca	Mg	S
Bloco	3	318,15	0,140	38,84	3,41	69,05
N	3	89,11 ^{ns}	1,620 ^{**}	3,67 ^{ns}	2,84 ^{ns}	24,16 ^{ns}
Si	3	73,30 ^{ns}	0,490 ^{ns}	3,75 ^{ns}	4,06 ^{ns}	40,23 ^{ns}
N x Si	9	52,45 ^{ns}	0,160 ^{ns}	2,64 ^{ns}	1,54 ^{ns}	15,98 ^{ns}
Contrastes						
N Linear	1	64,35 ^{ns}	3,850 ^{**}	6,52 ^{ns}	1,35 ^{ns}	25,20 ^{ns}
N Quadrático	1	109,98 ^{ns}	0,921 ^{ns}	3,37 ^{ns}	2,56 ^{ns}	20,02 ^{ns}
Si Linear	1	2,90 ^{ns}	1,310 ^{ns}	7E-3 ^{ns}	1,03 ^{ns}	0,52 ^{ns}
Si Quadrático	1	122,93 ^{ns}	0,110 ^{ns}	9,68 ^{ns}	7,84 ^{ns}	96,53 ^{ns}
N Linear x Si Linear	1	0,84 ^{ns}	0,990 ^{ns}	0,58 ^{ns}	3,08 ^{ns}	0,42 ^{ns}
Resíduo	45	106,91	0,217	4,55	2,96	20,25
CV (%)		36,59	39,44	21,32	29,68	20,88
Média Geral (unidade)		28,25	1,18	10,01	5,8	21,54

GL- Grau de liberdade; ns - não significativo; ** e *, significativo a 1 e a 5% de probabilidade, respectivamente, pelo teste F.

De acordo com a figura 3, é possível observar que houve ajuste polinomial com efeito linear com elevado coeficiente de determinação das doses de nitrogênio sobre o teor

de potássio no solo. Verifica-se que o aumento das doses de N influenciaram negativamente sobre os teores de K no solo, observando-se menor teor de K no solo, quando se aplicou a maior dose de N (180 kg ha^{-1}). Para Rosolem (2005), a interação entre íons pode ocorrer em diferentes momentos e locais quando se considera o sistema solo-planta. Dessa forma, pode ocorrer no solo, considerando-se as diversas formas de equilíbrio e de transporte do íon, seja na rizosfera, nas membranas ou dentro da planta.

Nesse sentido, é fundamental que se conheça a dinâmica do nutriente no solo e na planta, a fim de se entender melhor as interações e aperfeiçoar o uso dos fertilizantes. Conhecer sobre a interação existente entre o potássio e o nitrogênio no solo é de fundamental importância para a produção agrícola, pois o fornecimento de forma equilibrada desses elementos pode proporcionar máxima eficiência na utilização do nitrogênio pelas plantas.

Cherney et al. (2004), estudando a interação entre o nitrogênio e o potássio durante cinco anos com o capim *Phalaris arundinacea* sem, verificaram que a fertilização com esses nutrientes não causou efeitos significativos na distribuição dos nutrientes no perfil do solo, exceto o potássio, cuja disponibilidade foi acentuadamente reduzida após vários anos de cultivo com apenas a presença do nitrogênio no programa de adubação. Segundo Büll (1993), a interação entre o nitrogênio e o potássio obedece a lei do Mínimo, pois quando o nitrogênio é aplicado em quantidade suficiente para haver elevação da produção, essa passa a ser limitada pelos baixos teores de potássio disponíveis ao solo.

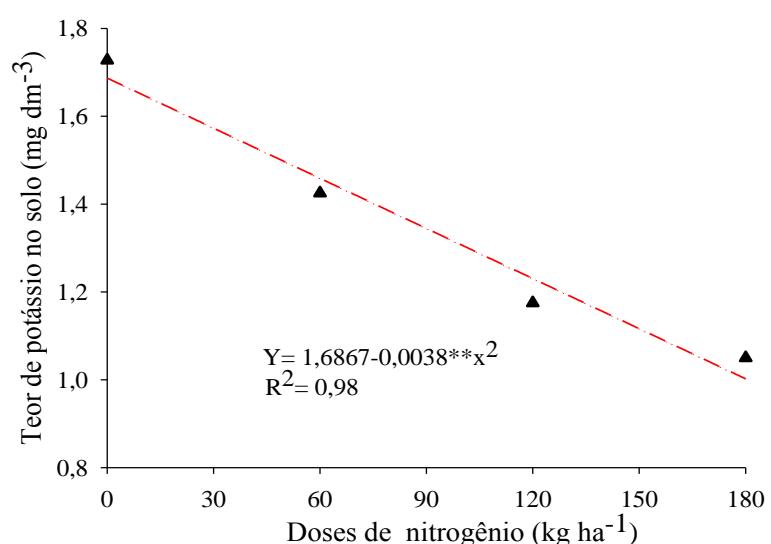


Figura 3. Teor de Potássio no solo cultivado com mamoneira cv. BRS Energia, em resposta a doses de N. Embrapa Algodão, Campina Grande-PB, 2012.

4.2. Análise de Crescimento

4.2.1. Altura de plantas, diâmetro de caule, número de folhas e área foliar.

O resumo da análise de variância com os respectivos quadrados médios das variáveis, altura de plantas, diâmetro caudilar, número de folhas e área foliar são apresentados na tabela 4. De acordo com o resumo da ANOVA, não houve efeito significativo para a interação entre os fatores nitrogênio e silício sobre nenhuma das variáveis estudadas. Mauad et al. (2003) estudaram os efeitos da adubação nitrogenada e silicatada sobre a cultivar de arroz IAC 201, e verificaram que houve redução do número de espiguetas chochas e aumento da massa de 100 grãos, quando se utilizou o silício na maior dose de nitrogênio.

Tabela 4. Resumo das análises de variância e respectivos quadrados médios, para os componentes de crescimento, altura de planta (ALT), número de folhas (NF), diâmetro caudilar (DIA) e área foliar (AFO) em plantas de mamoneira cv. BRS Energia. Campina Grande, PB, 2012.

Fonte de Variação	GL	Quadrados Médios			
		ALT	DIA	NF	AFO
Bloco	3	2038,23 ^{**}	17,64 ^{**}	16,84 ^{ns}	16,12 ^{ns}
N	3	75,63 ^{ns}	12,02 ^{**}	41,28 ^{**}	121,33 ^{**}
Sil	3	158,02 ^{ns}	10,43 [*]	5,10 ^{ns}	7,41 ^{ns}
N x Sil	9	143,86 ^{ns}	4,46 ^{ns}	8,23 ^{ns}	3,774 ^{ns}
Contrastes					
N Linear	1	226,65 ^{ns}	9,48 ^{ns}	0,69 ^{ns}	50,73 ^{ns}
N Quad.	1	96,17 ^{**}	19,80 ^{ns}	0,33 ^{ns}	27,69 ^{**}
Sil Lin.	1	68,13 ^{ns}	7,18 ^{**}	0,03 ^{ns}	4,372 ^{ns}
Sil Quad.	1	2,38 ^{ns}	1,33 ^{**}	5,94 ^{ns}	9,533 ^{ns}
NL x SiL	1	11,16 ^{ns}	1,19 ^{ns}	4,63 ^{ns}	1,242 ^{ns}
Resíduo	45	170,70	3,07	8,18	943616,7
CV (%)		19,27	10,21	45,00	51,64
M. Geral (unidade)		67,81	17,17	6,35	1881,21

GL - Grau de liberdade; ns - não significativo; ^{**} e, ^{*} significativo a 1 e a 5% de probabilidade, respectivamente, pelo teste F.

Do mesmo modo, a análise dos fatores (N e Si) isolados não apresentou efeito significativo para a variável altura da planta. Severino et al. (2004) e Mateus et al. (2009) trabalhando com doses de nitrogênio na cultura da mamoneira observaram efeito significativo sobre o crescimento da planta em diâmetro caudilar. No entanto, esses

resultados diferem dos encontrados por Silva et al. (2007) que trabalhando com diferentes doses de nitrogênio em mamoneira, verificaram efeito significativo sobre a variável altura de plantas, com ajuste quadrático.

Entretanto, observou-se diferenças para efeitos isolados das doses de N referentes às variáveis, diâmetro caulinar, número de folhas e área foliar, ajustando-se ao modelo quadrático com elevados coeficientes de determinação. Quanto ao silício, comportamento semelhante foi observado para o diâmetro caulinar em função das doses de silício, com ajuste ao modelo linear com elevado coeficiente de determinação (Figuras 4A e 4B).

Houve efeito significativo das doses de N sobre a variável, diâmetro caulinar, com ajuste ao modelo polinomial quadrático, verificando-se aumento para essa variável com o incremento das doses de N, com diâmetro máximo de 17,25 mm, obtida com a dose observada de 109,50 kg ha⁻¹, indicando assim, uma resposta positiva desta variável quanto à nutrição com nitrogênio (Figura 4A).

Dinis Neto et al. (2012) e Sofiatti et al. (2010) trabalhando com adubação nitrogenada na cultura da mamoneira, verificaram aumento no diâmetro caulinar de 79,86 mm e 85,34 mm, respectivamente às doses de 40 e 60 kg ha⁻¹ de N. Pesquisa realizada por Silva et al. (2011) com a cultivar BRS Nordestina utilizando o N em cobertura, verificaram diâmetro caulinar de 159 mm quando se utilizou a dose de 30 kg ha⁻¹ de N. Resultados semelhantes foram observados por Severino et al. (2006) em trabalho com essa mesma cultivar, obtendo diâmetro caulinar 23% maior nas plantas que receberam 50 kg ha⁻¹ de N, em relação a testemunha.

Avaliações de crescimento observadas por Severino et al. (2005), revelaram que a altura e o diâmetro do caule das plantas é muito influenciada por adubações nitrogenadas, e que devido o excessivo crescimento vegetativo, o diâmetro do caule atingiu uma altura média de 40 mm. O N participa de diversos processos na planta, dentre eles a divisão celular e a constituição de tecidos (TAIZ e ZEIGER, 2004).

Possivelmente os efeitos do N sobre o incremento do diâmetro do caulinar de plantas de mamoneira ocorreram devido ao fato de que esse nutriente desempenha função estrutural, participando como constituinte de proteínas, enzimas, ácidos nucléicos, citocromos, moléculas de clorofila, membranas promovendo assim o crescimento vegetativo (MARSCHNER, 2012; SOUZA; FERNANDES, 2006). A falta de N impede o crescimento inicial por impossibilidade de incorporar carbono, pois à medida que a planta cresce, aumenta a demanda de N para formar maior quantidade de clorofila, maior

quantidade de Rubisco, ou até mesmo limita a regeneração da Rubisco existente (SANTOS et al., 2004).

A adubação silicatada foliar proporcionou aumento significativo do diâmetro caulinar, com os dados ajustados a função quadrática, ocorrendo incremento no diâmetro caulinar, sendo o maior valor observado (17,45 mm) em função da maior dose de Si aplicada. Esse aumento linear do diâmetro caulinar indica que a maior dose utilizada (240 mg L⁻¹) não foi suficiente para atingir o ponto máximo do crescimento caulinar (19,831mm) com a dose de 690,0 mg L⁻¹ de Si (Figura 4B). Nas plantas, a função do elemento está relacionada, sobretudo, ao aspecto estrutural. O Si se deposita na parede celular dos órgãos de transpiração, formando uma dupla camada protetora de sílica-cutícula e sílica-celulose. Maiores concentrações de Si podem ser encontradas em tecidos suportes do caule e das folhas, e também nos grãos, em baixa concentração (MAYAMAJI, 2006).

Trabalhando com mudas de maracujazeiro, Prado e Natale (2004) constataram que a aplicação de silicato de cálcio aumentou a altura, o diâmetro caulinar e a produção de massa seca das plantas. De acordo com Guimarães et al. (2009), o diâmetro caulinar é uma característica importante, uma vez que, quanto maior o diâmetro, maior será o vigor e a resistência da planta. Para Carneiro (1978), o diâmetro está diretamente relacionado ao crescimento do sistema radicular, assim, espera-se que plantas que apresentam maior diâmetro caulinar, possam apresentar maior porte, e com nutrição adequada, devido ao maior volume de solo explorado pelas raízes.

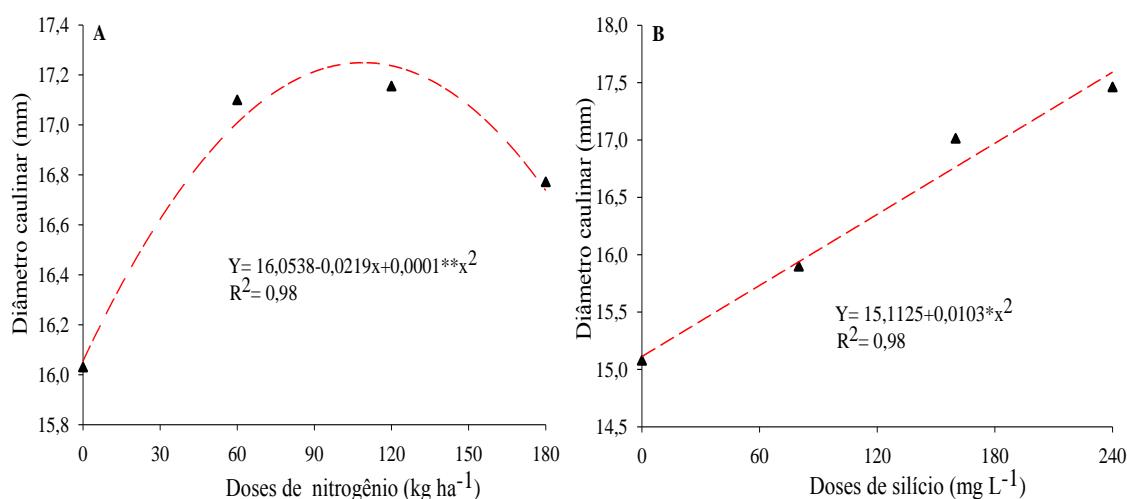


Figura 4. Diâmetro caulinar em plantas de mamoneira cv. BRS Energia, em resposta a doses de N (A) e de Si (B). Embrapa Algodão, Campina Grande-PB, 2012.

Os valores para o número de folhas de plantas de mamoneira cv. BRS Energia, em resposta a diferentes concentrações de N (Figura 5A), ajustaram-se ao modelo quadrático de regressão, com aumento de seu número quando do incremento das concentrações de nitrogênio até o máximo de 126,7 kg ha⁻¹. As folhas são fisiologicamente consideradas como fontes de energia para as plantas, uma vez que as mesmas são responsáveis pela atividade fotossintética, no entanto, o número de folhas presentes em uma planta nem sempre é tão importante, mas sim a área foliar que essa planta apresenta, e, sobretudo, a área fotossinteticamente ativa. Segundo Benincasa (2003), a área foliar total de uma planta é resultado da ação conjunta de dois componentes, representados pelo tamanho e pelo número de folhas.

A área foliar é considerada um dos mais importantes componentes de crescimento das plantas, pois, retrata o tamanho de seu aparelho assimilatório, estando o mesmo diretamente relacionado com os processos fisiológicos que ocorrem nas plantas, sendo essa medida a que melhor expressa à adequação, ou não, das condições ambientais ao desenvolvimento da planta (RIBEIRO et al., 2009). Nesse sentido, verificou-se comportamento semelhante para a área foliar em função das doses de N. Pela Figura (5B), é possível observar que os valores da área foliar ajustaram-se ao modelo quadrático de regressão polinomial, com aumento crescente até a dose máxima de 104,81 kg ha⁻¹ de N, que proporcionou uma área foliar de 2.552,80 cm². Plantas de mamoneira bem nutritas, aos 90 dias após plantio, apresentaram área foliar em torno de 14.647,00 cm² (RODRIGUES et al., 2006).

A mamona tem elevada demanda por nitrogênio para seu crescimento e produção de área foliar, e quando cultivada sob deficiência, observa-se redução no crescimento e consequentemente, plantas de baixa estatura, e a sua frutificação, quando ocorre, é fraca com poucos racemos e frutos com peso abaixo do esperado (SANTOS et al., 2004). Indicando elevada eficiência da espécie para transformar nutrientes absorvidos em fitomassa (SOFIATTI et al., 2010). Entretanto, Ribeiro et al. (2009) trabalhando com a mamoneira, encontrou menor crescimento em área foliar (2.451,49 cm²) com a mesma dose de N (104,81 Kg ha⁻¹) em condições semelhantes.

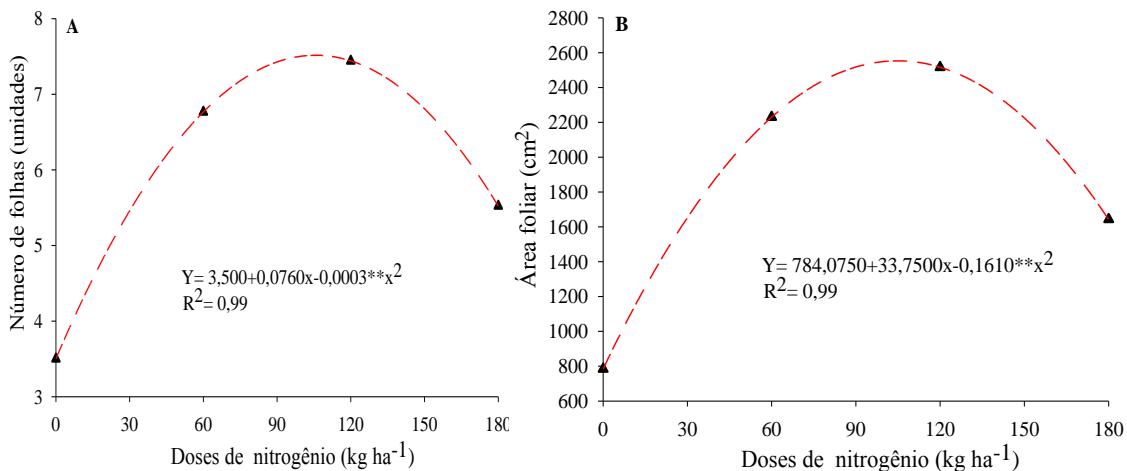


Figura 5. Número de folhas (A) e área foliar (B) em plantas de mamoneira cv. BRS Energia, em resposta a doses de N. Embrapa Algodão, Campina Grande- PB, 2012.

4.3. Taxas de crescimento absoluto e relativo

Observa-se na Tabela 5 que as doses de N influenciaram as taxas de crescimento absoluta (TCA) e de crescimento relativo (TCR) do diâmetro do caule e área foliar da mamoneira. É importante salientar que foram estimados os valores de crescimento médio do período entre 60 e 120 dias após a emergência das plantas, significativo entre o sétimo estádio vegetativo e o décimo reprodutivo (BELTRÃO et al., 2011).

Houve respostas significativas para as taxas de crescimento absoluto e relativo em diâmetro aos 60 DAE, quando foram submetidas à adubação nitrogenada, o que não ocorreu aos 120 DAE, isto em função deste período coincidir com o estádio reprodutivo da planta, onde houve armazenamento de assimilados nos drenos de produção (FONTES et al., 2005). Já em relação às taxas de crescimento absoluta em área foliar, as doses de N, proporcionaram respostas positivas aos 60 e 120 DAE. Enquanto que, em relação à taxa de crescimento relativo, apenas aos 60 DAE houve efeito da adubação nitrogenada. Todas as variáveis responsivas representaram um modelo quadrático polinomial de crescimento, sugerindo um crescimento que está de acordo com os estádios de crescimento e desenvolvimento da mamoneira (BELTRÃO et al. 2011).

A análise quantitativa de crescimento vegetal é considerada como método padrão para estimativa da produtividade biológica e primária das comunidades vegetais, e baseia-se no fato de que a matéria orgânica acumulada ao longo do crescimento da planta resulta da atividade fotossintética (ALVES, 2009; OLIVEIRA, 2002). A medida mais apropriada

para a avaliação do crescimento vegetal, que é dependente da quantidade de material que está sendo acumulada, é a taxa de crescimento relativo (MAGALHÃES, 1985).

As Taxas de crescimentos, absoluta (TCA) e relativa (TCR), são medidas utilizadas para avaliar o crescimento de uma planta. A análise de crescimento permite avaliar o crescimento final da planta como um todo e a contribuição dos diferentes órgãos para o crescimento total, a partir da quantificação da fitomassa (matéria seca) da planta (BENINCASA, 2003).

TABELA 5. Resumo das análises de variância e respectivos quadrados médios, para taxa de crescimento absoluta (TCA), taxa de crescimento relativo (TCR), da média de 60-120 DAE, do experimento em plantas de mamoneira cv. BRS Energia. Campina Grande, PB, 2012.

F.V	GL	Quadrados Médios							
		TCA DIA		TCR DIA		TCA AF		TCR AF	
		60	120	60	120	60	120	60	120
Bloco	3	0,045	0,004	2,9E-5	1,7E-6	2,2E4	1,8E3	3,4E-4	1,7E-4
N	3	0,020*	0,005 ^{ns}	2,6E-5*	2,2E-6**	1,5E4*	4,8E3 ^{ns}	3,6E-4**	3,3E-4 ^{ns}
Sil	3	0,040 ^{ns}	0,004 ^{ns}	4,1E-6 ^{ns}	1,5E-6 ^{ns}	2,4E3 ^{ns}	2,2E2 ^{ns}	2,1E-5 ^{ns}	1,7E-4 ^{ns}
N x Sil	9	0,012 ^{ns}	0,005 ^{ns}	1,9E-5 ^{ns}	2,1E-6 ^{ns}	2,9E3 ^{ns}	1,1E-3 ^{ns}	1,0E-4 ^{ns}	2,7E-4 ^{ns}
Contrast									
N Linea.	1	0,028 ^{ns}	3,E-5 ^{ns}	3,4E-5 ^{ns}	4,5E-8 ^{ns}	1,5E4 ^{ns}	6,59 ^{ns}	3,1E-4 ^{ns}	5,5E-5 ^{ns}
N Quad.	1	0,031*	0,009 ^{ns}	3,3E-5*	4,2E-6 ^{ns}	3,E4 **	8,5E3**	7,3E-4**	8,5E-4 ^{ns}
Sil Lin.	1	2,E-4 ^{ns}	0,001 ^{ns}	2,1E-8 ^{ns}	4,3E-7 ^{ns}	1,7E3 ^{ns}	1,6E2 ^{ns}	1,1E-5 ^{ns}	3,9E-4 ^{ns}
Sil Qua.	1	5,E-4 ^{ns}	0,005 ^{ns}	8,4E-6 ^{ns}	2,1E-6 ^{ns}	1,2E2 ^{ns}	4,8E2 ^{ns}	3,9E-6 ^{ns}	8,8E-5 ^{ns}
NLx SiL	1	1,E-3 ^{ns}	0,006 ^{ns}	2,2E-6 ^{ns}	5,6E-7 ^{ns}	8,8E2 ^{ns}	5,8E2 ^{ns}	4,2E-6 ^{ns}	6,5E-5 ^{ns}
Resíduo	45	0,007	2,7E-3	9,7E-3	1,1E-6	2,5E-3	1,4E-3	7,1E-5	3E-4
CV (%)		32,15	37,2	31,31	116,97	44,24	184,4	33,11	215,66
M.G.(uni)		0,26	0,03	9,3E-3	9E-4	114,73	20,40	0,025	8,1E-3

GL - Grau de liberdade; ns - não significativo; ** e, * significativo a 1 e a 5% de probabilidade, respectivamente, pelo teste F.; M. G.(uni) - média geral (unidade). Valores seguidos de E-N, são números com "N" casas decimais e valores seguidos de EN, são números com "N" algarismos inteiros.

Os resultados obtidos para as variáveis analisadas, relacionados ao período avaliado e as doses de N em plantas de mamoneira, seguem através de representações gráficas, onde os resultados foram submetidos à metodologia específica a cada variável (BENINCASA, 2003). Analisando-se as equações de regressões para a taxa de crescimento absoluto do diâmetro caulinar da planta em função das doses de N (Figura 6A), observa-se um comportamento quadrático para o período estudado. Vale salientar que, as variáveis mensuram o que as plantas cresceram no intervalo de avaliação (TCA) e o que as plantas cresceram por dia, por unidade já existente (TCR).

Pelo resultado da taxa de crescimento absoluto (TCA_{DC}) em diâmetro caulinar, é possível verificar que o valor máximo encontrado foi de (0,068 mm.dia⁻¹) em função da dose correspondente a 100 kg ha⁻¹ de N. A aplicação de doses mais elevadas de N, promoveram decréscimo na TCA_{DC}, sendo o menor valor encontrado com a aplicação da maior dose de N que foi 180 kg ha⁻¹ (Figura 6A). É temeroso atribuir essa queda da TCA_{DC} tão somente as doses de N, pois geralmente uma queda na taxa de crescimento tem relação com fatores complexos, pois oscilações na curva de crescimento são superpostas por flutuações ambientais, que além do suprimento de água, encontram-se ligadas ainda à disponibilidade de luz, temperatura, entre outros (FELIPPE, 1979).

Para Larcher (2006), paralisações no crescimento vegetativo em função da aceleração do crescimento produtivo ocorrem pela canalização da energia e de materiais destinados a floração e frutificação, que por sua vez originam-se no processo fotossintético, na incorporação de substâncias minerais e na mobilização de reservas para formação e enchimento dos frutos. A diminuição da taxa de crescimento da altura da planta após os 50 dias foi observada por Araújo (2010) trabalhando também com a mamona Cv. BRS Energia.

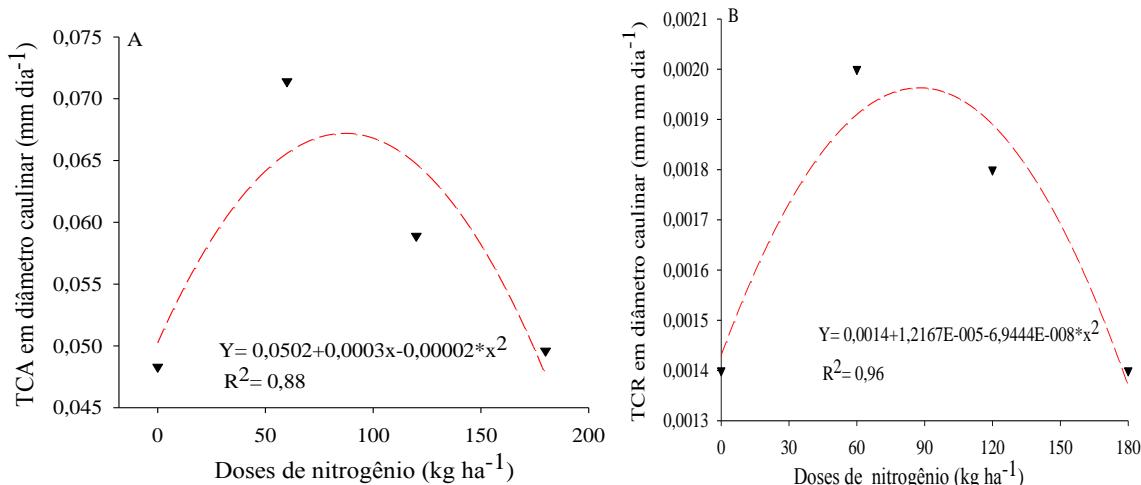


Figura 6. Taxa de crescimento absoluto e relativo do diâmetro caulinar (da média de 60-120 DAE), de plantas de mamoneira cv. BRS Energia, em resposta a diferentes doses de N. Embrapa Algodão, Campina Grande- PB, 2012.

Comportamento semelhante foi observado para o crescimento da planta em diâmetro caulinar diário (TRC_{DC}) para o mesmo intervalo estudado (Figura 6B), verificando-se aumento da taxa relativa de crescimento até a dose (117,82 kg ha⁻¹), sendo essa dose a responsável pela maior taxa (0,0024 mm.dia⁻¹), no entanto, observou-se que a

utilização de doses de N mais elevadas, resultaram em menores valores para a TRC_{DC} , estando o maior valor observado relacionado a maior dose de N (180 kg ha^{-1}).

A análise de crescimento tem sido usada por pesquisadores, na tentativa de explicar diferenças no crescimento de ordem genética ou resultante de modificações do ambiente (Brandelero et al., 2002) podendo também ser usada para a avaliação da produtividade de culturas através da investigação da adaptação ecológica a novos ambientes, da competição entre espécies, dos efeitos de manejo e tratamentos culturais, visando identificar a capacidade produtiva de diferentes genótipos.

A taxa de crescimento absoluto para área foliar (TCA_{AF}) no período avaliado ajustou-se ao modelo quadrático, com incrementos crescentes em função das doses de N. O valor máximo encontrado para essa variável foi de ($24,35 \text{ cm}^2 \cdot \text{dia}$) com a dose de ($102,63 \text{ kg ha}^{-1}$). A aplicação de doses maiores de N resultou no decréscimo na TCA_{AF} , de modo que, a menor taxa dentre as doses de N trabalhadas, foi observada com a aplicação da maior dose (180 kg ha^{-1}) (Figura 7A). A TCR para esta variável, apresentou ajuste semelhante de crescimento (Figura 7B).

Segundo Benincasa (2003), a análise de crescimento das plantas baseia-se no princípio de que a concentração de um nutriente dentro da planta é uma integração de todos os fatores atuantes sobre ela, determinando seu crescimento e produtividade, e constitui-se em uma ferramenta que, além de servir para avaliar as plantas, proporciona informação para manejar a cultura de forma adequada.

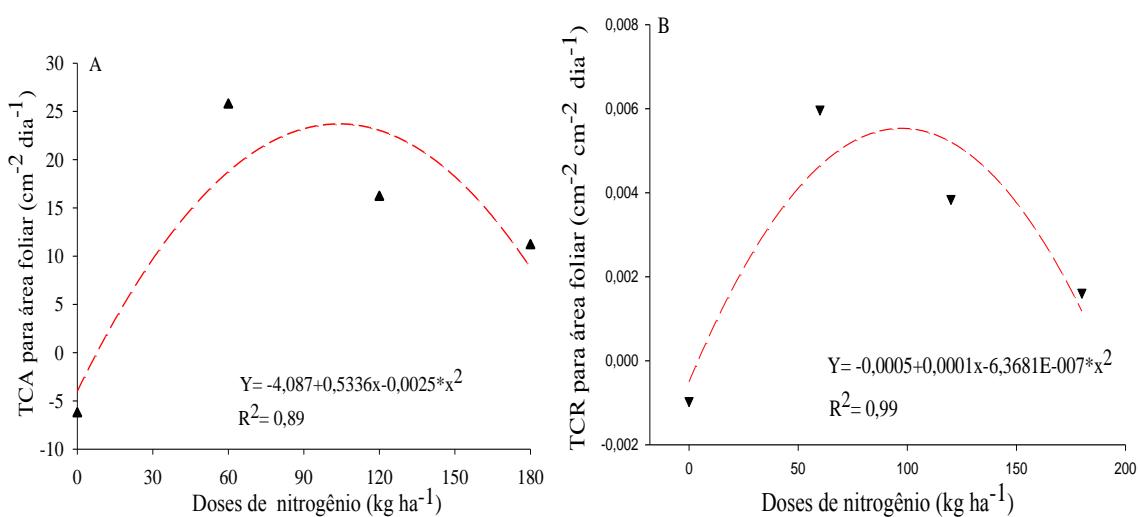


Figura 7. Taxa de crescimento absoluto e relativo da área foliar (da média de 60-120 DAE), de plantas de mamoneira cv. BRS Energia, em resposta a diferentes doses de N. Embrapa Algodão, Campina Grande- PB, 2012.

4.4. Medidas de crescimento

O resumo da análise de variância com os quadrados médios e suas respectivas significâncias pelo teste F a 5% de probabilidade, para os índices fisiológicos (área foliar específica, razão de área foliar e razão do peso específico) são apresentados na Tabela 6. O teste F indicou significância a 1% de probabilidade apenas do fator nitrogênio sobre a variável para efeitos isolados de doses de N quanto às variáveis (AFE), (RAF) e (RPF) com ajuste ao modelo de regressão polinomial quadrático. Entretanto, não se observou efeito significativo das doses de Si, nem tampouco da interação entre os fatores estudados (Silício e nitrogênio) sobre as variáveis estudadas.

A análise de crescimento expressa às condições morfofisiológicas da planta e quantifica a produção líquida, derivada do processo fotossintético, sendo o resultado do desempenho do sistema assimilatório durante certo período de tempo. Esse desempenho é influenciado pelos fatores bióticos e abióticos à planta (LARCHER, 2006). Aqui no caso, deveu-se mais aos efeitos das doses de nitrogênio.

De acordo com Magalhães (1986), conhecendo-se a superfície do limbo foliar e a variação da massa seca das folhas durante certo período de tempo, é possível calcular a área foliar específica (AFE), com a qual pode-se avaliar a eficiência das folhas no processo

TABELA 6. Resumo das análises de variância e respectivos quadrados médios, para área foliar específica (AFE), razão de área foliar (RAF) e razão do peso foliar (RPF), em plantas de mamoneira cv. BRS Energia. Campina Grande, PB, 2012.

Fonte de Variação	GL	Quadrados Médios		
		AFE	RAF	RPF
Bloco	3	394,76	39,53	0,0042
N	3	2939,69 ^{**}	257,16 ^{**}	0,047 ^{**}
Sil	3	87,01 ^{ns}	14,45 ^{ns}	0,0014 ^{ns}
N x Sil	9	479,43 ^{ns}	16,97 ^{ns}	0,0043 ^{ns}
Contrastes				
N Linear	1	645,48 ^{ns}	86,72 ^{ns}	0,13 ^{**}
N Quad.	1	8041,95 ^{**}	633,59 ^{**}	0,00011 ^{ns}
Sil Lin.	1	93,23 ^{ns}	25,58 ^{ns}	0,00053 ^{ns}
Sil Quad.	1	25,18 ^{ns}	5,24 ^{ns}	0,0013 ^{ns}
NL x SiL	1	21,35 ^{ns}	0,18 ^{ns}	0,000053 ^{ns}
Resíduo	45	145,5	62,4	43,6
CV (%)		43,87	35,9	23,90
M. Geral		53,13	14,37	0,29

GL- Grau de liberdade; ns- não significativo; ** e *, significativo a 1 e a 5% de probabilidade, respectivamente, pelo teste F.

De acordo com Magalhães (1985), conhecendo-se a superfície do limbo foliar e a variação da massa seca das folhas durante certo período de tempo, é possível calcular a área foliar específica (AFE), com a qual pode-se avaliar a eficiência das folhas no processo de fotossíntese, deduzindo-se sua contribuição para o crescimento da planta, pois fornece informações a respeito do desenvolvimento foliar e direcionamento de fotoassimilados. A área foliar específica (AFE) ajustou-se ao modelo quadrático de regressão, com aumento crescente até o limite máximo de $104,81 \text{ kg ha}^{-1}$ de N, que produziu uma área foliar específica de $73,35 \text{ cm}^2$ por cada grama de massa de folha produzida (Figura 8A), sugerindo resposta positiva. Doses superiores de N diminuíram a área foliar específica. Isto pode ser explicado, ao longo de seu crescimento, provavelmente pela diminuição de sua capacidade fotossintética em função da redução da área foliar, e consequentemente, do número de cloroplastos, pela tendência da senescência da planta (TAIZ e ZEIGER, 2004).

A razão de área foliar (RAF) se refere à área foliar responsável pela produção de 1g de matéria seca vegetal, sendo um componente morfofisiológico, pois é o quociente entre a área foliar, responsável pela interceptação da energia luminosa e absorção de CO_2 , e a matéria seca total da planta, resultante da fotossíntese (BENINCASA, 2003).

O modelo quadrático de regressão foi o que melhor se ajustou aos valores de razão de área foliar (Figura 8B), com um aumento crescente até o limite máximo de $99,43 \text{ Kg ha}^{-1}$ de N, que proporcionou uma RAF de $19,85 \text{ cm}^2$ por cada grama de massa da planta produzida. Doses maiores de N diminuíram a área foliar específica. Resultado semelhante foi observado por Lima (2008) na evolução da RAF ao longo do ciclo da mamoneira, avaliados nas condições do Recôncavo Baiano, evidenciando uma tendência contínua de decréscimos a valores próximos de zero na fase final do ciclo da mamoneira.

A RAF aumenta durante o período vegetativo, decrescendo posteriormente, com o avanço da cultura, indicando que, inicialmente, a maior parte do material fotossintetizado é convertida em folhas, visando maior captação da radiação solar (Alvarez et al., 2005). No entanto, em pesquisa realizada por Benincasa (2003) com mamoneira os decréscimos encontrados foram atribuídos à interferência das folhas superiores sobre as inferiores com o avanço do crescimento, resultando na tendência de diminuição da área foliar útil a partir de certa fase dentro do período vegetativo.

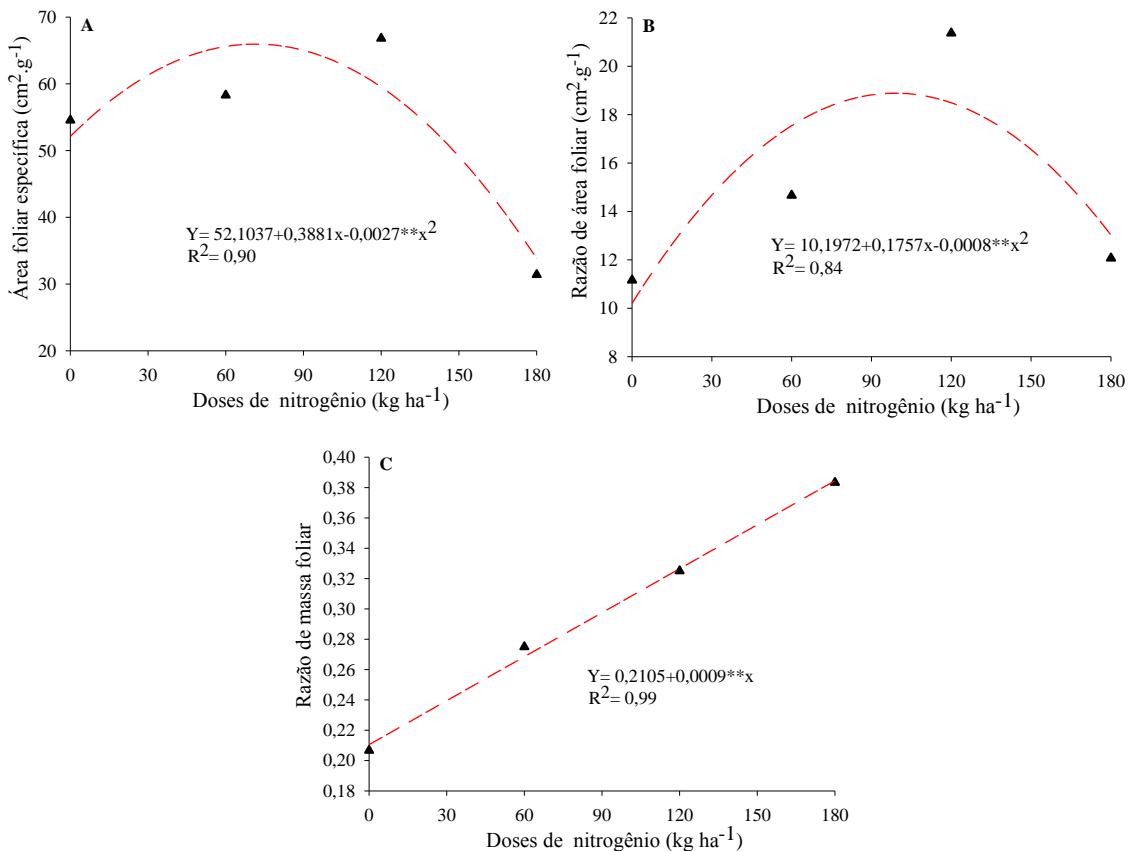


Figura 8. Área foliar específica (A), razão de área foliar (B) e razão de massa foliar (C) de plantas de mamoneira cv. BRS Energia, em resposta a diferentes doses de N. Embrapa Algodão, Campina Grande- PB, 2012.

A razão da massa foliar representa o investimento da planta nas estruturas produtivas e está diretamente relacionada com a partição de fotoassimilados. Os valores da razão do peso foliar (Figura 8C) ajustaram-se ao modelo linear de regressão, com um aumento crescente da porção de massa seca alocada nas diferentes partes da planta, sugerindo um alto índice de fitomassa, em função do aumento das doses de N (kg ha⁻¹). A cada aumento da dose de N, houve um aumento de 0,280 (g g⁻¹) para a RPF. O crescimento e desenvolvimento de uma cultivar, está diretamente relacionada a partição de fotoassimilados. Segundo Larcher (2006), o incremento de fitomassa proporciona um aumento da atividade fotossintética pela maior assimilação de carbono e nitrogênio, e consequentemente, maior crescimento e qualitativo.

4.5. Análise nutricional

4.5.1. Macronutrientes em folhas de mamoneira

O nitrogênio é considerado o elemento mineral mais requerido pelas plantas, sendo componente essencial de biomoléculas e de inúmeras enzimas. Pelo resumo da análise de variância (Tabela 7), é possível observar que a interação entre os fatores (N e Si) estudos, não foi significativa para os teores sólidos de macronutrientes. No entanto, a avaliação isolada do N, demonstrou influência significativa sobre a composição mineral da mamoneira, com ajuste ao modelo quadrático para os teores foliares de N e Mg, e ajuste linear para Ca e S. Entretanto, não se verificou efeito das doses de N, sobre os teores foliares de P e K.

TABELA 7. Resumo das análises de variância e respectivos quadrados médios, para os teores de nitrogênio (N), fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg) e enxofre (S) em folhas de plantas de mamoneira cv. BRS Energia. Campina Grande, PB, 2012.

Fonte de Variação	GL	Quadrados Médios					
		N	P	K	Ca	Mg	S
Bloco	3	112,3	0,27	18,34	7,09	1,03	2,63
N	3	2507,60 ^{**}	0,83 ^{ns}	28,8 ^{ns}	16,83 ^{ns}	3,46 [*]	2,14 [*]
Sil	3	35,94 ^{ns}	0,78 ^{ns}	4,89 ^{ns}	15,85 ^{ns}	0,54 ^{ns}	1,54 ^{ns}
N x Sil	9	139,00 ^{ns}	0,44 ^{ns}	42,2 ^{ns}	13,29 ^{ns}	1,96 ^{ns}	0,76 ^{ns}
Contrastes							
N Linear	1	5520,30 ^{ns}	2,16 ^{ns}	21,5 ^{ns}	17,57 ^{ns}	3,1E-4 ^{ns}	3,89 [*]
N Quad.	1	1313,10 ^{**}	0,31 ^{ns}	19,1 ^{ns}	4,73 ^{ns}	5,82 [*]	1,85 ^{ns}
Sil Lin.	1	46,13 ^{ns}	1,63 ^{ns}	0,07 ^{ns}	23,79 ^{ns}	1,11 ^{ns}	1,61 ^{ns}
Sil Quad.	1	0,0039 ^{ns}	0,70 ^{ns}	8,26 ^{ns}	2,80 ^{ns}	0,082 ^{ns}	0,37 ^{ns}
NL x SiL	1	287,30 ^{ns}	1,42 ^{ns}	19,5 ^{ns}	8,49 ^{ns}	2,18 ^{ns}	0,002 ^{ns}
Resíduo	45	84,07	0,68	47,21	7,61	0,89	0,53
CV (%)		24,93	41,93	32,12	23,40	33,28	23,54
M. Geral		36,77	1,97	21,39	11,74	2,84	3,11

GL- Grau de liberdade; ns- não significativo; ** e *, significativo a 1 e a 5% de probabilidade, respectivamente, pelo teste F.

Esses resultados divergem do encontrados por Lima (2013), que trabalhando com níveis de salinidade e doses de N em plantas de mamoneira, verificou efeito significativo das doses de N sobre os teores foliares de P, com decréscimo de 5,33% por intervalo de 30% das doses de N. O mesmo comportamento foi observado por Lima (2013) para os teores de K, com decréscimo linear de 4,79% na concentração de K por aumento de 30% da dose de N. De acordo com Rosolem (2005), o K é um forte competidor com outros

cátions decorrentes da alta eficiência do sistema de absorção das plantas. Quanto ao Si, não houve efeito significativo das doses trabalhadas sobre os parâmetros nutricionais utilizados.

O teor de N nas folhas da mamoneira apresentou resposta quadrática em função das doses de N aplicadas (Figura 9A), com teor máximo de 45,94 g por kg de folha, com a dose estimada de 168,26 kg ha⁻¹ de N. Pelos resultados obtidos, pode-se verificar que a mamoneira apresentou teores adequados de N em sua composição mineral. De acordo com Cantarutti et al (2007) e Malavolta et al. (1997), o nível crítico ou teor ideal de N nas folhas da mamoneira está entre 40 e 50 kg ha⁻¹.

As principais tabelas de recomendação de adubação para a cultura da mamoneira em uso no país recomendam doses de N que variam de 35 a 75 kg ha⁻¹. Essa diferença existente entre a dose mínima e a máxima de N recomendadas, indica a necessidade de realização de experimentos de adubação nas diferentes regiões produtoras. Moro et al., (2012) trabalhando com doses de N em híbridos de mamoneira, verificaram efeito significativo com incremento linear sobre os teores de N em folhas dos híbridos estudados, sendo que a maior dose (200 kg ha⁻¹) de N não foi suficiente para atingir o ponto máximo de acúmulo de N nas folhas.

Quanto ao Mg, observa-se que os teores foliares cresceram de forma quadrática em função das doses de N, com variação de 2,16 a 3,356 (g kg⁻¹), sendo o maior teor observado quando se aplicou a dose estimada de 88,41 kg ha⁻¹ de N (Figura 9B). No entanto, doses superiores, promoveram decréscimo nos teores foliares de Mg. Segundo Malavolta (1997), o valor encontrado está na faixa de suficiência (2,5 a 3,5 g kg⁻¹ de Mg). A demanda de magnésio pela mamoneira, é cerca de 9 kg de Mg por tonelada de sementes produzida (SAVY FILHO, 1995).

Nas plantas, o N e o S apresentam funções semelhantes, principalmente as funções relacionadas à síntese protéica e os processos fotossintéticos. Assim, de acordo com Büll (1993) o fornecimento inadequado de um desses nutrientes, pode resultar no desbalanceamento entre ambos. De forma geral, o desbalanço se dá em relação ao suprimento de S, pois, em culturas exigentes em N, são comuns aplicações elevadas deste nutriente sem acompanhamento da fertilização proporcional de S.

Verificou-se neste estudo, que o aumento das doses de N influenciou o aumento dos teores de S foliar com ajuste de crescimento linear, com variação destes teores de S, de 3,0 a 3,30 g kg⁻¹ (Figura 9D), quer seja devido ao efeito diluição/concentração, ou pela

maior produção de matéria seca. Os teores de S na faixa de suficiência é de 3,0 a 4,0 g kg⁻¹ (MALAVOLTA et al., 2002), estando assim, os resultados encontrado dentro da faixa de suficiência para a mamoneira.

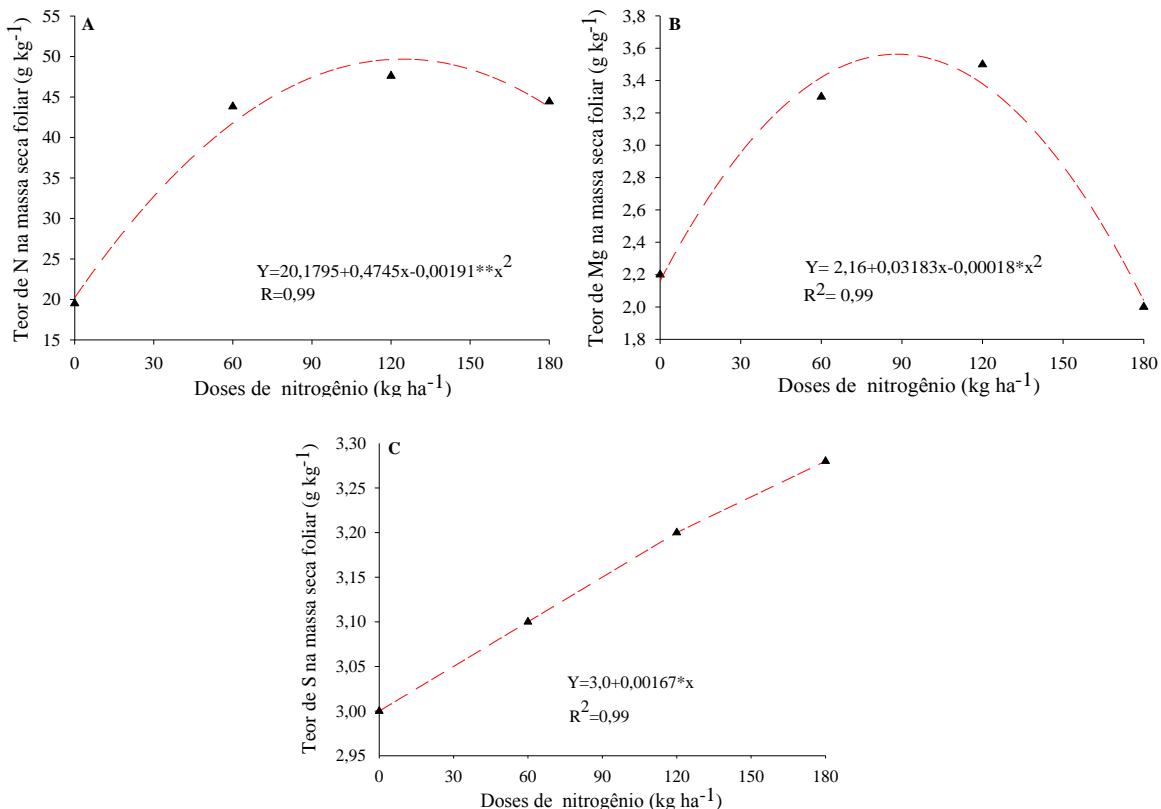


Figura 9. Teores foliares de N, Mg e S de plantas de mamoneira cv. BRS Energia, em resposta a diferentes doses de N. Embrapa Algodão, Campina Grande- PB, 2012.

Diminuição nos teores de N em folhas de feijão em função da adubação decobertura com S, foi observada por Crusciol et al. (2006), sugerindo que isso ocorra devido ao efeito diluição, já que o S promoveu aumento na produção de massa seca. Segundo (Friedrich e Schrader, 1978), o fato de adubações com N afetar no teor foliar de S e vice-versa, está diretamente relacionado às assimilações de NO₃⁻ e SO₄²⁻ estarem metabolicamente ligadas, uma vez que estes nutrientes apresentam funções semelhantes nas plantas.

4.5.2. Micronutrientes em folhas de mamoneira

A maior parte dos trabalhos existentes sobre absorção e exportação de nutrientes, restringem-se apenas aos macronutrientes, no entanto, mesmo os micronutrientes sendo

absorvidos em pequenas quantidades, esses são essenciais para o crescimento e desenvolvimento das culturas (KIRKBY; RÖMHELD, 2007). Pelo resumo da análise de variância (Tabela 8), verifica-se que a interação entre os fatores (N e Si) estudados, não foi significativa para os teores de micronutrientes nas folhas de mamoneira. Entretanto, a avaliação isolada do N, demonstrou influência significativa sobre a composição mineral da mamoneira, com ajuste ao modelo quadrático para os teores foliares de Fe e Si. Já as doses de Si analisadas isoladamente, não influenciaram os teores de micronutrientes nas folhas.

De acordo com Lange et al. (2005), deficiência de micronutrientes como ferro (Fe), manganês (Mn) e cobre (Cu), reduzem o crescimento e a matéria seca da parte aérea e do

TABELA 8. Resumo das análises de variância e respectivos quadrados médios, para os teores de micronutrientes, manganês (Mn), zinco (Zn), ferro (Fe) e silício (Si) em folhas de plantas de mamoneira cv. BRS Energia. Campina Grande, PB, 2012.

Fonte de Variação	GL	Quadrados Médios			
		Mn	Zn	Fe	Si
Bloco	3	0,005	0,012	0,0003	0,009
N	3	0,012 ^{ns}	0,010 ^{ns}	0,0020 ^{**}	0,017 [*]
Sil	3	0,010 ^{ns}	0,011 ^{ns}	0,0003 ^{ns}	0,002 ^{ns}
N x Sil	9	0,010 ^{ns}	0,008 ^{ns}	0,0020 ^{ns}	0,010 ^{ns}
Contrastes					
N Linear	1	0,008 ^{ns}	0,006 ^{ns}	0,0040 ^{**}	0,240 [*]
N Quad.	1	0,002 ^{ns}	0,011 ^{ns}	0,0010 [*]	0,003 ^{ns}
Sil Lin.	1	0,005 ^{ns}	0,005 ^{ns}	0,0002 ^{ns}	0,001 ^{ns}
Sil Quad.	1	0,015 ^{ns}	0,010 ^{ns}	0,00004 ^{ns}	0,001 ^{ns}
NL x SiL	1	0,0006 ^{ns}	0,003 ^{ns}	0,00004 ^{ns}	0,049 ^{ns}
Resíduo	45	0,0072	0,0094	0,00019	0,0058
CV (%)		76,25	110,6	25,53	43,19
M. Geral		0,11	0,08	0,05	0,17

GL- Grau de liberdade; ns- não significativo; ** e *, significativo a 1 e a 5% de probabilidade, respectivamente, pelo teste F.

sistema radicular das plantas. Entretanto, essa oleaginosa é mais tolerante a deficiência de zinco (Zn), seja por sua baixa necessidade ou pela alta capacidade de extração desse nutriente no solo (LANGE et al., 2005). Os resultados nesse trabalho para o Zn, discorda dos verificados por Chaves et al. (2009), que estudando o efeito do Zn e Cu no estado nutricional da mamoneira, verificaram que os teores de Zn no caule estiveram em geral, acima dos teores foliares, sugerindo que o caule acumula maiores quantidades desse elemento que às folhas.

Os resultados encontrados para Mn divergem também dos encontrados por Crusciol et al., (2012), que verificaram que o teor de Mn acumulado na parte vegetativa (folhas e caule), foram superiores á aquelas obtidas nas estruturas reprodutivas. O Mn atua como ativador enzimático no processo de respiração e participa da fotólise da água na fotossíntese (MALAVOLTA, 2006). Assim, maior teor de Mn nas folhas e caules deve-se a sua lenta redistribuição na planta.

Para os teores foliares de Fe, os dados se ajustaram ao modelo linear com incremento dos teores de Fe em função das doses de N com elevado coeficiente de determinação (Figura 10A). Observa-se que à medida que se aumentou as doses de N, os teores de Fe aumentaram, sendo o maior teor de Fe ($0,41\text{ g kg}^{-1}$), estimado com a aplicação da maior dose de N (180 kg ha^{-1}). Camargo e Zabini (2005), trabalhando com nutrição da mamoneira, observaram 201 mg kg^{-1} de Fe, na matéria seca foliar de mamoneira, valor muito superior aos encontrados neste experimento.

Segundo Marschner (1995) e Abdalla et al. (2008), o Fe além de constituinte essencial de várias enzimas e participar de processos metabólicos no ciclo das plantas, também atuam na transferência de elétrons para a redução de nitrato e na fixação biológica de nitrogênio, exercendo assim, papel estrutural e catalítico. O Fe atua ainda na síntese de clorofila, participando da fotossíntese e respiração. Além disso, após absorvido, seu transporte se dá via xilema e sua mobilização para dentro do floema é diminuída pela formação de compostos insolúveis nas folhas (MALAVOLTA, 2006; DECHEN; NACHTHIGALL, 2006). Daí o porquê do Fe ser acumulado preferencialmente nas folhas, que é o sítio primário da função desse nutriente (KIRKBY; RÖMHELD, 2007).

O Si é um elemento considerado essencial devido à possibilidade de elevar a produtividade das culturas agrícolas através da redução da ocorrência de pragas, doenças, estresse hídrico e tolerância a metais pesados (KARDONI et al., 2013).

Quanto ao Si, foi possível verificar que as doses de N influenciaram negativamente sobre seu teor na massa seca foliar, com ajuste linear decrescente, de forma que, conforme se aumentou a dose N aplicada, menor teor de Si foliar foi observado, estando o menor teor Si ($0,44\text{ g kg}^{-1}$) (Figura 10B) relacionado a maior dose de N aplicada (120 kg ha^{-1}).

A relação negativa entre os teores de Si e as doses de N aplicadas, pode ter ocorrido em função do efeito de diluição. Resultados sobre a interação entre o N e o Si na nutrição de plantas ainda são restritos. Ávila et al. (2010) trabalhando com doses de N e Si em

solução nutritiva com a cultura do arroz, verificaram que o teor de Si na parte aérea e nas raízes diminuíram de forma quadrática em função das doses de N utilizadas.

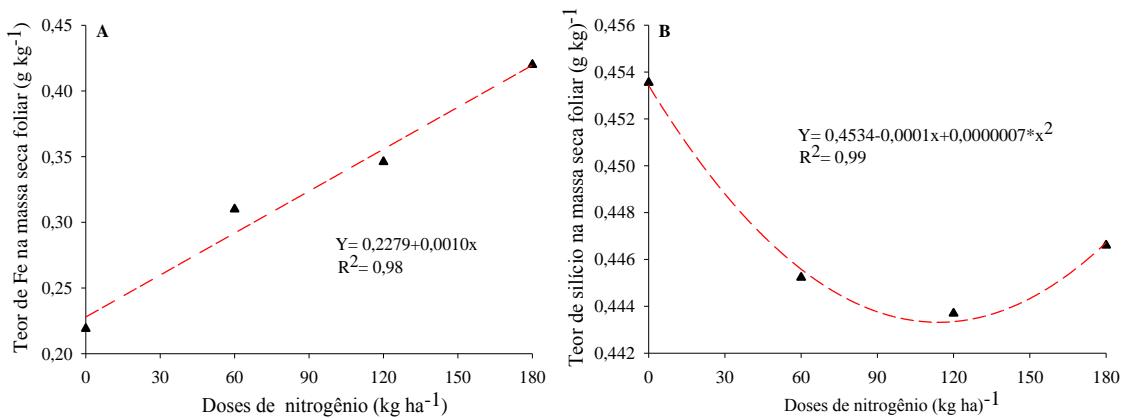


Figura 10. Teores foliares de Ferro (A) e Silício (B), de plantas de mamoneira cv. BRS Energia, em resposta a diferentes doses de N. Embrapa Algodão, Campina Grande- PB, 2012.

4.6. Teor de clorofila em folhas de mamoneira

A taxa fotossintética pode ser reduzida com a diminuição da concentração do nitrogênio nos vegetais, e a relação entre esse nutriente e as plantas, está ligada à clorofila pela conversão da radiação luminosa em energia de ATP e NADPH, que são dependentes de compostos proteicos associados aos cloroplastos (LARCHER, 2006). A redução na quantidade de clorofila pode estar relacionada ao efeito negativo da deficiência de nitrogênio sobre a taxa fotossintética (CRUZ et al., 2007), e a deficiência de N que constitui os aminoácidos e proteínas, retarda o crescimento da planta por diminuir o conteúdo de carbono e dessa forma, haverá deficiência de clorofila e da enzima Rubisco (EPSTEIN; BLOOM, 2006).

Na Tabela 8, é apresentado o resumo da análise de variância com os respectivos quadrados médios para os teores de clorofila “a”, “b” e total da mamoneira. Não ocorreu interação significativa entre os fatores N e Si, verificando-se um aumento destas variáveis com ajuste linear. Quanto ao Si, não se observou efeito significativo desse elemento sobre os teores de clorofila nas folhas de mamoneira. ($\mu\text{g.m}^{-2}$).

TABELA 9. Resumo das análises de variância e respectivos quadrados médios, para os teores de clorofila a (Cla), clorofila b (Clb) e total (Clt) em folhas de mamoneira cv. BRS Energia. Campina Grande, PB, 2012.

Fonte de Variação	GL	Quadrados Médios		
		Cla	Clb	Clt
Bloco	3	8356,49	75,95	9618,36
N	3	833,91 ^{**}	1399,41 ^{**}	41290,43 ^{**}
Sil	3	6668,06 ^{ns}	98,34 ^{ns}	6975,26 ^{ns}
N x Sil	9	755,26 ^{ns}	135,86 ^{ns}	12831,24 ^{ns}
Contrastes				
N Linear	1	121789,41 ^{**}	2863,82 ^{**}	87304,53 ^{**}
N Quad.	1	26096,38 ^{ns}	10,01 ^{ns}	25082,11 ^{ns}
Sil Lin.	1	15005,25 ^{ns}	59,63 ^{ns}	16956,80 ^{ns}
Sil Quad.	1	5246,59 ^{ns}	34,10 ^{ns}	4435,60 ^{ns}
NL x SiL	1	12880,83 ^{ns}	28,18 ^{ns}	16976,00 ^{ns}
Resíduo	45	561,4	72,3	630,6
CV (%)		33,04	28,40	30,41
M. Geral		262,57	58,36	320,93

GL- Grau de liberdade; ns- não significativo; ** e *, significativo a 1 e a 5% de probabilidade, respectivamente, pelo teste F.

Observando-se a Figura 11A, é possível verificar que houve aumento do teor de clorofila “a”, em função das doses crescentes de N. Os dados para clorofila “a” ajustaram-se ao modelo linear, de forma que quanto maior a dose de N aplicada (180 kg ha⁻¹), maior o teor de clorofila “a” (295,31 µg.m⁻²) presente na folha, sugerindo que as doses de N avaliadas aumentaram a atividade fotossintética da planta.

Os pigmentos fotossintéticos são importantes, pois participam de processos na absorção de energia luminosa para posterior conversão dessa energia em ATP e NADPH. Dentre eles, os pigmentos encontrados em plantas são a clorofila “a”, a clorofila “b” e os carotenóides. A clorofila “a” é a principal responsável pela coloração verde das plantas e pela realização da fotossíntese (TAIZ e ZEIGER, 2010) e os fatores determinantes do conteúdo fotossintético são a luminosidade e a nutrição mineral, pois além de integrarem a estrutura molecular das plantas, atuam diretamente na própria síntese dos pigmentos fotossintéticos (TAIZ e ZEIGER, 2004).

Capuani et al. (2011) trabalhando com doses de N e Si na cultura da mamoneira, verificaram que os teores de clorofila “a” aumentaram linearmente em função das doses de N, com teores variando de 178,89 até 250,89 µg.m⁻², não sendo constatada influência da utilização do silício sobre as variáveis estudadas. Rossalto et al. (2012), estudando os

teores de nitrogênio, produção de biomassa e produtividade do algodoeiro concluíram que os teores crescentes de clorofila, sugerem maior capacidade de detectar a variação da produtividade de plantas de algodão promovidos pelas doses crescentes do nitrogênio.

A clorofila “b” é um pigmento que ajuda a ampliar a faixa de absorção de luz que pode ser usada na fotossíntese. Essa clorofila é auxiliar da clorofila “a”, transferindo a energia captada para as moléculas que realizarão a fotossíntese (RAVEN, 1983). Para os teores de clorofila “b” (Figura 11B), houve um ajuste de crescimento linear em função das doses de N. Nota-se que estas doses, proporcionaram uma variação destes teores de clorofila “b”, com ajuste ao modelo linear crescente, variando de 231,44 a 298,36 $\mu\text{g.m}^{-2}$.

Estes resultados se assemelham a estudos comparativos sobre nutrição e adubação orgânica e mineral no crescimento e metabolismo do algodoeiro herbáceo, onde observou-se que independente da fonte de nitrogênio utilizada (torta e casca de mamona), à medida que se aumentou as doses de N para 180 kg ha^{-1} , houve aumento dos teores de clorofila entre 45,62 a 61,03 $\mu\text{g.m}^{-2}$ (TAVARES, 2013). De acordo com Sofiatti et al. (2009), níveis de clorofila inferiores a 40 $\mu\text{g.m}^{-2}$, deve-se possivelmente, ao início do processo de senescência, bem como a deficiência de N. Pesquisa realizada por Motomiya et al. (2007) com doses de N em algodão, demonstrou que teores de clorofila variaram de 44,15 a 49,53 $\mu\text{g.m}^{-2}$, em função da aplicação das doses de N.

Houve efeito significativo das doses de N sobre os teores de clorofila total (Clt) nas folhas de mamoneira, verificando ajuste ao modelo linear, com incremento deste teor em função das doses de N utilizadas, com teores variando de 230,29 a 387,12 $\mu\text{g.m}^{-2}$ (Figura 11C). Esse resultado corrobora com os encontrados por Capuani et al. (2011) avaliando o efeito de doses de N sobre os teores de Clt, também em folhas de mamoneira, observaram aumento linear, que variaram de 224,83 até 307,33 $\mu\text{g.m}^{-2}$.

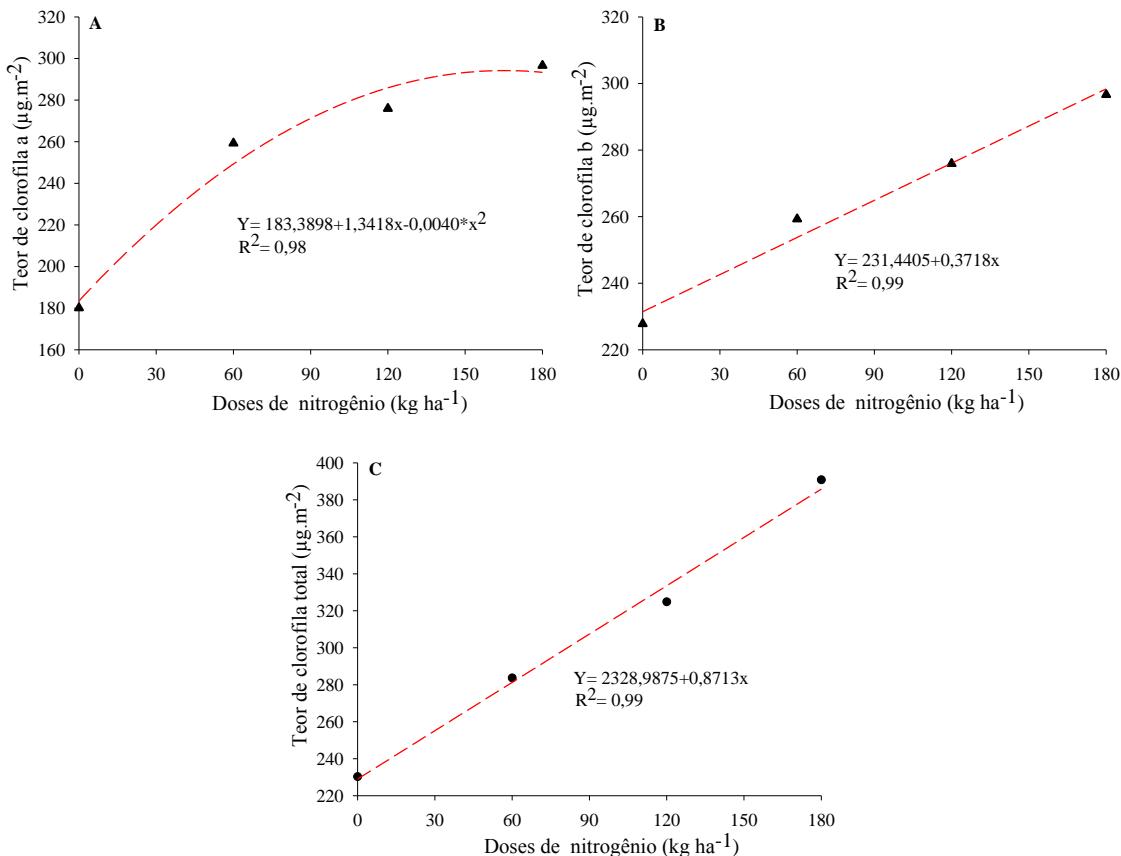


Figura 11. Teores foliares de clorofila a (A), clorofila b (B) e clorofila total (C) em folhas de mamoneira cv. BRS Energia, em resposta a diferentes doses de N. Embrapa Algodão, Campina Grande- PB, 2012.

4.7. Componentes de produção de matéria seca

Os valores referentes aos quadrados médios, para os componentes de produção primária para massa seca da raiz (MSR), massa seca do caule (MSC), massa seca da folha (MSF), massa seca do cacho (MSCX) e massa seca do fruto (MSF), de plantas de mamoneira cv. BRS Energia são apresentados na Tabela 10. É possível observar, que não houve interação entre as doses de N (0, 60, 120 e 180 kg ha⁻¹) e de Si (0, 80, 160 e 240 mg L⁻¹) sobre a produção de massa seca das variáveis avaliadas. Entretanto, observaram-se diferenças estatísticas significativas a 1% de probabilidade, apenas para efeito isolado de doses de N referente a todas as variáveis, com ajuste de crescimento polinomial quadrático.

A adubação nitrogenada possibilita crescimento mais rápido e maior produção de massa de matéria seca devido o N promover maior crescimento radicular, maior eficiência fotossintética e aumento da área foliar (CORSI, 1993).

Tabela 10. Resumo das análises de variância e respectivos quadrados médios, para os componentes de produção primária massa seca da raiz (MSR), massa seca do caule (MSC), massa seca da folha (MSF), massa seca do cacho (MSCX), massa seca total (MST), de plantas de mamoneira cv. BRS Energia. Campina Grande, PB, 2012.

Fonte de Variação	GL	Quadrados Médios				
		MSR	MSC	MSF	MSCX	MST
Bloco	3	13,71	458,19	345,37	177,67	7942,51
N	3	198,52 ^{**}	679,53 ^{**}	089,38 ^{**}	1297,52 ^{**}	15180,60 ^{**}
Si	3	10,85 ^{ns}	71,74 ^{ns}	13,40 ^{ns}	58,12 ^{ns}	494,82 ^{ns}
N x Si	9	34,82 ^{ns}	92,90 ^{ns}	201,13 ^{ns}	88,81 ^{ns}	659,13 ^{ns}
Contrastes						
N Linear	1	85,54 ^{ns}	051,02 ^{ns}	4244,31 ^{ns}	0,38 ^{ns}	7354,83 ^{**}
N Quad.	1	397,74 ^{**}	633,56 ^{**}	1577,22 ^{**}	3280,34 ^{**}	31548,0 ^{**}
Si Lin.	1	10,04 ^{ns}	1,35 ^{ns}	1,50 ^{ns}	64,60 ^{ns}	0,017 ^{ns}
Si Quad.	1	2,21 ^{ns}	67,47 ^{ns}	10,87 ^{ns}	26,32 ^{ns}	140,26 ^{ns}
NL x SiL	1	9,22 ^{ns}	58,22 ^{ns}	9,55 ^{ns}	14,52 ^{ns}	277,30 ^{ns}
Resíduo	45	24,63	82,54	119,66	75,14	653,59
CV (%)		33,33	33,12	30,97	28,13	21,17
M. Geral		14,89	27,43	5,32	30,81	120,75

GL- Grau de liberdade; ns- não significativo; ** e *, significativo a 1 e a 5% de probabilidade, respectivamente, pelo teste F.

Os valores de massa seca da raiz (Figura 12A) tiveram ajuste ao modelo quadrático de regressão, com aumento crescente até a dose máxima de 104,0 kg ha⁻¹ de N, que proporcionou uma produção de massa seca de raiz em 21,88 g. No entanto, doses superiores promoveram decréscimos na produção de massa seca da raiz. Este crescimento indica elevada eficiência da espécie para transformar nutrientes absorvidos em fitomassa (SOFIATTI et al., 2010; DINIZ NETO, et al., 2012).

Foi observado para a massa seca caulinar, valores com um ajuste quadrático de crescimento, com aumento crescente até a dose de 74,07 kg ha⁻¹ de N, com produção de massa seca caulinar de 108,81 g planta⁻¹, entretanto, a utilização de doses superiores de N promoveram decréscimos no incremento de massa seca caulinar (Figura 12B). Esse valor para MSC (108,81 g planta⁻¹) foram superiores aos (45,12 g planta⁻¹) encontrados por Mesquita et al. (2011) em trabalho realizado com doses de N em plantas de mamoneira com a dose de 200 kg ha⁻¹.

Com a aplicação de doses de N foi possível ajustar regressões polinomiais quadráticas para a produção de massa seca foliar (MSF) (Figura 12C). O aumento das doses de N promoveu incrementos na produção de MSF até a dose máxima observada de 162,62 kg ha⁻¹ de N, responsável pela produção de 49,17 g de MSF, entretanto, doses

superiores resultaram na queda da produção de MSF. Esse resultado está diretamente relacionado ao fato de que a adubação nitrogenada aumenta a disponibilidade de N no solo, aumentando assim a absorção desse nutriente pelas raízes, refletindo no aumento da produção de massa seca, uma vez que esse elemento tem influência direta sobre a fotossíntese e o crescimento da planta (SILVEIRA E DAMASCENO, 1993).

Mesquita et al. (2012) em pesquisa realizada verificaram variação nos teores de MSF de 112,74 a 72,27 g planta⁻¹ com as doses de 300 e 200 kg ha⁻¹ respectivamente.

Para a produção de massa seca do cacho (MSCX), os dados se ajustaram ao modelo polinomial quadrático em função das doses de N utilizadas. Houve incremento da produção de MSCX, com produção máxima observada (26,04 g planta⁻¹) até a dose de (126 kg ha⁻¹), no entanto, a aplicação de doses mais elevadas promoveu efeito decrescente sobre essa variável (Figura 12C). Esse resultado diverge do encontrado por Mesquita et al. (2012), que verificaram produção de (58,28 g planta⁻¹) com a dose de 200 Kg ha⁻¹.

A massa seca total (MST) também foi influenciada significativamente pelas doses de N, com ajuste polinomial quadrático, de forma que, a produção de MST aumentou conforme se aumentou a dose de N até a dose de 109,71 kg ha⁻¹, sendo essa dose responsável pela produção máxima de (137,01 g planta⁻¹), porém, doses superiores influenciaram de forma negativa essa variável com decréscimos significativos (Figura 12D).

Esse resultado diverge do resultado encontrado por Ribeiro (2008), que obteve 285,44 g planta⁻¹ de MST em trabalho realizado com 200 kg ha⁻¹ de N. Entretanto, se aproximam dos 185,68 g planta⁻¹ de MST encontrado por Chaves e Araújo (2011) para dose de 40 kg ha⁻¹. De acordo com Diniz Neto et al. (2009), a mamoneira responde com intensidade a aplicação dos adubos no solo através dos componentes de produção e na produtividade.

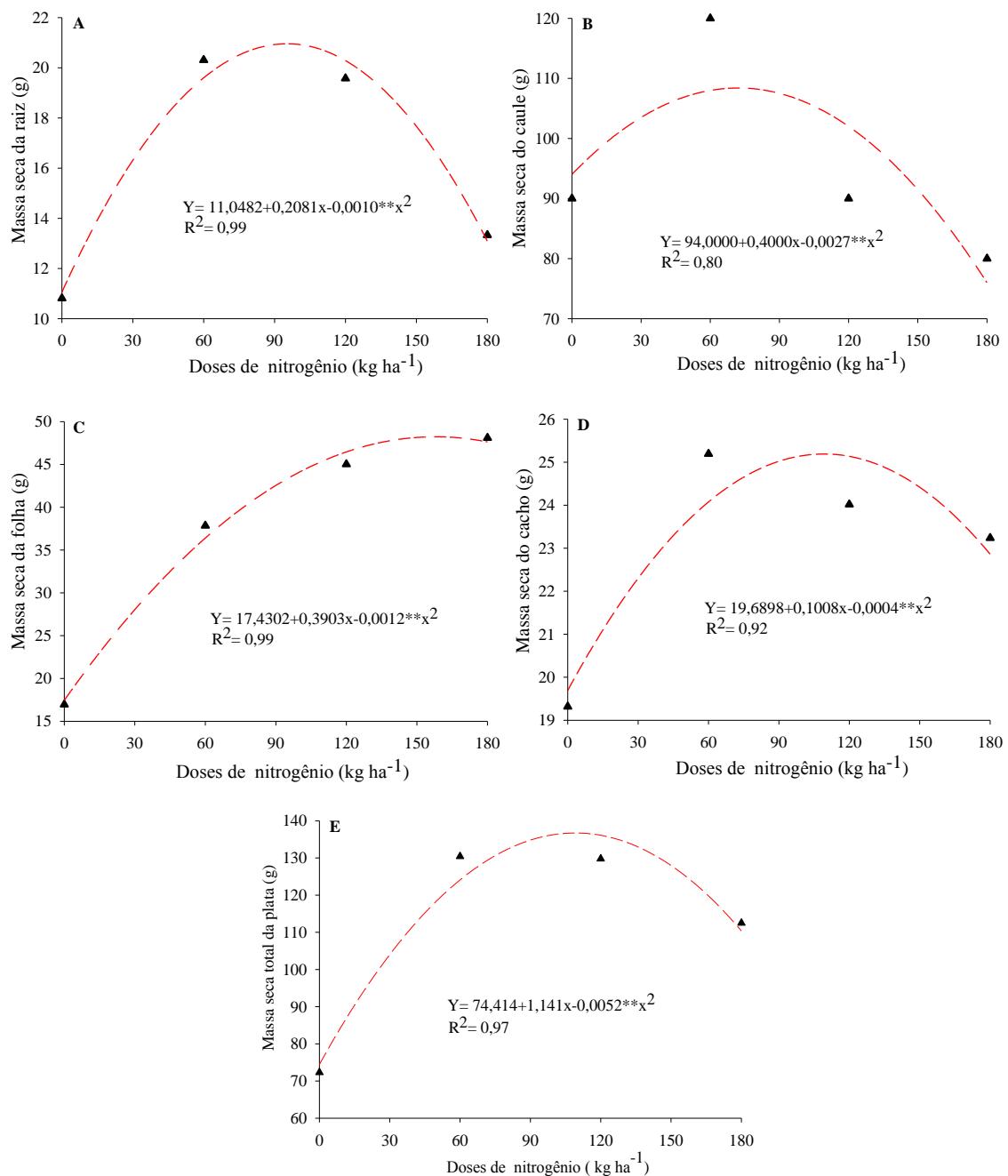


Figura 12. Massa seca da raiz (A), do caule (B), da folha (C), do cacho (D) e da planta (E), de plantas de mamoneira cv. BRS Energia, em resposta a diferentes doses de N. Embrapa Algodão, Campina Grande- PB, 2012.

5. CONCLUSÕES

- A adubação nitrogenada diminuiu os teores de K no solo, comprometendo sua disponibilidade às plantas;
- A interação entre o Si e o N não produziu efeitos significativos na fertilidade do solo, crescimento de planta, teor de clorofila, nutrição mineral e produção de biomassa seca, exceto sobre o diâmetro do caule da mamoneira BRS Energia;
- As variáveis de diâmetro caulinar, número de folhas e área foliar aumentaram o crescimento quando submetidas às adubações nitrogenadas;
- As taxas de crescimento aumentaram por influência do incremento das doses de nitrogênio;
- Os teores de nitrogênio, magnésio, cálcio e enxofre aumentaram, enquanto que o teor de silício diminuiu, pelo efeito da pulverização nitrogenada nas folhas da mamoneira BRS Energia;
- As doses de N aumentaram os teores de Fe e diminuíram os teores de Si na massa seca foliar;
- A massa seca foliar, caulinar, radicular e total aumentou com o incremento das doses de N, ajustando-se às regressões polinomiais quadráticas.

6 . REFERÊNCIA

ABDALLA, S. R. S.; PROCHNOW, L. I.; FANCELLI, A. L. **Simpósio discute como utilizar insumos e recursos para otimizar a produtividade do milho.** Piracicaba: International Plant Nutrition Institute. Brasil, 2008. (Informações Agronômicas, 122).

ADAMS, F. Nutritional imbalances and constraints to plant growth on acid soils. **Journal of Plant Nutrition**, v. 4, p. 81-87, 1981.

AGARIE, S.; HANAOKA, N.; UENO, O.; MIYAZAKI, A.; KUBOTA, F.; AGATA, W.; KAUFMAN, P. B. Effects of silicon on tolerance of water deficit and heat stress in rice plants (*Oriza sativa* L.), monitored by electrolyte leakage. **Plant Production Science**, Fukuoka, v.1, n. 2, p. 96-103, 1998.

AITA, C.; GIACOMINI, S. J. Matéria orgânica do solo, nitrogênio e enxofre nos diversos sistemas de exploração agrícola. In: YAMADA, T.; ABDALLA, S. R. S.; VITTI, G. C. (Org.). **Nitrogênio e enxofre na agricultura brasileira.** Piracicaba: IPNI, Brasil, 2007. p. 1-42.

ALBUQUERQUE, F. A. de; FREITAS, J. G. **Cultivo da Mamona:** diagnóstico sobre a tecnologia de cultivo de mamona na região de Irecê, BA. Campina Grande, PB: Embrapa Algodão, 2007. 17 p. (Embrapa Algodão, Documentos, 185).

ALVAREZ, R. C. F.; RODRIGUES, J. D.; MARUBAYASHI, O. M. M; ALVAREZ, A. C. C.; CRUSCIOL, C. A. C. Comparação de dois cultivares de amendoim (*Arachis hypogaea* L.) através da análise de crescimento. **Acta Scientiarum Agronomy**, Maringá, v.27, p.611-616, 2005.

ALVES, G. S. **Densidade populacional e seu efeito no crescimento e produtividade da mamoneira Brs Energia sob cultivo irrigado.** Areia: UFPB/CCA, 2009. 118 f. Tese (Doutorado em Agronomia) – Universidade Federal da Paraíba, Centro de Ciências Agrárias, Areia, 2009.

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

ARGENTA G; SILVA P. R. F.; BORTOLINI C. G. Clorofila na folha como Indicador do nível de nitrogênio em cereais. **Ciências. Rural.** v.31, n.4, 2001.

AZEVEDO, D. M. P; LIMA, E. F.; BATISTA, F. A. S. **Recomendações técnicas para o cultivo da mamoneira (*Ricinus communis* L.) no Brasil.** Campina Grade: EMBRAPA - CNPA, 1997. 62p. (Circular Técnica, 25).

AZEVEDO, D. M. P.; BELTRÃO, N. E. M. In: AZEVEDO,D. M. P.; BELTRÃO, N. E.(Ed) **O agronegócio da mamona no Brasil.** 2.ed. Campina Grande: Embrapa Algodão,Brasília: Embrapa Informações Tecnológicas, 2007.p.450-473.

ÁVILA, F. W. et al. Interação entre silício e nitrogênio em arroz cultivado sob solução nutritiva. **Revista Ciência Agronômica**, Fortaleza, v. 41, n. 2, p. 184-190, 2010.

BALIZA, D. P. ; ARAUJO, J. L.; FAQUIN, V.; ÁVILA, F. W. Efeito da interação silício-nitrogênio sobre o crescimento do arroz. IN : CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO: CONQUISTAS & DESAFIOS DA CIÊNCIA DO SOLO BRASILEIRA, 31, 2007, Gramado, RS. Disponível em: <<http://www.nutricaodeplantas.agr.br/>>. Acesso em 16 de agosto de 2013.

BARBOSA FILHO, M. P. et al. Silicato de cálcio como fonte de silício para o arroz de sequeiro. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 25, p. 325-330, 2001.

BARBOSA FILHO, M. P.; SNYDER, G. H.; PRABHU, A. S.; DATNOFF, L. E.; KORNDÖRFER, G. H. Importância do silício para a cultura do arroz (uma revisão de literatura). **Informações Agronômicas**. Piracicaba, n. 89, p. 1-8, mar. 2000. Encarte técnico.

BARBOSA FILHO, M. P.; SNYDER, G. H.; FAGERIA, N. K.; DATNOFF, L. E.; SILVA, O. F. Silicato de cálcio como fonte de silício para o arroz de sequeiro. **R. Bras. Ci. Solo**, 25:325-30, 2001.

BELTRÃO, N. E. M. **Análise de crescimento não destrutiva**. Campina Grande: EMBRAPA/CNPA, 1998. (Boletim técnico).

BELTRÃO, N. E. M.; SILVA, L. C. Os múltiplos usos do óleo da mamoneira (*Ricinus communis* L.) e a importância do seu cultivo no Brasil. **Fibras e Óleos**, n. 31, p. 7, 1999.

BELTRÃO, N. E. M.; CARTAXO, W. V.; PEREIRA, S. R. P.; SOARES, J. J.; SILVA, O. R. R. F. O cultivo sustentável da mamona no semi-árido brasileiro. Campina Grande, PB: Embrapa Algodão, 2005. 23p. (**Circular técnica, 84**).

BELTRÃO, N. E. M.; GONDIM, T. M. S.; PEREIRA, J. R.; SEVERINO, L. S.; CARDOSO, G. D. Estimativa da produtividade primária e participação de assimilados na cultura da mamona no semi-árido brasileiro. **Revista Brasileira de Oleaginosas e Fibrosas**. Campina Grande, PB, v.9, n.1/3, p. 925-930, 2005.

BELTRÃO, N. E. M.; AZEVEDO, D. M. P.; LIMA, R. L. S.; QUEIROZ, W. N.; QUEIROZ, W. C. Ecofisiologia. In: AZEVEDO, D. M. P.; BELTRÃO, N. E. M. (Ed.) **O agronegócio da mamona no Brasil**. 2.ed. Campina Grande: Embrapa Algodão, Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2007. p.43-72.

BELTRÃO, N. E. M.; OLIVEIRA, M. I. P. EMBRAPA. 2007. **Tecnologia a serviço da convivência com o semi-árido**. Disponível em: <<http://www.embrapa.br/embrapa/imprensa/noticias/2007/julho/1a-semana/noticia.07-04-7143579526>>. Acesso em: 25 março 2012.

BELTRÃO, N. E. M.; OLIVEIRA, M. I. P. Diferenciação na Produção de Energia Entre Oleaginosas (Metabolismo C3) e Energéticas (C4). Campina Grande: Embrapa Algodão, 2008. 30p. (**Documentos, 198**).

BELTRÃO, N. E. M.; LUCENA, A. M. A.; OLIVEIRA, M. I. P.; ALBUQUERQUE, F. A. Ecofisiologia da mamoneira (*Ricinus communis* L.). In: BELTRÃO, N. E. de M.; OLIVEIRA, M. I. P. de (Ed). **Ecofisiologia das culturas de algodão, amendoim, gergelim, mamona, pinhão-manso e sisal**. Campina Grande: Embrapa Algodão, Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2011. P.195-256.

BENINCASA, M. M. P. **Análise de crescimento de plantas**. Jaboticabal, FUNEP, 2003. 41 p.

BEZERRA NETO, E.; BARRETO, L. P. **Análises químicas e bioquímicas em plantas**. Recife:UFRPE. Editora Universitária da UFRPE. Cap.37.267p. 2011.

BLOOM, P. R.; ERICH, M. S. The quantitation of aqueous aluminum. In: SPOSITO, G.(Coord.). **The Environmental chemistry of aluminum**. 2nd ed. Boca Raton : CRC Press,1996. p. 1-38.

BOLOGNA, I. R.; FARONI, C. E.; LANGE, A.; TRIVELIN, P. C. O. Perda de nitrogênio pela parte aérea de plantas de trigo. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 36, n. 4, p. 1106-1111, jul/ago. 2006.

BRAGA, J. M.; DEFELIPO, B. V. Determinação espectrofotométrica de fósforo em extratos de solo e material vegetal. **Revista Ceres**, Viçosa, MG, v. 21, p. 73-85, 1974.

BRANDÃO, Z. N.; FERREIRA, G. B.; SOFIATTI, V.; LIMA, R. L. S.; MEDEIROS, J. C.; Uso de nitrogênio e fósforo e seus efeitos na nutrição do algodoeiro irrigado. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v.7, n. 2, p. 213-218, 2012.

BRANDELERO E.; PEIXOTO, C. P.; M SANTOS, J. M. B.; MORAES, J.C.C , PEIXOTO, M. F. S. P. SILVA V. **Índices fisiológicos e rendimento de cultivares de soja no Recôncavo Baiano**. Magistra, Cruz das Almas, v. 14, p. 77-88. 2002.

BRASIL. Decreto lei n. 2954, de 16 de janeiro de 1980. Aprova o regulamento da lei nº 6894 que dispõe sobre a inspeção e fiscalização da produção e do comércio de fertilizantes,

corretivos, inoculantes ou biofertilizantes destinados à agricultura, e dá outras providências. **Normas Jurídicas**, DEC 004954, p. 27, 14 jan. 2004.

BRITO NETO, J. F. de; BELTRAO, N. E. de M.; FREITAS, J. G.; MOTA, J. R.; VALE, L. S. **Zinco e nitrogênio: efeito sobre o crescimento e produção da mamoneira**. CONGRESSO BRASILEIRO DE MAMONA, 5.; SIMPÓSIO INTERNACIONAL DE OLEAGINOSAS ENERGÉTICAS, 2.; FÓRUM CAPIXABA DE PINHÃO-MANSO, 1., 2012, Guarapari. Desafios e Oportunidades: **anais**. Campina Grande: Embrapa Algodão, 2012. p. 335.

BULL, L. T. Nutrição mineral do milho. In: BULL, L. T.; CANTARELLA, H. (ED). **Cultura do milho: fatores que afetam a produtividade**. Piracicaba: POTAFÓS, p. 63-145, 2003.

BUZZETTI, S.; BAZANINI, G. C.; FREITAS, J. G.; ANDREOTTI, M.; ARF, O.; SÁ, E. M.; MEIRA, F. A. Resposta de cultivares de arroz a doses de nitrogênio e do regulador de crescimento cloreto de clormequat. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 41, n. 12, p. 1731-1737, 2006.

RIBEIRO, S.; CHAVES, L. H. G.; GUERRA, H. O. C.; GHEYI, H. R.; LACERDA, R. D. Resposta da mamoneira cultivar BRS-188 Paraguaçu à aplicação de nitrogênio, fósforo e potássio. **Revista Ciência Agronômica**, 40, 465-473. 2009.

CAMARGO, A. P. M.; ZABINI, A. V. **Diagnóstico nutricional da mamoneira em resposta a adubação foliar no oeste da Bahia**. In: Congresso Brasileiro de Plantas Oleaginosas, Óleos, Gorduras e Biodiesel, 2, 2005. Varginha. Resumos expandidos... Lavras: UFLA, 2005. CD Rom.

CAMARGO; J. M. M.; MORAES; J. C.; OLIVEIRA; E. B. DE; PENTEADO; S. R. C. DO; CARVALHO, R. C. Z. Efeito da aplicação do silício em plantas de *Pinus taeda* L., sobre a biologia e morfologia de *Cinara atlantica* (Wilson) (Hemiptera: Aphididae). **Ciênc. agrotec.** Lavras, v.32, n.6, 2008.

CANECCCHIO FILHO, V.; FREIRE, E.S. Adubação da mamoneira: experiências preliminares. **Bragantia**, v.17, p.243-259, 1958.

CANTARELLA, H. Nitrogênio. In: NOVAIS, R.F.; ALVAREZ V., V.H.; BRARROS, N. F. de; FONTES, R. L. F.; CANTARUTI, R. B.; NEVES, J. C. L. (Ed.). **Fertilidade do solo**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007. p.375-470.

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.

CAPUANI S., RIGON J. P. G; NETO J. F. B.; BELTRÃO N. J. E. M.; ALMEIDA D. Índice de clorofila durante o desenvolvimento da mamoneira sob adubação nitrogenada e silicatada. **Enciclopédia Biosfera**, v.7, n.13; p 656, 2011.

CARNEIRO, J. G. A. Determinacao da qualidade de mudas de *Pinus taeda* L. para plantio definitivo. **Revista Floresta**, Curitiba, v. 8, n. 1, p. 63-68, 1978.

CARVALHO, D. B. de; PISSAIA, A. Cobertura nitrogenada em girassol sob plantio direto na palha: Teores de nutrientes nas folhas. **Revista Acadêmica Ciências Agrárias e Ambientais**, v.2, p.65-72, 2004.

CHAVES, L. H. G.; BARROS JR., G.; LACERDA, R. D.; CABRAL, P. C.; CUNHA, T. H. C. Resposta da mamoneira adubada com zinco e cobre. **Engenharia Ambiental: Pesquisa e Tecnologia**, v. 6, n. 3, p. 306-319, 2009.

CHAVES, L. H. G.; ARAUJO, D. L. Fitomassa e producao da mamoneira BRS Nordestina adubada com NPK. **Engenharia Ambiental: Pesquisa e Tecnologia**, v.8, n.1, p. 222- 231, 2011.

CHENEY, J. H.; KETTERINGS, Q. M.; ORLOSK, J. L. Plant and soil elemental status as influenced by multi-year nitrogen and potassium fertilization. **Journal of Plant Nutrition**, New York, v. 27, n. 6, p. 991-1014, 2004.

CHIAVEGATO, E. J. Utilização de sensor óptico ativo para detectar deficiência foliar de nitrogênio em algodoeiro. **Revista. Brasileira. Engenharia. Agrícola. E Ambiental.** v.13, n. 2, p.137–145, 2009.

CHIERICE, G. O.; NETO, S. C. Aplicação industrial. In: AZEVEDO,D. M. P.; BELTRÃO, N. E.(Ed) **O agronegócio da mamona no Brasil**. 2.ed. Campina Grande: Embrapa Algodão,Brasília: Embrapa Informações Tecnológicas, 2007.p.418-447.

CONAB - Companhia Nacional de Abastecimento. **Acompanhamento de safra brasileira: grãos, décimo segundo levantamento, setembro 2013**. Brasília: CONAB, 2013. Disponível em:<<http://consultaweb.conab.gov.br/consultas/consultaPgm.do?method=acaoListarConsulta>>. Acesso em: 10 set. 2013.

COSTA, F. X.; BELTRÃO, N. E. M. B.; MELO FILHO, J. S.; SILVA, D. P.; DANTAS, G. F.; SILVA, F. E. A. **Avaliação da fisiologia e bioquímica da mamoneira em função da aplicação de composto orgânico de lixo e torta de mamona como fertilizantes**. Engenharia Ambiental, Espírito Santo do Pinhal, v. 8, n. 1, p. 101-109, 2011.

CRUSCIOL, C. A. C.; SORATTO, R. P.; SILVA, L. M.; LEMOS, L. B. Aplicação de enxofre em cobertura no feijoeiro em sistema de plantio direto. **Bragantia**, Campinas, v. 65, n. 3, p. 459-465, 2006.

CRUZ, J. L.; PELACANI, C. R.; CARVALHO, J. E.; SOUZA FILHO, L. F. S.; QUEIROZ, D. C. Níveis de nitrogênio e a taxa fotossintética do mamoeiro “golden”. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 37, n. 1, p. 64-71, 2007.

DATNOFF, L. E.; SNYDER, G. H.; KORNDÖRFER, G. H. (Coords.). **Silicon in agriculture**. Amsterdam: Elsevier Science, p. 149-158. 2001.

DEREN, C.W.; DATNOFF, L.E.; SNYDER, G.H. & MARTIN, F.G. Silicon concentration, disease response, and yield components of rice genotypes grown on flooded organic histosols. **Crop Sci.**, 34:733-37, 1994.

DEREN, C. W. **Plant genotypes, silicon concentration and silicon related responses.** In: DATNOFF LE, SNYDER GH & KORNDÖRFER GH (Eds.) **Silicon in Agriculture.** Amsterdam, Elsevier Science. p.149-158, 2001.

DECHEN, A. R.; NACHTIGALL, G. R. Micronutrientes. In: FERNANDES, M. S. (Ed.). **Nutrição mineral de plantas.** Viçosa, MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2006. p. 326-354

DINIZ NETO, M. A. ; DA SILVA, I. F.; DINIZ, B. L. M. T.; PEREIRA, A. A.; PEREIRA, A. R. Componentes de produção de mamona em função de níveis de adubação nitrogenada e desfolha. **Rev. Ciênc. Agron.** vol.43 no.3. 2012.

DURÂES, M. A. **Resposta de duas populações de feijões (*Phaseolus vulgaris* L.) tratadas com ácido salicílico e submetidas à estresse hídrico.** Presidente Prudente, SP, 2006. 32f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Curso de Pós-Graduação em Agronomia, Universidade do Oeste Paulista/UNOESTE.

D'YAKOV, A. B. Properties of photosynthesis. In: MOSHKIN, V. A. (Ed), **Castor.** New Delhi: Amerind, 1986. p. 65-67.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA BRASILEIRA ALGODÃO. **Adubação da mamoneira.** Campina Grande: Embrapa Algodão, 2007. 1 folder

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos.** 2. ed. Rio de Janeiro: EMBRAPA-SPI, 2009. 412p.

EPSTEIN, E. Silicon. **Annual Review of Plant Physiology Plant Molecular Biology,** Palo Alto, v. 50, p. 641-664, 1999.

EPSTEIN, E. **Silicon in plants: Facts vs concepts**, p.1-15. In L.E. Datnoff, G.H. Snyder & G.H. Korndörfer (eds.), *Silicon in agriculture*. The Netherlands, Elsevier Science, 403p. 2001.

EPSTEIN, E.; BLOOM, A. J. **Nutrição mineral de plantas: princípios e perspectivas**. Londrina: Editora Planta, 2006. 403p.

FARIA, R. J. **Influência do silicato de cálcio na tolerância do arroz de sequeiro ao déficit hídrico do solo**. 2000. 47 p. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas)-Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2000.

FARIAS, A. T. V.; **Crescimento e desenvolvimento do algodoeiro em função de doses de silício e ácido salicílico**. 2012. 58 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Agrárias), Área de Concentração: Agrobioenergia e Agricultura Familiar - Universidade Estadual da Paraíba, Campina Grande, PB, 2012.

FAO - FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS. **FAOSTAT: Production crops – castor oil seed**, 2013. Available: <<http://faostat.fao.org/site/567/DesktopDefault.aspx?PageID=567#ancor>>. Access: 8 out. 2013.

FAWE, A.; MENZIES, J. G.; CHÉRIF, M.; BÉLANGER, R. R. Silicon and disease resistance in dicotyledons. In: DATNOFF, L. E.; SNYDER, G. H.; KORNDÖRFER, G. H. (Coords.). *Silicon in agriculture*. Amsterdam: Elsevier Science, 2001. p. 159-170.

FELIPPE, G. M. **Desenvolvimento**. In: FERRI, M.G (coord.). *Fisiologia Vegetal*. São Paulo: EPU / EDUSP, 1979. p. 1 –38.

FERREIRA, G. B. ; SANTOS, A. C. DOS; XAVIER, R. M.; SEVERINO, L. S.; BELTRÃO, N. E. M. DE; DANTAS, J. P.; FERREIRA, M. M. M.; MORAES C. R. DE A.; SMIDERLE, O. J.; MILANI, M.; SOFIATTI, V.; FERREIRA, G. B. **Diagnose de eficiências minerais na cultura da mamona (*Ricinus communis* L.) e seu controle**. Boa Vista: Embrapa Roraima, 2008. 51 p. (Documentos, 10).

FREIRE, R. M. M.; LIV, S. S.; MACHADO, O. L. T.; Ricinoquímica e Co-Produtos. In: AZEVEDO, D. M. P.; BELTRÃO, N. E. (Ed) **O agronegócio da mamona no Brasil**. 2.ed. Campina Grande: Embrapa Algodão, Brasília: Embrapa Informações Tecnológicas, 2007. p.450-473.

FRIEDRICH, J. W.; SCHRADER, L. E. Sulfur deprivation and nitrogen metabolism in maize seedlings. **Plant Physiology**, Rockville, v. 61, p. 900-903, 1978.

FONTES, P. C. R.; DIAS, E. N.; SILVA, D. J. H. Dinâmica do crescimento, distribuição de matéria seca na planta e produção de pimentão em ambiente protegido. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v.23, n.1, p.94-99, jan.-mar. 2005.

FURTINI NETO, A. E. e CARVALHO, J. G. (Eds.). **Interrelação fertilidade, biologia do solo e nutrição de plantas**. Lavras: SBCS, 1999. p.267-319.

GONDIM, T. M. S.; **Arranjos espaciais e sua influência no consórcio mamoneira precoce e feijão caupi**. Areia:UFPB/CCA, 2011. 177 f. Tese (Doutorado em Agronomia) – Universidade Federal da Paraíba, Centro de Ciências Agrárias, Areia, 2011.

GOMES, F. B.; MORAES J. C.; SANTOS C. D.; ANTUNES C. S.; Uso de Silício como Indutor de Resistência em Batata a *Myzus persicae* (Sulzer) Depto. Química Univ. Federal de Lavras, MG. **Neotropical Entomology**. 37(2):185-190. 2008.

GOMES, F. B., MORAES, J. C.; SANTOS, C. D.; GOUSSAIN, M. M. Resistance induction in wheat plants by silicon and aphids. **Sci. Agric.** 62: 547-551, 2005. Disponível em: <>. Acesso em 15 de Agosto de 2013.

GOUSSAIN, M. M.; MORAES, J. C.; CARVALHO, J. G.; NOGUEIRA, N. L.; ROSSI, M. L. Efeito da Aplicação de Silício em Plantas de Milho no Desenvolvimento Biológico da Lagarta-do-Cartucho *Spodoptera frugiperda* (J. E. Smith) (Lepidoptera: *Noctuidae*). **Neotrop. Entomol.** v.31 n.2. Londrina, 2002.

GUIMARAES, A. S. SANTOS, N. R.; BELTRÃO, N. E. M. Fontes e doses crescentes de adubos organicos e mineral no crescimento inicial de pinhão manso. **Mens agitat**, Boa Vista, v. 04, n. 1, p. 17-22, 2009.

JESUS, S. V.; MARENCO, R. M. **O Spad-502 como alternativa para a determinação dos teores de clorofila em espécies frutíferas**. vol. 38(4) 2008:

KARBAN, R.; MYERS, J. H. Induced plant responses to herbivory. *Annu. Rev. Ecol. Syst.* 20: 331-348, 1989.

KARDONI, F.; MOSAVI, S. J. S.; PARANDE, S.; TORBAGHAN, M. E. Effect of salinity stress and silicon application on yield and component yield offaba bean (*Vicia faba*). *Intl J Agri Crop Sci.* Vol. 6(12), 814-818, 2013.

KIRKBY, E. A.; RÖMHELD, V. Micronutrientes na fisiologia de plantas: Funções, absorção e mobilidade. IPNI. **Informações Agronômicas**, n.118, 2007.

KORNDÖRFER, G. H. et al. Efeito do silicato de cálcio no teor de silício e na produção de grãos de arroz de sequeiro. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 23, p. 635-41, 1999.

KORNDÖRFER, G. H.; COELHO, N. M.; SNYDER, G. H.; MIZUTANI, C. T. Avaliação de métodos de extração de silício para solos cultivados com arroz de sequeiro. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 23, n. 1, p.101-106, jan./mar. 1999.

KORNDÖRFER, C. M.; ABDALLA, A. L.; BUENO, I. C. da S. O silício e as gramíneas no cerrado. **Veterinária Notícias**, v. 7, n. 2, 20p., 2001.

KORNDÖRFER, G. H.; PEREIRA, H.; CAMARGO, M. S. **Silicatos de cálcio e magnésio na agricultura**. 2. ed. Uberlândia: Universidade Federal de Uberlândia, Instituto de Ciências Agrárias, 2003. 15 p. (Boletim técnico, 1)

KORNDORFER, G. H. Elementos benéficos. In: FERNANDES, M. S. (Ed.) **Nutrição Mineral de Plantas**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo. p.356-37. 2006.

KORNDÖRFER, G. H. Uso de Silício na Agricultura. **Informações Agronômicas**. n. 117. p. 9-11, 2007.

KORNDÖRFER, G. H.; OLIVEIRA, L. A. Uso de Silício em culturas Comerciais. In: RODRIGUES, F. A. (Ed.). **Silício na Agricultura: Anais do V Simpósio Brasileiro sobre Silício na Agricultura**. Viçosa, MG: UFV. 2010. p. 03-26.

LANGE, A.; MARTINES, A. M.; SILVA, M. A. C.; SORREANO, M. C. M.; CABRAL, C. P.; MALAVOLTA, E. Efeito de deficiência de micronutrientes no estado nutricional da mamoneira cultivar Íris. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 40, n. 1, p. 61-67, 2005.

LARCHER, W. **Ecofisiologia vegetal**. São Paulo: Rimas Artes, 2006. 531p.

LAVRES JUNIOR, J.; BOARETTO, R. M.; SILVA, M. L. S.; CORREIA, D.; CABRAL, C. P.; MALAVOLTA, E. Deficiências de macronutrientes no estado nutricional da mamoneira cultivar Íris. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 40, n. 2, p.145-151, 2005.

LEITE, G. L. D.; COSTA, C. A. ; ALMEIDA, C. I. M.; PICANÇO, M.; Efeito da adubação sobre a incidência de traça-do-tomateiro e alternaria em plantas de tomate. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v. 21, n. 3, p.448-451,2003.

LIMA,. F.; SILVA, W.; PEIXOTO, C. P.; BORGES,V. P.; SATURNINO, E. A.; MACHADO, J. S.; SILVA, L. D.; NASCIMENTO, A. C.; SOUZA, N. C. D. S.; CEDRAZ, K. A. Análise de crescimento de cultivares de mamoneira (*Ricinus communis* L.) nas condições agroecológicas do recôncavo baiano. in: congresso brasileiro de mamona, 3 ; ENERGIA E RICINOQUÍMICA, 2008. Campina Grande, PB, 2008. **Anais...** Campina Grande: Embrapa Algodão, 2008. 1 CD-ROM.

LIMA FILHO, O. F. Aspectos Gerais sobre o Silício em Solos, Plantas e Animais. In:

RODRIGUES, F. A. (Ed.). **Silício na Agricultura:** Anais do V Simpósio Brasileiro sobre Silício na Agricultura. Viçosa, MG: UFV. 2010. p. 47-60.

LIMA FILHO, O. F.; O silício e a resistência das plantas ao ataque de fungos patogênicos. **Artigos 1/8.** Embrapa-Dourados, Mato Grosso do Sul. Artigos. 2013. Disponível em: <www.cpaq.embrapa.br/artigos/>. Acesso em 13 de Agosto de 2013.

LIMA SILVA, M. I. de; FREIRE, M. A. de O.; SAMPAIO, L. R. Acúmulo de fitomassa e componentes de produção da mamoneira em função de desfolhamento e adubação nitrogenada. In :Congresso brasileiro de mamona: energia e ricinoquímica, Campina Grande, PB, 2008. **Anais...** Campina Grande: Embrapa Algodão, 2008. 1 CD-ROM.

LOPES, A. S.; WIETHÖLTER, S.; GUILHERME, L. R. G.; SILVA, C. A. **Sistema plantio direto: Bases para o manejo da fertilidade do solo.** Disponível em: <<http://www.anda.org.br/>>. Acesso em 15 de Agosto de 2013.

LUX, A.; LUXOVÁ, M.; HATTORI, T.; INANAGA, S.; SUGIMOTO, Y. Silicification in sorghum (*Sorghum bicolor*) cultivars with different drought tolerance. **Plant Physiology**, Washington, DC, v. 115, p. 87–92, 2002.

MA, J. F.; YAMAJI, N. Silicon uptake and accumulation in higher plants. **Trends in Plant Science.** V. 11, p. 392-397, 2006.

MA, J. F.; TAKAHASHI, E. **Soil, fertilizer and plant silicon research in Japan.** Amsterdam: Elsevier Science, 2002. 274 p.

MAGALHÃES, A. C. N. Análise quantitativa do crescimento. In: FERRI, M. G. **Fisiologia vegetal.** São Paulo, EPU: 1985. v. 1. P. 333-350.

MALAVOLTA, E.; VITTI, G. C.; OLIVEIRA, S. A. **Avaliação do estado nutricional das plantas.** Associação Brasileira para Pesquisa da Potassa e do Fos-fato, 2.ed. Piracicaba, 1997. 319 p.

MALAVOLTA, E. **Elementos de nutrição mineral de plantas**. São Paulo: Agronômica Ceres, 1980. 215 p.

MALAVOLTA, E.; GOMES, F. P.; ALCARDE. J. C. **Adubos e adubações**. São Paulo: Nobel, 2002. 200p.

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

MARSCHNER, H. **Mineral nutrition of higher plants**. 3 ed. London, Academic Press, 643p., 2012.

MATEUS, G. P.; CRUSCIOL, C. A. C.; SANTANA, E. BORGHI, É. Adubação nitrogenada em híbridos de mamona no sistema de semeadura direta In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 32, 2009, Fortaleza. **Anais...** Fortaleza: O Solo e a produção de bionergia: Perspectivas e Desafios, 2009. CD

MAUAD, M.; GRASSI FILHO, H.; CRUSCIOL, C. A. C.; CORRÊA, J. C. Teores de Silício no solo e na planta de arroz de terras altas com diferentes doses de adubação silicatada e nitrogenada. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 27, 867-873, 2003.

MENGEL, K.; KIRKBY, E.A. **Principles of plant nutrition**. Dordrecht: Kluwer Academic, 2001. 655 p.

MESQUITA, E. F.; CHAVES, L. H. G.; GUERRA, H. O. C. Fitomassa e componentes da produção da mamona fertilizada com nitrogênio, fósforo e potássio. **Revista Agrarian**, Dourados-MS, v.4, n. 14, p.344-351, 2011.

MESQUITA, E. F.; CHAVES, L. H. G.; GUERRA, H. O. C. **Fitomassa e componentes da produção da mamoneira cultivar Paraguaçu adubada com nitrogênio, fósforo e potássio**. Engenharia Ambiental - Espírito Santo do Pinhal, v. 9, n. 2, p. 094-104, 2012

MORO, E.; **Manejo da adubação nitrogenada em híbridos de mamona de porte baixo cultivados na safra e na safrinha.** Botucatu, 2008. 118 f. Dissertação (Mestrado) - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agronômicas, Botucatu, 2008.

MORO, E.; CRUSCIOL, C. A. C.; OLIVEIRA.; OLIVEIRA, P.; SIPOS, T.B. Fontes e doses de nitrogênio para mamoneira de porte baixo no sistema plantio direto. **Ciência Rural**, v.42, n.10, p.1744-1751, 2012.

MOREIRA, F. M. S.; SIQUEIRA, J. O. **Microbiologia e bioquímica do solo.** 2. ed. Lavras: UFLA, 2006. 729 p.

MOTOMIYA, A. V. A.; LIMA V. P. T., CHIAVEGATO E. J. , DIAS C. T. S. Medidor portátil de clorofila para estimar nitrogênio foliar em algodoeiro.In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ALGODÃO,6, 2007, Uberlândia. **Anais...**, 2007. 1 CD_ROM

NAKAGAWA, J. **Marcha de absorção de nitrogênio, fósforo, potássio, cálcio e magnésio e efeitos da adubação NPK na mamoneira (*Ricinus communis* L.), cultivada em Latossolo Vermelho Amarelo fase arenosa.** Botucatu, 1971. 66p. Tese (Doutorado em Ciências/Agrotecnia e Geologia) – Faculdade de Ciências Médicas e Biológicas de Botucatu, Unesp.1971.

NAKAGAWA, J.; NEPTUNE, A. M. L. Marcha de absorção de nitrogênio, fósforo, potássio, cálcio e magnésio na cultura da mamoneira (*Ricinus communis* L.) cultivar “Campinas”. **Anais da ESALQ**, 28: 323-337, 1971

NÁPOLES, F. A. M. **Tecnologia agroecológica de cultivo do pinhão-manso utilizando urina de vaca e manipueira.** Campina Grande: UFCG/CTRNa, 2012. 127 f. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Campina Grande, Centro de Tecnologia e Recursos Naturais, 2012.

NERY, A. R. **Crescimento e desenvolvimento do pinhão-manso irrigado com águas residuárias e salinizada – segundo ciclo de produção.** Campina Grande: UFCG, 2011.

212 f. Tese Doutorado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal de Campina Grande, Centro de Tecnologia e Recursos Naturais. 2011.

NETTO, A. T.; CAMPOSTRINI, E.; OLIVEIRA, J .C. de; YAMANISHI, O. K. Portable chlorophyll meter for the quantification of photosynthetic pigments, nitrogen and the possible use for assessment of the photochemical process in *Carica papaya* L. **Braz. J. Plant Physiol.** vol.14 no.3 Londrina. 2002.

NOBRE, R. G.; LIMA, G. S. de; GHEYI, H. R.; LOURENÇO, G. S.; SOARES, L. A. A. Emergência, crescimento e produção da mamoneira sob estresse salino e adubação nitrogenada. **Revista Ciência Agronômica**, v. 44, n.1, p.76-85, 2013.

ODUM, E. P. **Ecologia**, Rio de Janeiro: Guanabara, 1985. 201 p.

ODUM, E. P. **Ecologia**. Rio de Janeiro: Guanabara, 1988. 434 p.

OLIVEIRA, F. H. T.; NOVAIS, R. F.; ALVAREZ, V. H.; CANTARUTTI, R. B.; BARROS, N. F. **Fertilidade do solo no sistema plantio direto**. In: ALVAREZ, V. H.; SCHAEFER, C. E. G. R.; BARROS, N. F.; MELLO, J. W. V.; COSTA, L. M. (Ed.). p.393-486. 2002.

OLIVEIRA, P. P. A.; TRIVELIN, P. C. O.; ALVES, A. C.; LUZ, P. H. DE C.; HERLING, V. R. **Métodos para avaliar as perdas de nitrogênio por volatilização da superfície do solo e por emissão de amônia pela folhagem de *Brachiaria brizantha* cv. Marandu**. São Carlos: Embrapa Pecuária Sudeste, 2008, 41 p. (Boletim de pesquisa e desenvolvimento, 16).

OLIVEIRA, L. E. M.; MESQUITA, A. C.; FREITAS, R. B. **Análise de crescimento de plantas**. Lavras: Departamento de Biologia, Universidade Federal de Lavras, 2002. Disponível em: <http://www.dbi.ufla.br/Fvegetal/Analise%20Crescimento.pdf>. Acesso em: 02/07/2012.

PIMENTEL, C. **Metabolismo de carbono na agricultura tropical**. Seropédica: Edur, 1998. 150 p.

PILON, C; **Aplicação de silício solúvel vi a solo e foliar na cultura da batata (*Solanum tuberosum* L.) sob deficiência hídrica** Botucatu – São Paulo-SP, 2011. Dissertação (Mestre em Agronomia), Universidade Estadual de São Paulo – UNESP, Campus de Botucatu, SP, 2011.

PRADO, R. M.; NATALE, W. Efeitos da aplicação da escória de siderurgia ferrocromo no solo, no estado nutricional e na produção de matéria seca de mudas de maracujazeiro. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v.26, n.1, p.140-144, 2004.

PRATISSOLI, D.; ALMEIDA, G.; JESUS JÚNIOR, W. C.; VICENTINI, V. B.; HOLTZ, A.M; COCHETO J. G. Fertilizante organomineral e argila silicatada como indutores de resistência á varíola do mamoeiro. **versión on-line** . Idesia (Chile) Vol. 25, n 2; 63-67, 2007.

QUEIROZ, N. L.; ROCHA, M. S.; ROCHA, M. S.; BELTRÃO, N. E. M.; MENDES, B. S. S. **Teor de pigmentos fotossintetizantes nas folhas em seis linhagens de algodoeiro herbáceo.** In: CONGRESSO BRASILEIRO DE MAMONA, 5 ; SIMPÓSIO INTERNACIONAL DE OLEAGINOSAS ENERGÉTICAS, 2 e I FÓRUM CAPIXABA DE PINHÃO MANSO , 2012, Guarapari. Desafios e Oportunidades: Anais... Campina grande: Embrapa Algodão, 2012. p. 194

RIBEIRO, R.; CHAVES, L. H. G.; GUERRA, H. O. C.; GHEYI, H. R.; LACERDA, R. D. L. Resposta da mamoneira cultivar BRS-188 Paraguaçu à aplicação de nitrogênio, fósforo e potássio. **Rev. Cienc. Agron.**, Fortaleza, v. 40, n. 4, p. 465-473, 2009.

RIBEIRO, S. **Resposta da mamona, cultivar BRS - 188 Paraguaçu, à aplicação de nitrogênio, fósforo e potássio.** Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Campina Grande: UFCG, 2008. 81 p.

REYNOLDS, O. L.; KEEPING, M. G.; MEYER, J. H. Silicon-augmented resistance of plants to herbivorous insects: a review. **Annals of Applied Biology**, n. 155 p. 171–186, 2009.

RIDE, J. P. The role of cell wall interactions in resistance to fungi. **Ann. Appl. Biol.** 89: 302-306. 1978.

RODRIGUES, C. R.; FIGUEIREDO, F. C.; RODRIGUES, T. M. Fungicida com silício: controle eficiente da ferrugem da soja. **Revista Campo & Negócio**, 48:50-54, 2007.

RODRIGUES, C. R. ; LUZ,J. M.Q.; JULIATTI, F. C.; RODRIGUES, T. M.; FIGUEIREDO, F. C. **Aplicação de silício foliar em batata: manejo de doenças**. Disponível em: <<http://www.abbatatabrasileira.com.br/batatashow4/resumos>> Acesso em 13 de agosto de 2013.

RODRIGUES, L. N.; NERY, A. R.; CARVALHO, A. P.; FERNANDES, P. D.; BELTRÃO, N. E. M. **Crescimento foliar da mamoneira irrigada com esgoto doméstico sob diferentes níveis de reposição da evapotranspiração**. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE MAMONA, 2, 2006, Aracajú.

ROSOLEM, C. A. Interação de potássio com outros íons. In: YAMADA, T.; ROBERTS,T. L. (Ed.). **Potássio na agricultura brasileira**. Piracicaba: Instituto da Potassa e do fosfato, Instituto Internacional da Potassa, 2005. P. 239-256.

ROSSATO, O. B.; ANDRADE-SANCHEZ, P.; GUERRA, S. P.;CRUSCIOL,C. A. C.Sensores de refletância e fluorescência na avaliação de teores de nitrogênio, produção de biomassa e produtividade do algodoeiro. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.47, n.8, p. 1133-1141, 2012.

SÁ, J. C. M. **Manejo do nitrogênio na cultura do milho no sistema plantio direto**. Passo Fundo: Aldeia Norte, 1996. 24 p.

SÁ, J. C. M. Manejo da fertilidade do solo no sistema plantio direto. In: SIQUEIRA, J.O; MOREIRA, F. M. S.; LOPES, A. S.; GUILHERME, L. R. G.; FAQUIM, V.; SANTOS, M. C.; **Efeito de diferentes doses de Silício, Nitrogênio e Potássio, na incidência Traça-do-tomateiro, pinta-preta e produtividade de tomate industrial**. (Dissertação de

Mestrado).74 p. Universidade de Brasília /Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária, 2008.

SAS. SAS / STAT 93. USER'S GUIDE. Cary, NC: SAS Institute Inc. 2011, 8621. P.

SANTOS, J. R.; KORNDÖRFER, J. H.; PRABHU, A. S. Eficiência do silício combinado com nitrogênio e tratamento de sementes no controle de doenças do arroz irrigado por inundação. **Biosci. J.** Uberlândia, v.19, n.3, p.43-49, 2003.

SANTOS, A. C. M.; FERREIRA, G. B.; XAVIER, R. M.; FERREIRA, M. M. M.; SEVERINO, L. S.; BELTRÃO, N. E. de M.; DANTAS, J. P.; MORAES, C. R. A. Deficiência de nitrogênio na mamona (*Ricinus communis*): descrição do efeito sobre o crescimento e a produção da cultura. In: Congresso brasileiro de mamona, 1., 2004, Campina Grande. **Anais...** Campina Grande: Embrapa Algodão, 2004. CD.

SANTOS A. B.; PRABHU A. S.; FERREIRA E.; FAGERIA N. K.. **Fertilização silicatada na severidade de brusone, na incidência de insetos-praga e na produtividade de arroz irrigado.** 2007. (Comunicado Técnico, 145).

SAVANT, N. K.; SNYDER, G. H.; DATNOFF, L. E. **Silicon management and sustainable Rice production.** Belle Glade University of Florida, p.199, 1997.

SAVY FILHO, A. Mamona. In: RAIJ, B. van; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J. A.; FURLANI, A. M. C. (Eds). **Recomendações de adubação e calagem para o estado de São Paulo.** 2.ed. Campinas: Instituto Agronômico. 1996. p. 201. (Boletim técnico, 100).

SAVY FILHO, A. **Mamona: tecnologia agrícola.** Campinas: EMOPI, p. 105, 2005.

SCHMIDT, R. E.; ZHANG, X.; CHALMERS, D. R. Response of photosynthesis and superoxide dimutase to silica applied to creeping bentgrass grown under two fertility levels. **Journal of Plant Nutrition**, New York, v. 22, p. 1763-1773, 1999.

SCIVITTARO, W. B.; MACHADO, J. P.; CASTILHOS, R. M. V.; SILVA, S. D. A. **Adubação nitrogenada para cultivares de mamona no rio grande do sul.** 36 p. Pelotas: Embrapa Clima Temperado, 2008. (Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento, 77).

SEVERINO, L. S.; CARDOSO, G. D.; VALE, L. S.; SANTOS, J. W.; Método para determinação da área foliar da mamoneira. **Revista Brasileira de Oleaginosas e Fibrosas**, Campina Grande, PB, v.8, n. 1, p.753-762, 2004.

SEVERINO L. S.; COSTA, F. X.; BELTRÃO, N. E. M.; LUCENA, A. M. A.; GUIMARÃES, M. M. B. Mineralização da torta de mamona, esterco bovino e casca de mamona estimada pela respiração microbiana. **Revista de Biologia e Ciência da Terra**, v.5, n.1, 2004.

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. **Adubação Química da Mamoneira com Macro e Micronutrientes em Quixeramobim, CE.** (Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento, 61). 23p. Campina Grande: Embrapa Algodão, 2005.

SEVERINO, L. S.; MORAES, C. R. DE A.; FERREIRA, G. B.; CARDOSO, G. D.; GONDIM, T. M. DE S.; BELTRÃO, N. E. DE M.; VIRIATO, J. R. **Crescimento e Produtividade da Mamoneira sob Fertilização Química em Região Semi-Árida.** (Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento, 62). 19p. Campina Grande, PB: Embrapa Algodão, 2005.

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**, Brasília, v. 41, p. 563-568, 2006.

SEVERINO, L. S.; FERREIRA, G. B.; MORAES, C. R. A.; GONDIM, T. M. S.; CARDOSO, G. D.; VIRIATO, J. R.; d. BELTRÃO, N. E. M. Produtividade e crescimento da mamoneira em resposta a adubação orgânica e mineral. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 41, n. 5, p. 879-882, 2006. (Notas Científicas).

SEVERINO, L.S; LIMA, R. L. S. DE; ALBUQUERQUE, R. C.; BELTRÃO, N. E. M.; SILVA, M. I. L. **Casca e Torta de Mamona Avaliadas em Vasos como Fertilizantes Orgânicos.** (Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento, 83). 15p. Campina Grande: Embrapa Algodão, 2007.

SEVERINO, L. S.; SANTOS, F. D. S. DOS; FERREIRA, G. B.; SAMPAIO, L. R.; FREIRE, M .A. DE O.; SILVA, D. M. A.; SOFIATTI, V. **Descrição dos Sintomas Visuais de Deficiência de Macroelementos e Boro na Mamoneira.** (Circular Técnica, 125) Campina Grande, PB, 2009.

SIFOL - DIATOM. Mogi das Cruzes. São Paulo. www.sifol.com.br. Acessado em 07 de Agosto de 2013.

SIGMAPLOT. 2008. **For windows, version 11.0.** Systat Software, 2008.

SILVA, C. A.; MOURA, E. P. **Avaliação dos teores foliares da clorofila na cultura do girassol (*Helianthus annuus* L.), em relação às concentrações de nitrogênio.** 2013. 36 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Tecnólogo em Mecanização em Agricultura de Precisão) - Faculdade de Tecnologia de Pompéia “Shunji Nishimura”, Pompéia, São Paulo”, 2013.

SILVA, S. M. S. **Dotações hídricas e populações de plantas na cultura da amoneira cv. BRS Energia.** Campina Grande: UFCG/CTR, 2008. 122 f. Tese (*Doctor Scientiae* em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal de Campina Grande, UFCG, Centro de Tecnologia e Recursos Naturais. Campina Grande, 2008.

SILVA, T. R. B. ; LEITE, V. E.; SILVA, A. R. B.; VIANA, L. H. Adubação nitrogenada em cobertura na cultura da mamona em plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 42, n.9, p. 1357-1359, set. 2007.

SILVA, V. B. D. **Efeito residual da adubação orgânica com torta de mamona e impactos do reuso da água no sistema solo-planta.** Campina Grande, 2010. 88 p.

Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola), Universidade Federal de Campina Grande, Centro de Tecnologia e Recursos Naturais. 2010.

SILVEIRA, P. M. ; DAMASCENO, M. A. Doses e parcelamento de K e de N na cultura do feijoeiro irrigado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 28, n. 11, p. 1269-1276, nov. 1993.

SOFIATTI V., BRITO G G, SILVA F. M. O., BRANDÃO Z. N., SILVA D. M. A., SILVA V. N. B. Determinação da concentração de pigmentos da fotossíntese em folhas de algodoeiro por meio do clorofilômetro portátil clorofilog-10301. CONGRESSO BRASILEIRO DO ALGODÃO, 7., 2009, Foz do Iguaçu. Sustentabilidade da cotonicultura Brasileira e Expansão dos Mercados: **Anais...** Campina grande: Embrapa Algodão, 2009. p. 852-858.

SOFIATTI, V.; GONDIM, T. M. S.; SEVERINO, L. S.; FERREIRA, G. B.; VASCONCELOS, R. A.; OLIVEIRA SILVA, F. M. ; BELO SILVA; V. N.; ALMEIDA SILVA, D. M. Adubação da mamoneira da cultivar BRS Nordestina em condições de sequeiro. CONGRESSO BRASILEIRO DE MAMONA, 4 E SIMPÓSIO INTERNACIONAL DE OLEAGINOSAS ENERGÉTICAS, 1, 2010, João Pessoa. Inclusão Social e Energia: **Anais...** Campina grande: Embrapa Algodão, 2010. p. 410-417.

SOUZA, E. A.; FERREIRA, M. E.; BONO, G.M.; BANZATTO, D. A. Efeitos da fertilização nitrogenada, fosfatada e potássica na produção da mamoneira (*Ricinus communis* L.) **Científica**, São Paulo, v.2, n.2. p. 162-168, 1974.

SOUZA, S. R.; FERNANDES, M. S. Nitrogênio. In: FERNANDES, M. S. (Org.). **Nutrição mineral de plantas**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2006. p. 215-252.

STRACK, D. Phenolic metabolism, p.387-416. In P.M. Dey & J.B. Harborne (eds.), **Plant biochemistry**. London, **Academic Press**, 554p. 1997.

TAVARES, M. da S.; **Eficiência comparativa da adubação orgânica e mineral no crescimento e metabolismo do algodoeiro.** 2013. 52 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia), Área de Concentração: Agricultura Tropical. Universidade Federal da Paraíba, Areia, PB, 2013.

TAIZ, L.; ZIGER, E. **Fisiologia Vegetal.** 3. ed. Porto Alegre: Artmed, 2004a. p.719.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Plant Physiology.** 5. ed. Massachusetts: Sinauer Associates, 2010b. 782 p.

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

THOMPSON, J. N. Evolutionary ecology of the relationship between oviposition preference and performance of offspring in phytophagous insects. **Entomol. Exp. Appl.** 47: 3-24. 1988..

TRENHOLM, L. E.; DUNCAN, R.R; CARRROW, R. N; SNYDER, G. H. Influence of silica on growth, quality, and wear tolerance of seashore paspalum. **Journal of Plant Nutrition**, New York, v. 22, p. 1763-1773, 1999.

TIFFIN, P. Are tolerance, avoidance, and antibiosis evolutionarily and ecologically equivalent responses of plants to herbivores? **Am. Nat.** 155: 128-138. 2000.

YOSHIDA, S.; NAVASERO, S. A.; RAMIREZ, E. A. Effects of silica and nitrogen supply on some leaf characters of the rice plant. **Plant and Soil**, Dordrecht, v.31, n.1, p.48-56, 1969. Ciênc. agrotec., Lavras, v. 35, n. 2, p. 287-290, mar./abr., 2011

WEISS, E. A. Castor. In:WEISS, E. A. **Oil seed crops.** London: Longman, 1983. p. 31-99.

YOSHIDA, S.; NAVASERO, S.A.; RAMIREZ, E.A. Effects of silica and nitrogen supply on some leaf characters of the rice plant. **Plant and Soil**, Dordrecht, v.31, n.1, p.48-56, 1969.

ZHAO, D.; REDDY, K. R.; KAKANI, V. G.; READ, J. J.; KOTI, S. Selection of optimum reflectance ratios for estimating leaf nitrogen and chlorophyll concentrations of field-grown cotton. **Agronomy Journal**, v.97, p.89-98, 2005.