



UNIVERSIDADE FEDERAL DO RECÔNCAVO DA BAHIA  
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS, AMBIENTAIS E BIOLÓGICAS  
CURSO DE CIÊNCIAS BIOLÓGICAS

**KEYLLA SOUZA DOS SANTOS**

**AVALIAÇÃO DO CRESCIMENTO DE CULTIVARES DE  
MAMONEIRA (*Ricinus communis* L.) SUBMETIDAS A  
DIFERENTES CONCENTRAÇÕES DE ALUMÍNIO**

**Cruz das Almas,**

**Fevereiro de 2012.**

**KEYLLA SOUZA DOS SANTOS**

**AVALIAÇÃO DO CRESCIMENTO DE CULTIVARES DE  
MAMONEIRA (*Ricinus communis* L.) SUBMETIDAS A  
DIFERENTES CONCENTRAÇÕES DE ALUMÍNIO**

Monografia apresentada como requisito parcial para a obtenção do grau de Bacharel em Ciências Biológicas, outorgado pela Universidade Federal do Recôncavo da Bahia.

Orientadora: Prof. Dr<sup>a</sup>. Edna Lôbo Machado

**Cruz das Almas,**

**Fevereiro de 2012.**

## FICHA CATALOGRÁFICA

S237

Santos, Keylla Souza dos.

Avaliação do crescimento de cultivares de mamoneira (*Ricinus communis L.*) submetida a diferentes concentrações de alumínio / Keylla Souza dos Santos. Cruz das Almas, BA, 2012.

62f.; il.

Orientadora: Edna Lôbo Machado.

Monografia (Graduação) – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia, Centro de Ciências Agrárias, Ambientais e Biológicas.

1.Mamona – Cultivo. 2.Mamona – Cultivares. 3.Ricinus-Communis.  
I.Universidade Federal do Recôncavo da Bahia, Centro de Ciências Agrárias, Ambientais e Biológicas. II. Título.

## KEYLLA SOUZA DOS SANTOS

### AVALIAÇÃO DO CRESCIMENTO DE CULTIVARES DE MAMONEIRA (*Ricinus communis* L.) SUBMETIDAS A DIFERENTES CONCENTRAÇÕES DE ALUMÍNIO.

Trabalho de conclusão de curso (TCC), apresentada como requisito para a obtenção do grau de Bacharel em Biologia pela Universidade Federal do Recôncavo da Bahia.

Aprovada em 16 de Fevereiro de 2012.

#### Banca Examinadora

Edna Lobo Machado

Dr<sup>a</sup>. Edna Lôbo Machado – Orientadora  
Professora Assistente do CCAAB

Elaine Costa Cerqueira Pereira

Elaine Costa Cerqueira Pereira  
Doutora em Agronomia/Fitotecnia - USP

Maria Selma Alves Silva Diamantino

Maria Selma Alves Silva Diamantino  
Doutoranda em Ciências Agrárias – UFRB

## **Agradecimentos**

A Deus por me conceder o dom da vida, por ser minha fortaleza, meu refúgio e por estar sempre me guiando pelos caminhos do bem.

A meus pais, pelo amor e dedicação, por se esforçarem para que eu e meus irmãos pudéssemos ter sucesso pessoal e profissional.

Aos meus familiares pelo carinho e apoio nos momentos de maior necessidade.

Aos meus amigos por serem presença constante em minha vida, por me incentivar e por entender que os momentos de ausência fizeram parte desta trajetória.

A meu namorado André pelo companheirismo, pelo amor, dedicação, e por acreditar que eu sou capaz.

A minha orientadora Dra Edna, pelos ensinamentos, pela dedicação, pela paciência, e por acima de tudo acreditar no meu potencial.

A amiga Camila, pela amizade, companheirismo e cumplicidade ao longo desses anos.

Ao grupo NBIO, em especial: Camila, Luciel, Helison, Paulo, Ciro, Dyane e Selma pelos momentos de carinho e pela amizade construída ao longo desses anos de convivência.

Aos Professores Rogério Ribas e Fabiano Martins pelo carinho, disponibilidade e dedicação e, principalmente, por contribuir para a realização deste trabalho.

Aos professores, pelos ensinamentos, carinho e responsabilidade para com a nossa formação.

**Ainda que eu falasse as línguas dos homens e dos anjos,  
e não tivesse amor, seria como o metal que soa ou como o sino que tine.**

**1 Coríntios 13:1**

## SUMÁRIO

1. Introdução Geral.....	14
2. Objetivos.....	15
2.1 Geral.....	15
2.2 Específicos.....	16
3. Revisão de Literatura.....	16
3.1 Descrição da Espécie ( <i>Ricinus communis</i> L.).....	16
3.2 Importância do cultivo da mamona.....	17
3.3 Acidez do solo causada por altas concentrações de alumínio.....	18
3.4 Efeitos do alumínio nas plantas.....	19
3.5 Mecanismos de tolerância ao Alumínio.....	21
3.6 Efeitos do Alumínio na fisiologia de plantas.....	22
4. Referências Bibliográficas.....	24
<b>Capítulo I: Crescimento da mamoneira submetida a diferentes concentrações de alumínio por meio da técnica hidropônica.....</b>	<b>28</b>
1. Resumo.....	29
2. Abstract.....	30
3. Introdução.....	31
4. Material e Métodos.....	32
5. Resultados e Discussão.....	36
6. Conclusão.....	38
7. Referências Bibliográficas.....	40
<b>Capítulo II : Caracterização morfológica e Fisiológica de duas cultivares de mamoneira submetidas a diferentes concentrações de alumínio.....</b>	<b>41</b>

1. Resumo.....	42
2. Abstract.....	43
3. Introdução.....	44
4. Material e Métodos.....	45
4.1 Avaliações Morfológicas.....	45
4.2 Avaliações Fisiológicas.....	48
5. Resultados e Discussão.....	49
5.1 Avaliações Morfológicas.....	49
5.2 Avaliações Fisiológicas.....	57
6. Conclusão.....	62
7. Referências Bibliográficas.....	63

## LISTA DE TABELAS

- Tabela 1-** Macronutrientes utilizados para hidroponia em *Ricinus communis* L.....32
- Tabela 2 -** Micronutrientes utilizados para hidroponia em *Ricinus communis* L... .33
- Tabela 3.** Comparação de médias entre os genótipos BRS 129 Nordestina e EBDA MPB 01 para o caráter comprimento da parte aérea (CPA) e Diâmetro do Caule (DC).....36
- Tabela 4-** Macronutrientes utilizados para hidroponia em *Ricinus communis* L....46
- Tabela 5 -** Micronutrientes utilizados para hidroponia em *Ricinus communis* L....46
- Tabela 6.** Comparação de médias entre os genótipos EBDA MPA 16 e EBDA MPB 01 para os caracteres: Peso seco da folha (PSF), Comprimento do caule (CCA), Diâmetro do caule (DC), Peso seco do caule (PSC), Área foliar (AF), Peso seco da raiz (PSR) e Número de folhas (NF).....50
- Tabela 7.** Comparação de médias entre os genótipos EBDA MPA 16 e EBDA MPB 01 para os caracteres: Fotossíntese líquida (A), Condutância estomática (gs), Transpiração (E) e Concentração de CO<sub>2</sub> na Atmosfera (Ca).....58

## Lista de Figuras

- Figura 1** - Semente pré- geminada com aproximadamente 2mm de raiz e a disposição das sementes em fileiras.....34
- Figura 2** - Telas com as sementes acopladas ao recipiente contendo solução nutritiva completa e um sistema de aeração.....34
- Figura 3** - Tanque de hidropônia indicando o sistema de iluminação permanente, as resistências adaptadas ao tanque mantendo a temperatura da água em 25° e o sistema de aeração com tubos ligados aos vasos com as amostras.....35
- Figura 4** – Efeitos do alumínio sobre o comprimento da parte aérea em cultivares submetidas a diferentes doses de alumínio (0, 50, 70, 90 e 120 ppm de  $Al^{3+} L^{-1}$ ).....37
- Figura 5** – Efeitos do alumínio sobre o diâmetro do caule em cultivares submetidas a diferentes doses de alumínio (0, 50, 70, 90 e 120 ppm de  $Al^{3+} L^{-1}$ ).....38
- Figura 6** – Delineamento experimental utilizado, sendo que os genótipos estão dispostos em: **1** EBDA MPA 16 e em **2** EBDA MPB 01. O delineamento utilizado foi blocos por tratamento, sendo em **A**: para a dose 0 ppm Al, em **B**: para a dose 15 ppm de Al, em **C**: para a dose 30 ppm de Al, em **D**: para a dose de 45 ppm de Al e em **E** para a dose de 60 ppm de Al.o sistema de aeração com tubos ligados aos vasos com as amostras.....48
- Figura 7** – Sistema de medição de trocas gasosas portátil LC-pro+ (ADC Bioscientific Ltd., England) equipado com uma fonte de luz azul/vermelho.....49
- Figura 8** – Efeitos do alumínio sobre o massa seca da raiz em cultivares de mamoneira EBDA MPA 16 e EBDA MPB 01 47 dias após emergência submetidas a diferentes doses de alumínio.....51
- Figura 9** – Efeitos do alumínio sobre número de folhas em cultivares de mamoneira EBDA MPA 16 e EBDA MPB 01 47 dias após emergência submetidas a diferentes doses de alumínio.....52
- Figura 10** – Efeitos do alumínio sobre o Massa seca da folha em cultivares de mamoneira EBDA MPA 16 e EBDA MPB 01 47 dias após emergência submetidas a diferentes doses de alumínio.....53

<b>Figura 11</b> – Efeitos do alumínio sobre a área foliar em cultivares de mamoneira EBDA MPA 16 e EBDA MPB 01 47 dias após emergência submetidas a diferentes doses de alumínio.....	54
<b>Figura 12</b> – Efeitos do alumínio sobre o comprimento da parte aérea em cultivares de mamoneira EBDA MPA 16 e EBDA MPB 01 47 dias após emergência submetidas a diferentes doses de alumínio.....	55
<b>Figura 13</b> – Efeitos do alumínio sobre o massa seca do caule em cultivares de mamoneira EBDA MPA 16 e EBDA MPB 01 47 dias após emergência submetidas a diferentes doses de alumínio.....	56
<b>Figura 14</b> – Efeitos do alumínio sobre o diâmetro do caule em cultivares de mamoneira EBDA MPA 16 e EBDA MPB 01 47 dias após emergência submetidas a diferentes doses de alumínio.....	57
<b>Figura 15</b> – Efeitos do alumínio sobre a taxa de fotossíntese líquida em cultivares de mamoneira EBDA MPA 16 e EBDA MPB 01 47 dias após emergência submetidas a diferentes doses de alumínio.....	59
<b>Figura 16</b> – Efeitos do alumínio sobre a condutância estomática em cultivares de mamoneira EBDA MPA 16 e EBDA MPB 01 47 dias após emergência submetidas a diferentes doses de alumínio.....	60
<b>Figura 17</b> – Efeitos do alumínio sobre a Transpiração em cultivares de mamoneira EBDA MPA 16 e EBDA MPB 01 47 dias após emergência submetidas a diferentes doses de alumínio.....	61
<b>Figura 18</b> – Efeitos do alumínio sobre a Razão entre a oncentração de CO <sub>2</sub> no mesofilo foliar e na atmosfera em cultivares de mamoneira EBDA MPA 16 e EBDA MPB 01 47 dias após emergência submetidas a diferentes doses de alumínio.....	62

## **AVALIAÇÃO DO CRESCIMENTO DE CULTIVARES DE MAMONEIRA (*Ricinus communis* L.) SUBMETIDAS A DIFERENTES CONCENTRAÇÕES DE ALUMÍNIO**

**RESUMO** - O presente estudo teve por objetivo avaliar o crescimento de cultivares de mamoneira submetidas a diferentes dosagens de alumínio. Para tanto, foram realizados dois experimentos: o primeiro em cultivo hidropônico, para a aferição de caracteres morfológicos relacionados ao crescimento da parte aérea. E o segundo com cultivo em substrato, onde foram avaliados caracteres morfológicos e fisiológicos indicativos de tolerância ao alumínio citotóxico. Os resultados obtidos para ambos os experimentos comprovam o efeito tóxico do alumínio para o crescimento da mamoneira. A cultivar BRS 129 Nordestina apresentou melhor resposta ao alumínio em relação a EBDA MPB 01, para as avaliações em cultivo hidropônico. Já para o cultivo em substrato a cultivar EBDA MPA 16 mostrou-se superior em relação a EBDA MPB 01, para as avaliações morfológicas, enquanto que para as avaliações fisiológicas a cultivar EBDA MPB 01 revelou-se superior em relação a EBDA MPA 16. As duas técnicas aplicadas apresentaram resultados satisfatórios para a avaliação de tolerância ao metal alumínio em cultivares de mamoneira.

**Palavras-Chave:** Oleaginosa, tolerância ao alumínio, melhoramento.

## EVALUATION OF GROWTH OF CULTIVARS CASTOR BEAN (*Ricinus communis* L.) UNDER DIFFERENT CONCENTRATIONS OF ALUMINUM

**Abstract:** This study aimed to evaluate the growth of castor bean cultivars submitted to different concentrations of aluminum. To this end, two experiments were conducted: the first in a hydroponic system for the measurement of morphological traits related to growth of the air portion. And the second, with soil cultivation, were evaluated morphological and physiological indicators of tolerance to aluminum cytotoxic. The results for both experiments prove toxic effects of aluminum for the growth of castor bean. The Northeastern BRS 129 showed a better response to aluminum in relation to EBDA MPB 01, to assessments in hydroponics. for the cultivation to grow on substrate 16 EBDA MPA was shown to be superior to EBDA MPB 01 for the morphological, while for the physiological assessment cultivating EBDA MPB 01 proved to be superior to EBDA MPA 16. The two techniques applied showed satisfactory results for the evaluation of aluminum tolerance in cultivars of castor bean.

**Keywords:** Oliaginosa, tolerance, improvement.

## 1. INTRODUÇÃO GERAL

A mamoneira (*Ricinus communis* L.) engloba um vasto número de tipos de plantas que são nativas da região tropical, possui hábito arbustivo, com caule, folhas e cachos com coloração diversificada. Os seus frutos possuem espinhos, que em geral, são inermes, e suas sementes apresentam grande diversidade de tamanho, cor e forma (AZEVEDO et al., 1997). De acordo com Fomazieri Júnior (1986) *apud* Azevêdo et al (1997) em um levantamento realizado na década de 70, foram encontrados 90 tipos diferentes de mamoneira, o que demonstra a elevada heterogeneidade da cultura no Brasil.

A característica chave da ricinocultura é a grande quantidade de óleo que pode ser extraído através da prensagem de suas sementes, que pode conter cerca de 90% de ácido graxo ricinoléico. Segundo Brum (2009), este óleo pode ter variados fins comerciais tais como: fabricação de cosméticos, lubrificantes, aditivos de combustíveis aeroespaciais, indústria de plástico, fabricação de próteses para ossos humanos, entre outros.

A acidez do solo é uma característica comum encontrada na agricultura por todo o mundo, sendo que o baixo pH do solo devido a disponibilidade de prótons ( $H^+$ ) que ao reagir com alumínio bivalente ( $Al^{2+}$ ) forma o alumínio trivalente ( $Al^{3+}$ ), que é tóxico a planta e apresenta um ponto crítico para o desenvolvimento das culturas sensíveis ao Al. O alumínio tóxico se mantém retido no solo através da argila, este inibe em primeiro grau o desenvolvimento do sistema radicular das plantas e, portanto limita o seu desenvolvimento.

A técnica de calagem é bastante utilizada para correção e manutenção de solos ácidos, porém a técnica se limita as camadas superficiais do solo inibindo o desenvolvimento da planta quando suas raízes atingem profundidades elevadas. Assim, é de grande importância a avaliação do crescimento de cultivares tratadas com Al citotóxico a fim de selecionar genótipos tolerantes.

O Brasil é o terceiro maior produtor mundial de mamona. A mamoneira é cultivada de norte a sul do país. A grande expansão da ricinocultura se deve, principalmente, as propriedades do óleo extraído das sementes da mamoneira.

Este óleo possui utilidade comparada ao petróleo, e por este motivo tornou-se uma alternativa viável para a produção de biocombustíveis uma vez que, as fontes de energia não renováveis estão em vias de esgotamento. Portanto, faz-se necessária a busca de alternativas e neste cenário a mamoneira surge com grande destaque, pelo fato de ser uma cultura de fácil cultivo, baixo custo de produção, boa adaptabilidade e com diversas utilizações industriais.

Sendo a cultura da mamona de fundamental importância para a economia do Brasil e do mundo torna-se importante a compreensão dos mecanismos envolvidos no processo de tolerância ao elemento alumínio, a fim de conhecer a variabilidade genética existente, para este caráter, entre os genótipos possibilitando assim a indicação para plantio de variedades que apresentem um bom potencial produtivo em decorrência da tolerância ao metal alumínio.

Desta forma de nada adiantaria o desenvolvimento de programas de melhoramento genético com o objetivo de aumentar a produtividade e o teor de óleo das sementes se estes indivíduos ao serem plantadas em solos, que podem estar com acidez elevada, tenham o seu potencial produtivo reduzido. Diante do exposto podemos afirmar a respeito da importância do presente trabalho para a expansão da cultura da mamoneira.

## **4. OBJETIVOS**

### **4.1 Geral**

Avaliar o crescimento de cultivares de mamoneira submetidas a diferentes níveis de alumínio, a fim de selecionar genótipos tolerantes para esta característica.

## 4.2 Específicos

- Analisar o crescimento das cultivares BRS 129 Nordestina e EBDA MPB 01 submetidas a diferentes concentrações de alumínio por meio da técnica hidropônica;
- Avaliar as alterações morfológicas e fisiológicas das cultivares EBDA MPA 16 e EBDA MPB 01 cultivadas sob estresse por alumínio em substrato.

## 3. REVISÃO DE LITERATURA

### 3.1 Descrição da Espécie (*Ricinus communis* L.)

A mamoneira é uma oleaginosa pertencente à família Euphorbiaceae e ao gênero *Ricinus*, sendo considerado monotípico. Apesar de terem sido descritas várias espécies, não foi verificada barreiras de cruzamentos entre elas, por este motivo a espécie *Ricinus communis* L é a única a ser conservada e compreende todos os tipos de mamoneira existentes (ZIMMERMAN, 1957; BANZATTO e ROCHA, 2001; SAVY FILHO, 1999). De acordo com a descrição botânica de LORENZI e MATOS (2002) a planta da mamona apresenta-se como arbusto ou arvoreta, possui folhas grandes, de coloração verde-escuro, com 5-11 lóbulos que são classificadas como palmatilobadas. E os seus frutos são do tipo cápsula tricoca com deiscência explosiva, e apresentam saliências espiniformes, contendo três sementes oleaginosas de superfície brilhosa e pintada com manchas escuras. As raízes axial e secundária desta planta podem chegar até 2,0 m de profundidade, o seu caule é arredondado, de textura lisa, com cor esverdeada e recoberto com cera, as flores são agrupadas na panícula terminal (cacho), com flores masculinas (na região basal da inflorescência), femininas (região apical) e hermafroditas (SAVY FILHO, 1999; AZEVEDO e LIMA, 2001). A germinação das sementes é do tipo epígea e podem ser observadas de 8 a 18 dias após a sementeira (BELTRÃO et al., 2001). Foi relatada a presença de dormência das sementes em alguns

cultivares, pelo período de alguns meses, sendo que a quebra dessa dormência pode ser realizada através da remoção da carúncula, seguido da ruptura da casca no extremo carunculado. (AZEVEDO et al., 1997).

A mamoneira apresenta biologia floral, morfologia e fisiologia complexa. O seu metabolismo fotossintético é do tipo C3, seu porte varia de 0,8 a 5 m de altura, a ramificação do caule é do tipo simpodial, suas raízes são fistulosas e a sua expressão sexual é variada, sendo que estes organismos apresentam taxa respiratória elevada (WEISS, 2000; MOSHKIM, 1986; BELTRÃO e SILVA, 1999).

A mamona tem grande facilidade de adaptação a diferentes condições do ambiente, possui bom desenvolvimento em climas tropicais e subtropicais admitindo uma faixa de temperatura entre 20 e 33° C, sendo resistente à seca (TÁVORA, 1982). A precipitação pluviométrica exigida é de pelo menos 500 mm/ano e a umidade relativa abaixo de 60% (EMBRAPA, 2003).

### **3.2 Importância do cultivo da mamona**

No Brasil o cultivo da mamona tem sido praticado, pelos pequenos e médios produtores, constituindo-se numa cultura importante no âmbito social. Na região Nordeste a cultura da mamona apresenta uma grande oportunidade de rentabilidade, devido principalmente, a seu elevado grau de adaptabilidade as condições climáticas da região (SAVY FILHO et al, 1999).

O óleo de mamona que é extraído pela prensagem das sementes, contém 90% de ácido graxo ricinoléico, o que lhe confere características singulares e versáteis, possibilitando uma ampla gama de utilização industrial com utilidade só comparável à do petróleo, com a vantagem de ser um produto renovável e barato, o que torna a cultura importante potencial econômico e estratégico ao Brasil (AZEVEDO et al., 1997; FREIRE, 2001).

A grande parte da energia consumida no mundo é adquirida através de fontes não renováveis, e pelo fato destas fontes estarem em vias de esgotamento, além de causarem um grande impacto ambiental é necessária a busca por alternativas, e entre estas a mamona apresenta um grande destaque

por ser uma cultura de fácil cultivo, baixo custo de produção, boa adaptabilidade e com diversas utilizações industriais. No Brasil o cultivo da mamona se expandiu bastante assim como em outros países industrializados, pois não existem bons substitutos para os fins de aplicação do óleo da mamona. (AZEVEDO *et al.*, 1997). O óleo da mamona pode ser aplicado para a produção de remédios, cosméticos, na construção civil, na indústria automobilística, no revestimento de poltronas e parede de avião, na fabricação de plásticos biodegradáveis, na fabricação de tintas, vernizes, lubrificantes, vidros a prova de balas e etc (SOUZA, 2007).

### **3.3 Acidez do solo causada por altas concentrações de alumínio**

A acidez do solo é comum em áreas agricultáveis em todo o mundo. Estima-se que 60% dos solos brasileiros com potencial agrícola sejam ácidos (ROSSIELLO e JACOB NETO, 2006). O baixo pH do solo é resultante da atividade de microrganismos que atuam na mineralização da matéria orgânica, pois durante esse processo ocorre a liberação de nitrato e hidrogênio (BOHNEN, 1995). Desta forma a presença do alumínio aliado ao baixo pH do solo apresenta uma situação crítica para o desenvolvimento das culturas de interesse agrônômico, a alta disponibilidade de prótons ( $H^+$ ) no solo juntamente com o alumínio na forma bivalente ( $Al^{2+}$ ) converte o alumínio para a forma trivalente ( $Al^{3+}$ ), que apresenta alto grau de toxicidade as células das plantas, sendo que este elemento pode competir com os nutrientes essenciais para o desenvolvimento da planta como cálcio e fósforo e induz o depósito de caloze que impede o fluxo celular. Outro fator importante é a formação de espécies reativas de oxigênio, como o superóxido e peróxido, que oxidam biomoléculas como lipoproteínas da membrana plasmática. Devido a toxicidade ocorre a inibição do desenvolvimento do sistema radicular (LIMBERGER, 2006). Segundo Camargo e Oliveira (1981) o alumínio concentrado na superfície dos solos ácidos, pode ser precipitado com o uso da técnica de calagem, porém em suas camadas mais profundas ele pode permanecer solúvel causando fitotoxicidade as plantas, ou seja, mesmo havendo uma correção do pH do solo

na sua camada superficial, nas camadas mais profundas a inibição do desenvolvimento do sistema radicular ainda é observada em grande nível.

Os níveis de tolerância apresentado pelas espécies e genótipos se diferem. O desenvolvimento de estratégias que induzem a destoxificação e imobilização do alumínio tóxico leva as plantas a apresentar mecanismos diferenciados de tolerância (LIMBERGER, 2006). A característica de tolerância confere as plantas adaptação à diversidade de ambientes, podendo representar produtividade de grão nos genótipos portadores do caráter para tolerância, se comparados àqueles que são sensíveis. A compreensão dos mecanismos de tolerância dos genótipos se torna um fator importante para detectar a variabilidade genética existente para esta característica. (PASSOS, 2009).

### **3.4 Efeitos do alumínio nas plantas**

As pesquisas apontam como a causa primária da toxicidade por alumínio a inibição do crescimento da raiz por meio da inibição da mitose nas células do meristema apical da raiz. Também foram observadas aberrações cromossômicas nas cromátides e nos genomas das células meristemáticas dos ápices de raízes de plantas submetidas a presença do Al (BULANOVA et al., 2001 ). A grande intensidade de cargas elétricas positivas do Al faz com que este possa interagir em vários sítios na célula, como a parede celular, o citoesqueleto, o núcleo e principalmente a membrana plasmática (KOCHIAN et al., 2004).

Estudos mostram que o Al pode interagir com os ácidos nucléicos e esse metal tem sido encontrado no núcleo das células das raízes (MATSUMOTO et al., 1976). O que ainda não foi compreendido é a redução da divisão celular como o mecanismo primário da inibição do crescimento da raiz induzida pelo Al. Se aceita a hipótese de que o alumínio pode se ligar a muitos componentes celulares antes de entrar no núcleo, este pode ser outro argumento mais convincente contra a hipótese da inibição da divisão mitótica ser o efeito primário da toxicidade do Al (HORST et al., 1991). Além disso, o Alumínio pode

inibir uma variedade de processos metabólicos essenciais para a célula que é regulado por cálcio (RENGEL, 1992), proteínas regulatórias ligadas a GTP e hexoquinases (MARTIN, 1988) e a divisão celular pode ser posteriormente afetada por tais alterações metabólicas. Segundo Oteiza (1994) a membrana plasmática é um dos alvos primários da ação do alumínio. Sendo que ao ocorrer a interação do alumínio com os fosfolipídios da membrana plasmática pode causar a perda da fluidez da bicamada promovendo a peroxidação de lipídios e alterando as funções da membrana. Acredita-se que um dos efeitos do alumínio na membrana plasmática seja a indução do estresse oxidativo (YAMAMOTO et al., 1997). O alumínio é responsável por induzir a formação de intermediários reativos de oxigênio (ROIs), que são formas reduzidas do oxigênio molecular ( $O_2$ ). Esses elementos são bastante reativos e podem causar danos oxidativos nos componentes celulares (MITTLER, 2002). O aumento da atividade enzimática antioxidante reduz a formação de  $H_2O_2$  aumentando a lignificação, a biossíntese e acúmulo de compostos fenólicos, inibindo o desenvolvimento normal das plantas (GHANATI et al, 2005). Estudos com aveia branca mostraram indução do estresse oxidativo pelo alumínio, neste caso ainda foi demonstrado que os genótipos tolerantes apresentam um eficiente mecanismo de defesa responsável por reduzir os danos causados pelo estresse oxidativo. (CASTILHOS, 2010).

Os danos causados pelo alumínio tóxico representam uma menor exploração dos solos agricultáveis, resultado na redução da absorção dos nutrientes pelas plantas, e no não aproveitamento do potencial hídrico do solo. A restrição da expansão das raízes pode variar de 15 a 20 cm de solo, a toxicidade do Al torna-se responsável pela maior susceptibilidade à deficiência de água, que se agrava nos períodos de estiagem durante o ciclo vegetativo das plantas (OLMOS e CAMARGO,1975). Com relação às alterações na parte aérea, acredita-se que a toxicidade por alumínio provoca alterações fisiológicas e reduções significativas no número de folhas, na área foliar, na altura e diâmetro do caule.

### 3.5 Mecanismos de tolerância ao Alumínio

Os mecanismos de tolerância ao alumínio variam de acordo com as espécies e cultivares e com o ambiente em que elas se desenvolvem. Duas propostas estão sendo desenvolvidas para entender como funciona este mecanismo. A primeira proposta envolve mecanismos de tolerância a altas concentrações de Al no simplasto da raiz e pode se relacionar a mecanismos diferenciados como quelação do Al no citosol, compartimentação do Al nos vacúolos, ligações alumínio-proteínas, evolução de enzimas tolerantes ao Al (TAYLOR, 1988). Porém pouco se sabe sobre este mecanismo de Tolerância. Ainda não foi detectado o alumínio no vacúolo das células do ápice da raiz, nem em cultivares tolerantes, nem em cultivares sensíveis de trigo, quando as mesmas foram expostas por 48 horas ao Al (TICE ET al., 1992). A segunda proposta de mecanismo de tolerância ao Al se relaciona com a habilidade de excluir o Al do ápice da raiz, antes que este possa alcançar os sítios de toxicidade nas plantas e neste processo diferentes tipos de mecanismos podem estar envolvidos, como imobilização do Al nas paredes celulares, permeabilidade seletiva do Al na membrana plasmática, formação de uma barreira de pH induzida pela planta na rizosfera ou no apoplasto da raiz e ou eliminação de ligantes quelados (TAYLOR, 1988).

O alumínio pode ser excluído pelo ápice da raiz através da eliminação de ácidos orgânicos. É bem conhecida a habilidade dos ácidos orgânicos de quelar e eliminar Al não-fitotóxico, e tem sido proposto que plantas tolerantes ao Al usam ácidos orgânicos para se desintoxicarem do  $Al^{3+}$  tanto em suas células quanto na rizosfera. Foram encontradas evidências, em feijão, de que o mecanismo de tolerância ao Al envolve o efluxo de ácido cítrico. Miyasaka et al. (1991) e Delhaize et al. (1993) demonstraram que, em linhas isogênicas de trigo, a presença de Al induz a liberação de maior quantidade de malato do ápice da raiz nos genótipos tolerantes ao Al quando comparados com plantas de genótipos sensíveis. Os autores acreditam que o aumento da secreção de malato protege a planta por quelação e desintoxicação.

### 3.6 Efeitos do Alumínio na fisiologia de plantas

A fotossíntese é um processo no qual a energia luminosa (solar) é transformada em energia química. Os organismos fotossintetizantes utilizam a energia do sol para a síntese de compostos ricos em energia (carboidratos) a partir de dióxido de carbono e água, com liberação de oxigênio (TAIZ e ZEIGER, 2006).

Os efeitos do alumínio em plantas são observados principalmente pelos danos causados na raiz, entretanto, parte deste metal é transportado para a parte aérea, causando efeitos sobre o seu desenvolvimento. A alteração do desenvolvimento da parte aérea pode estar relacionado a diminuição da atividade fotossintética, que pode estar ou não relacionada a fatores estomáticos (KONRAD et al., 2005). As injúrias provocadas pelo alumínio em plantas podem estar relacionados a redução da eficiência fotoquímica do fotossistema II e no conteúdo de citocromo b na clorofila, além da redução da quantidade de carotenos, diminuição da concentração de ATP nas folhas, provoca danos externos a membrana do cloroplasto e provoca mudanças na forma do cloroplasto e no arranjo dos grana (LINDON et al., 1997; LOREN-PLUSINKCA e ZIEGLER, 1996; HAMPP e SCHNABL, 1975; MOUSTAKAS et al, 1997). Em estudos de tolerância outra característica amplamente avaliada é a fluorescência da clorofila que é avaliada pela fluorescência inicial ( $F_0$ ), fluorescência máxima ( $F_m$ ) e a fluorescência variável ( $F_v$ ), a razão entre estas variáveis permitem avaliar alguns parâmetros relacionados a capacidade de absorção e transferência de energia, principalmente os dependentes do estado de oxidação das moléculas de quinona A (QA) e das mudanças conformacionais das membranas dos tilacóides, (KRAUSE e WEIS, 1991 apud FEITOSA, 2002). Esta cinética pode também ser afetada pela deficiência de nutrientes e pela acidez do solo (FEITOSA, 2002). Estudos relacionados a fotossíntese tem sido muito utilizado para a seleção de espécies ou variedades adaptadas a ambientes adversos, pelo fato de ser a principal fonte de carbono orgânico e de energia para o crescimento e acúmulo de biomassa nos vegetais, juntamente com a determinação da eficiência fotoquímica, das trocas gasosas, do status hídrico e das taxas de crescimento (PANKOVIC, et al.,

1999; KOCHEVA et al., 2004 apud SANTOS et al., 2010). Ainda há uma escassez de informações a cerca das alterações na parte aérea de plantas submetidas a concentrações citotóxicas de alumínio. Assim, é de grande importância a avaliação do crescimento aéreo de cultivares de mamoneira submetidas a diferentes concentrações de alumínio a fim de facilitar a identificação de genótipos tolerantes.

## REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

- AZEVEDO, D. M. P.; LIMA, E. F.; O **Agronegócio da mamona no Brasil**. CampinaGrande: Embrapa Algodão, 2001. 350p.
- AZEVEDO, D. M. P.; LIMA, E .F.; BATISTA, F. A. S. **Recomendações técnicas para o cultivo da mamoneira (*Ricinus communis* L.) no Nordeste do Brasil**. Campina Grande, PB: MAARA/Embrapa- CNPA, (Circular técnico, 25), 1997, 52p.
- BANZATTO, N. V. e ROCHA, J .L. V. da. **Genética e melhoramento da mamoneira**. In: BELTRÃO, N. E. de M.; SILVA, C. L.; VASCONCELOS, O. L.; AZEVEDO, D. M. P. de.; VIEIRA, D. J. Fitologia. In: AZEVÊDO, D. M. P. de; LIMA, E. F. (Ed.). **O agronegócio da mamona no Brasil**. Brasília: Embrapa-Algodão, 2001. cap. 2, p. 37-61.
- BELTRÃO, N. E. de M.; SILVA, L.C. Os múltiplos uso do óleo da mamoneira (*Ricinus communis* L.) e a importância do seu cultivo no Brasil. **Fibras e óleos**, Campina Grande, V.1, n.31, p.7, 1999.
- BELTRÃO, N. E. M; SOUZA. J. G.; PEREIRA, J. R. Preparo do solo, adubação e calagem In: BELTRÃO, N. E. de M.; VIEIRA, D. J. (Coord.) **O agronegócio do gergelim no Brasil**. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2001. 348p.
- BOHNEN, H. Acidez e calagem. In: GIANELLO, C., BISSANI, C. A., TEDESCO, M. J. (eds) **Princípios de fertilidade do solo**. Porto Alegre: Dep. de solos. Fac. de Agronomia. UFRGS, 1995. P. 51-76.
- BRUM, B. **Relações entre variáveis de: Sementes, Plântulas, Plantas, Produção e Óleo em Mamoneira. 2009**. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, RS. 2009.
- BULANOVA, N. V.; SYNZYNYYS, B. I.; KOZ'MIN, G. V. Aluminum induces chromosome aberrations in cells of wheat root meristem. **Russian Journal of Genetics**, v.37, n.12, p.1455-1458, 2001.
- CAMARGO, C. E. O.; OLIVEIRA, O. F. Tolerância de cultivares de trigo a diferentes níveis de alumínio em solução nutritiva e no solo. **Bragantia**, V. 40, nº 3, Campinas, 1981.
- CASTILHOS, G. **Estresse Oxidativo em Resposta ao Alumínio em Aveia Branca**. Dissertação (Mestrado) – Curso de Pós-graduação em Fitotecnia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre (RS), 2010.
- DELHAIZE, E., RYAN, P. R., RANDALL, P. J. Aluminum tolerance in wheat (*Triticum aestivum* L.). II. Aluminumstimulated excretion of malic acid from root

apices. **Plant Physiology**, Minneapolis, v.103, p.695-702, 1993b. Embrapa Algodão, Campina Grande- PB, 2001. 305p.

EMBRAPA. Mamona: Árvore do Conhecimento e Sistemas de Produção para o Semi-Árido Brasileiro. **Circular técnica**, Campina Grande, n.70, 19p, 2003.

FEITOSA, A. M. B. S. **Trocias gasosas, fluorescência da clorofila e crescimento de Afafa em resposta ao alumínio, ao pH e a relação Cálcio: Magnésio**. Dissertação (Mestrado) – Curso de Microbiologia Agrícola, Universidade Federal de Viçosa. Minas Gerais, 2002.

FORNAZIERI JÚNIOR, A. (1986) **Mamona: uma rica fonte de óleo e de divisas**. São Paulo: Ícone, 71p.

FREIRE, R. M. M. Ricinoquímica. In: Azevedo, D. M. P. de Lima, E. F. (e.). **O Agronegócio da Mamona no Brasil**. Embrapa Algodão; Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2001, cap. XIII, p.295-335.

GHANATI, F.; MORITA, A.; YOKOTA, H. Effects of aluminium on the growth tea plant and activation of antioxidant system. **Pant and Soil**, Dordrecht, V. 276, p. 133-141, 2005.

HAMPP, R. SCHNABL, H. Effect of aluminium ions on  $^{14}\text{CO}_2$  fixation and membrane system of isolated spinach chloroplasts. **Z. Pflanzenphysiologie**, 76: 300-306, 1975.

HORST, Z. J., ASHER, C. J., CARMAN, L., et al. Short-term responses of soybean roots to aluminum. In: WRIGHT, R.J., BALIGAR, V.C., MURRAMANN, R.P. (eds.) **Plant-soil interactions at low pH**. Dordrecht : The Netherlands: Kluwer, 1991. p.733-739.

KOCHIAN, L. V.; HOEKENGA, O. A.; PIÑEROS, M. A. How do crop plants tolerate acid soils? Mechanisms of aluminum tolerance and phosphorous efficiency. **Annual Review of Plant Biology**, 55: 459-493, 2004.

KONRAD, M. L. F., SILVA, J. A. B., FURLANI, P. R., MACHADO, E. C. Trocicas gasosas e fluorescência da clorofila em seis cultivares de cafeeiro sob estresse de alumínio. **Bragantia**, Campinas, V. 64, n. 3, p. 339-347, 2005.

KRAUSE, G. H., WEIS, E. Chlorophyll fluorescence and photosynthesis: the basics. **Ann. Rev. Plant Physiol. Plant Mol. Biol.**, V. 42, p. 313-349, 1991.

LIMBERGER, E. **Identificação de Genes Responsivos ao Alumínio Tóxico em Aveia Branca (*Avena Sativa* L.)**. Dissertação de Mestrado em Fitotecnia. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre (RS), 2006.

LINDON, F. C., RAMALHO, J. C., BARREIRO, M.G., LAURIANO, J. Modulation of photosystem 2 reactions mediated by aluminium toxicity. In **Zea mays. Photosynthetica**, V.34, p. 151 a 156, 1997.

LOREN-PLUSINKCA, G.; ZIEGLER, H. Changes in ATP levels in Scot pine needles during aluminium stress. **Photosynthetica**, 32: 141-144, 1996.

LORENZI, H. e MATOS, F.J.A. 2002. **Plantas medicinais do Brasil: nativas e exóticas**. Instituto Plantarum, Nova Odessa, 512p.

MARTIN, R. B. Bioinorganic chemistry of aluminum. In: SIGEL, H., SIGEL, A. (eds.). **Metal ions in biological systems**, v.24, **Aluminum and its role in biology**. New York : Marcel Dekker, 1988. p.1-57.

MATSUMOTO, H., HIRASAWA, F., TORIKAI, H., et al. Localization of absorbed aluminium in pea root and its binding to nuclei acid. **Plant Cell Physiology**, Kyoto, v.17,p.627-631, 1976.

MITLER, R. Oxidative estress, antioxidants and stress tolerance. **Trends in Plant Science**, 7: 405-410, 2002.

MIYASAKA, S. C., BUTA, J. G., HOWELL, R. K., et al. Mechanisms of aluminum tolerance in snapbeans: root exudation of citric acid. **Plant Physiology**, Minneapolis, v.96, p.737-743, 1991.

MOSHKIN, V. A. **Flowering and pollination**. In: MOSHKIN, V. A. (Ed.). **Castor**. New Delhi Amerind, 1986.

MOUSTAKAS, M., ELEFThERIOU, E. P., OUZOUNIDOU, G. Short-term effectes of aluminium stress at alkaline pH on the structure and function of the photosynthetic apparatus. **Photosynthetica**, V.34, p. 169 a 177, 1997.

OLMOS, J. I. L., CAMARGO, M. N. Ocorrência de alumínio tóxico nos solos do Brasil, sua caracterização e distribuição. **Ciência e Cultura**, São Paulo, v.28, n.2, p.171-180, 1975.

OTEIZA, P. L. A Mechanism for the stimulatory effect of aluminum on iron-induced lipid peroxidation. **Archives Biochemistry and Biophysics**, 308: 374-379, 1994.

PANKOVIC D, SAKACE Z, KEVRESAN S, PLESNICAR M.. Acclimation to long-term water deficit in the leaves of two sunflower hybrids: Photosynthesis, electron transport and carbon metabolism. **Journal of experimental botany**, V. 50, p. 127 – 138.1999.

PASSOS, A. R. **Avaliação de Cultivares de Mamoneira para Tolerância ao Alumínio Tóxico e Insensibilidade ao Ácido Giberélico**. Tese (Doutorado). Pós-graduação em Ciências Agrárias, Universidade Federal do Recôncavo da Bahia. Cruz das Almas (BA), 2009.

RENGEL, Z. Role of calcium in aluminium toxicity. **The New Phytologist**, Cambridge, v.121, p.499-513, 1992.

ROSSIELLO, R. O. P., JACOB NETO, J. **Toxidez de alumínio em plantas : novos enfoques para um velho problema.** In: FERNANDES, M. S. (ed) *Nutrição Mineral de Plantas.* Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2006. p.375-418.

SANTOS, C. A. C.; ALMEIDA, J.; SANTOS, A. R.; VIEIRA, E. L.; PEIXOTO, C. P. Rúcula em cultivo hidropônico submetida a diferentes concentrações de alumínio. **Biosci. J.**, Uberlândia, V. 26, n. 6, p. 905-912, 2010.

SAVY FILHO, A. Melhoria da mamona. In: BORÉM, A. (Ed.). **Melhoramento de espécies cultivadas.** Viçosa: Universidade Federal de Viçosa, 1999. p. 385-407.

SOUZA, L. A. de **Teste de condutividade elétrica para avaliação da qualidade de sementes de mamona.** Dissertação (Mestrado) - Curso de Pós-graduação em Agronomia, Universidade Federal de Lavras: UFLA, Lavras, 2007.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal.** Porto Alegre: Artmed, 2006.

TÁVORA, F. J. A. F. **A cultura da mamona.** Fortaleza: EPACE 1982.

TAYLOR, G. J. The physiology of aluminum tolerance in higher plants. Communication in **Soil Science and Plant Analysis**, New York, v.19, p.1179-1194, 1988.

TICE, K. R., PARKER, D. R., DeMASON, D. A. Operationally defined apoplastic and symplastic aluminum fractions in root tips of aluminumintoxicated wheat. **Plant Physiology**, Minneapolis, v.100, p.309-318, 1992.

WEISS, E. A. *Oilseed Crops.* London: **Blacwell Science**, 2000. 364 p.

YAMAMOTO, Y.; HACHIYA, Y.; MATSUMOTO, H. Oxidative damage to membranes by a combination of aluminum and iron in suspension cultured tobacco cells. **Plant Cell Physiology**, 38: 1333-1339, 1997.

ZIMMERMAN, L. H. Castor beans: a new crop for mechanized production. **Advances in Agronomy**, v. 10, p. 257-288,1957.

## Capítulo 1

# **CRESCIMENTO DA MAMONEIRA SUBMETIDA A DIFERENTES CONCENTRAÇÕES DE ALUMÍNIO POR MEIO DA TÉCNICA HIDROPÔNICA**

## **CRESCIMENTO DA MAMONEIRA SUBMETIDA A DIFERENTES CONCENTRAÇÕES DE ALUMÍNIO POR MEIO DA TÉCNICA HIDROPÔNICA**

**Resumo:** O objetivo deste estudo foi avaliar os efeitos do alumínio no crescimento da parte aérea das cultivares de mamoneira BRS 129 Nordestina e EBDA MPB 01 em cultivo hidropônico. Para a realização do estudo, as sementes das duas cultivares foram desinfestadas e semeadas em gerbox. As sementes pré germinadas foram transferidas para telas acopladas a um recipiente contendo solução nutritiva em tanque banho-maria por 48 h. Decorrido esse período, as plântulas foram submetidas a solução tratamento com alumínio por 48 h. Após, retornou novamente para a solução nutritiva por 72 h, para a retomada do crescimento. Completado esse período, as plântulas foram retiradas da coleção para aferição das características: Altura e diâmetro do caule. Para as análises estatísticas utilizou-se o software estatístico SISVAR e os gráficos de regressão foram desenvolvidos no software EXCEL. A cultivar BRS 129 Nordestina apresentou melhor resposta ao alumínio em relação a EBDA MPB 01. As dose de 90 e 120 mg de  $Al^{3+} L^{-1}$  apresentaram grande efeito sobre o crescimento das cultivares avaliadas.

**Palavras- chave:** Citotoxicidade, hidroponia, tolerância ao alumínio.

## **GROWTH OF THE CASTOR BEAN SUBJECTED TO DIFFERENT CONCENTRATIONS OF ALUMINUM BY THE TECHNIQUE HYDROPONIC**

**Abstract:** The objective of this study was to evaluate the effects of aluminum on the growth of the air portion of castor bean cultivars BRS 129 Northeastern EBDA and MPB 01 in hydroponics system. For the study, the seeds of both cultivars were sterilized and sown in germination boxes. The pre-germinated seeds were transferred to screens coupled to a container containing a nutrient solution tank water bath for 48 h. After this period, the seedlings were subjected to treatment with aluminum solution for 48 h. After he returned again to the nutrient solution for 72 h to resume growth. Completed this period, the seedlings were removed from the collection to measure of the characteristics: height and stem diameter. For statistical analyzes used the statistical software SISVAR regression and graphics software was developed in EXCEL. The Northeastern BRS 129 showed a better response to aluminum in relation to EBDA MPB 01. The dose of 90 and 120 mg Al<sub>3</sub> + L<sup>-1</sup> showed a large effect on the growth of the cultivars.

**Keywords:** cytotoxicity, hydroponics, tolerance.

## 1. INTRODUÇÃO

Dentre as oleaginosas produzidas no Brasil, a mamoneira é mais conhecida e de grande importância para a região nordeste, participando de grandes projetos integrados a programas de biodiesel.

A mamoneira é uma espécie sensível ao excesso de alumínio no solo, tornando importante a seleção de cultivares resistentes, a fim de aumentar a produtividade da cultura e o melhor aproveitamento de áreas consideradas de baixo potencial produtivo (LIMA et al, 2007).

Os solos ácidos são caracterizados por apresentar baixo pH devido a sua alta concentração de alumínio trocável, a baixa saturação de bases e baixos teores de fósforo. Uma alternativa para contornar os problemas enfrentados pela acidificação do solo é a técnica da calagem que é responsável pela precipitação do alumínio trocável do solo, entretanto esta é uma técnica limitada, pois a correção ocorre apenas nas camadas superficiais impedindo assim a expansão do sistema radicular das plantas nas camadas mais profundas, ocorrendo assim a limitação do crescimento de plantas sensíveis a este metal (NAVA, 2005).

A toxidez por alumínio é um grande problema para a expansão de culturas de interesse agrônomico. O efeito do alumínio nas plantas pode ser comprovado pela diminuição da disponibilidade de nutrientes essenciais para as plantas tais como: potássio, molibdênio, cálcio, magnésio e fósforo. O aumento da concentração desses nutrientes pode levar a alta solubilidade de íons como cobre, alumínio, zinco, ferro e manganês, que a depender do manejo do solo e adubação podem causar toxicidade as plantas (CUSTÓDIO et al., 2002 *apud* PASSOS, 2009).

O uso da técnica hidropônica apresenta inúmeras vantagens quando comparas ao cultivo no ambiente natural, neste primeiro caso as condições são perfeitamente controladas, além de ser um método rápido, que possibilita a avaliação de um grande número de plantas, em um curto período de tempo (NAVA, 2005). No cultivo hidropônico as avaliações são mais precisas, já que as raízes sofrem menos danos físicos ao serem retiradas da solução nutritiva quando comparadas a cultivo em solos (PORTALUPPI, 2008). Uma

comparação das técnicas é importante para verificar se a resposta ao estresse em campo condiz com os resultados obtidos em laboratório. Portanto o objetivo do estudo foi avaliar os efeitos do alumínio no desenvolvimento da parte aérea das cultivares de mamoneira BRS 129 Nordestina e EBDA MPB 01 em cultivo hidropônico.

### 3. Material e Métodos

O trabalho foi realizado no Laboratório NBIO (Núcleo de Melhoramento Genético e Biotecnologia) do Centro de Ciências Agrárias, Ambientais e Biológicas da Universidade Federal do Recôncavo da Bahia, no município de Cruz das Almas, Bahia.

Antes de dar início ao experimento foi necessário o preparo das soluções 1, 2, 3, 4, 5 e 6 como descrito por PASSOS (2009), sendo as soluções contendo cálcio, magnésio, potássio, fósforo, nitratos, sulfatos e micronutrientes (boro, sódio, molibdênio, cloro, zinco, cobre e manganês). A solução 7 composta por 86,5 mL/ 2L (Fe + EDTA =  $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$  + Na EDTA) foi preparada utilizando água aquecida até 80°C para evitar a precipitação do ferro. Estas soluções forneceram o aporte nutricional necessário para o desenvolvimento das plântulas em tanque de hidroponia.

A composição das soluções está contida na Tabela 1 e 2. Durante o experimento o pH da solução foi ajustado diariamente mantendo-o em torno de 3,7 e 4,3. Para o ajuste do pH foram utilizados uma base (hidróxido de sódio) e um ácido (ácidos clorídrico).

**Tabela 1-** Macronutrientes utilizados para hidroponia em *Ricinus communis* L..

Macronutrientes	Quantidade (2L)
Ca (NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> 4 H <sub>2</sub> O (nitrato de cálcio tetra- hidratado)	156,8 g
MgSO <sub>4</sub> 7H <sub>2</sub> O (sulfato de magnésio hepta- hidratado)	81, 84 g
KNO <sub>3</sub> (nitrato de potássio - reagente amônio)	67, 13 g

KNO <sub>3</sub> (nitrato de potássio - reagente amônio)	67, 13 g
(NH <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> (sulfato de amônio)	9, 54 g
KH <sub>2</sub> PO <sub>4</sub> (potássio fosfato monobásico)	11, 29 g

**Tabela 2** - Micronutrientes utilizados para hidroponia em *Ricinus communis* L..

<b>Micronutrientes</b>	<b>Quantidade (2L)</b>
H <sub>3</sub> BO <sub>3</sub>	0.10292 g
Na <sub>2</sub> Mo O <sub>4</sub> 2H <sub>2</sub> O	0.00402 g
NaCl	0.29134 g
ZnSO <sub>4</sub> 7H <sub>2</sub> O	0.03812 g
CuSO <sub>4</sub> 5H <sub>2</sub> O	0.01246 g
MnSO <sub>4</sub> H <sub>2</sub> O	0.07404 g

Para a obtenção de radículas de tamanho homogêneo, inicialmente realizou-se um teste quanto ao período necessário para a germinação das sementes das cultivares BRS 129 Nordestina e EBDA MPB 01. A cultivar BRS 129 Nordestina apresentou período germinativo de 2 dias e EBDA MPB 01 de 3 dias. O experimento foi conduzido como descrito por Camargo e Oliveira (1981) e adaptado por Dornelles et al. (1997).

As sementes dos genótipos avaliados foram desinfestadas em solução de hipoclorito a 20% (produto comercial) por 20 minutos e lavadas com água destilada, para retirar o excesso do produto. Em seguida foram semeadas em papel germitex umedecido com água destilada e então foram levadas para germinar em germinador a temperatura de 25° C com iluminação permanente, onde permaneceram por dois (BRS 129 Nordestina) e três (BRS MPB 01) dias até o início da germinação visível. As sementes pré-germinadas com aproximadamente 2 mm de raiz (Figura 1A) foram transferidas para uma tela em material de algodão, sendo dispostas em fileiras (Figura 1 B).



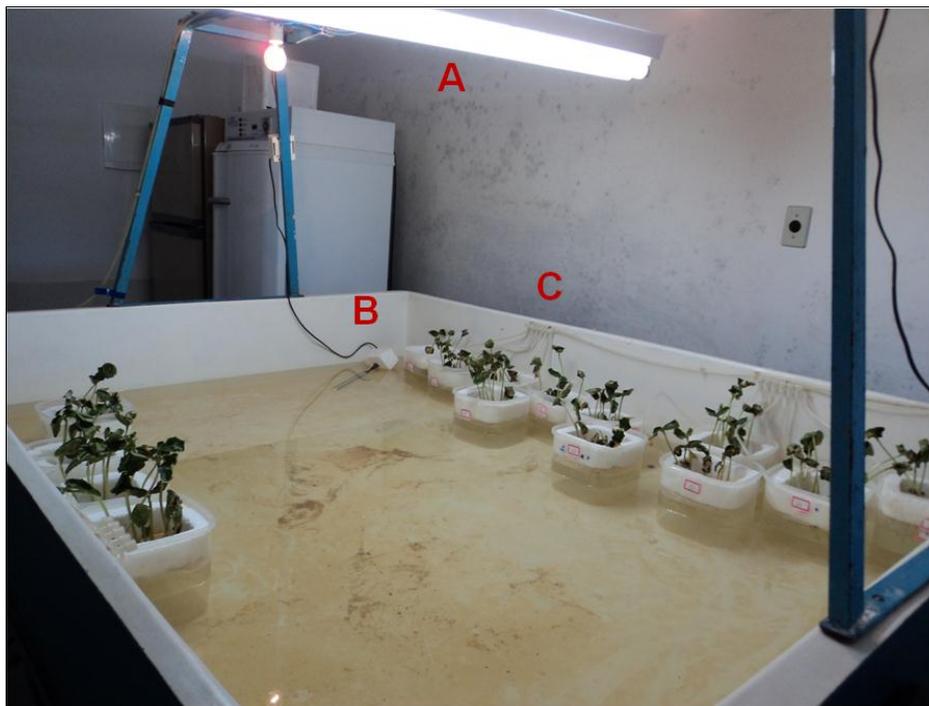
**Figura 1:** Em **A** uma semente pré-germinada com aproximadamente 2 mm de raiz e em **B** a disposição das sementes em fileiras.

As telas contendo as sementes foram acopladas a um recipiente com capacidade de 5,5 litros, com solução nutritiva completa, de modo a ficarem em contato permanente com a solução (Figura 2).



**Figura 2** – Telas com as sementes acopladas ao recipiente contendo solução nutritiva completa e a um sistema de aeração.

Os recipientes contendo as plântulas foram organizados em tanque banho-maria em água, a temperatura de 25° C com iluminação permanente e com o auxílio de resistências adaptadas ao tanque e um sistema de aeração, que através de um tubo fornecia oxigênio necessário ao desenvolvimento do sistema radicular, como pode ser observado na figura 3.



**Figura 3** – Tanque de hidropônia indicando em **A**: o sistema de iluminação permanente, em **B**: as resistências adaptadas ao tanque mantendo a temperatura da água em 25° e **C**: o sistema de aeração com tubos ligados aos vasos com as amostras.

As plântulas permaneceram em solução nutritiva por um período de 48 horas, então foram transferidas para a solução tratamento contendo (0, 50, 70, 90 e 120 ppm de  $\text{Al}^{3+} \text{L}^{-1}$ ) onde permaneceram por mais 48 horas. Após o período de tratamento com as concentrações de alumínio, as plantas retornaram para a solução nutritiva por mais 72 horas para que estas pudessem retomar seu crescimento. Depois de completado este período foi aferido os caracteres indicativos de tolerância ao alumínio: Comprimento da parte aérea (CPA, cm) e diâmetro do caule (DC, cm). As medições foram realizadas com auxílio de régua graduada, medindo-se da base do caule ao ápice da última folha emitida e para o diâmetro do caule foi utilizado um paquímetro. O delineamento utilizado foi inteiramente casualizado com três repetições (15 plântulas por repetição), num esquema fatorial 2 x 5 (dois genótipos para cinco doses de alumínio). Para as análises de variância e regressão utilizou-se o software estatístico SISVAR (FERREIRA, 2008). As análises de comparação de médias foi realizada por meio do teste de Tukey a 5%. Os gráficos de regressão foram desenvolvidos no software EXCEL.

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

O teste F mostrou diferenças significativas para genótipo, dose e sem significância para a interação genótipo X dose, a 1% de probabilidade, para as variáveis analisadas: Diâmetro do caule (DC) e comprimento da parte aérea (CPA). Resultados distintos foram observados por PASSOS (2009), que ao avaliar as cultivares de mamoneira, Sipeal 28, EBDA MPA 17, BRS 149 Nordestina e BRS 188 Paraguaçu, observou que o CPA teve resultados significativos apenas para o fator genótipo, já o fator dose e a interação genótipo X dose não foram significativos.

A partir da comparação das médias pode-se observar que a BRS 129 Nordestina apresentou melhor resposta ao alumínio (Tabela 3) para as duas variáveis analisadas.

**Tabela 3.** Comparação de médias entre os genótipos BRS 129 Nordestina e EBDA MPB 01 para as variáveis Comprimento da parte aérea (CPA) e Diâmetro do Caule (DC).

Genótipo	Médias	
	CPA	DC
BRS 129 Nordestina	15,647a	4,866a
EBDA MPB 01	11,994b	4,613b

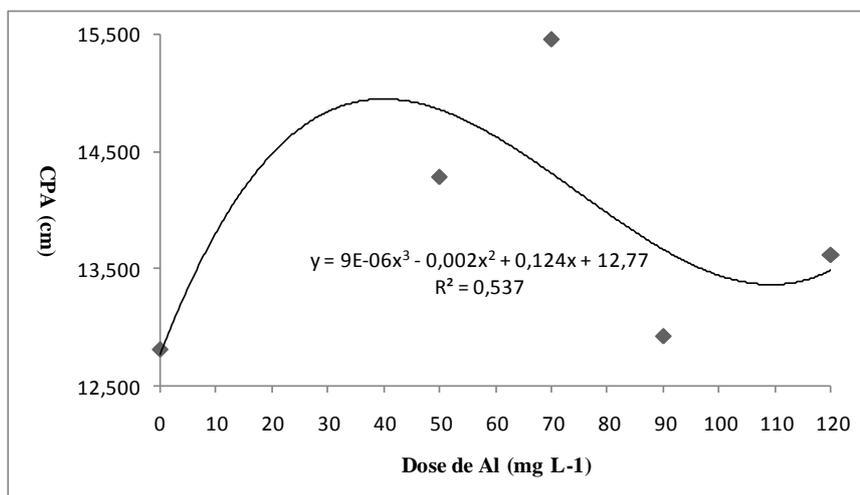
Médias seguidas pela mesma letra não difere estatisticamente entre si pelo teste de Turkey a 5% de probabilidade

Para a avaliação do fator dose, por se tratar de uma característica quantitativa foi realizada a análise de regressão para as variáveis comprimento da parte aérea CPA e diâmetro do caule DC.

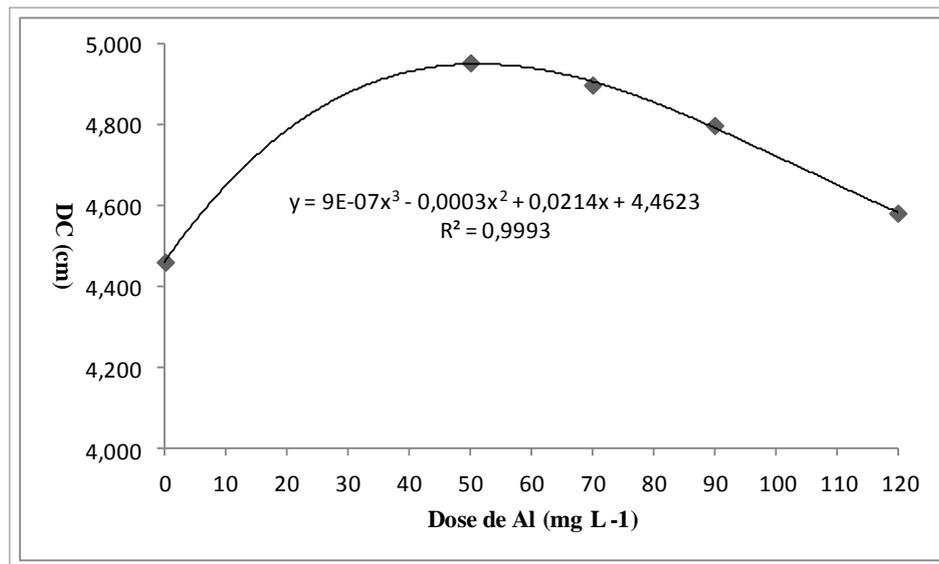
A equação de regressão polinomial de terceiro grau mostrou melhor ajuste para as características avaliadas, sendo que o coeficiente de determinação foi de  $R^2 = 0,537$  para a variável CPA e de  $R^2 = 0,9993$  para a

variável DC. Assim, supõe-se que existe uma concentração de  $\text{Al}^{3+}$ , que inibe, em maior grau, o crescimento regular da planta.

Para as variáveis comprimento da parte aérea e diâmetro do caule pode-se observar que houve aumento significativo do comprimento e diâmetro do caule para os tratamentos de 50 e 70 ppm de  $\text{Al}^{3+} \text{ L}^{-1}$  em relação aos indivíduos controle. Entretanto, a ação tóxica do alumínio para as cultivares pode ser observada nas dosagens de 90 e 120 ppm de  $\text{Al}^{3+} \text{ L}^{-1}$ . Nessas dosagens, o caule apresenta uma redução em seu diâmetro e comprimento (Figuras 4 e 5). Santos et. al (2010) observaram em cultivares de rúcula uma redução de 101% no comprimento da haste para a dose máxima de 60 mg de  $\text{Al}^{3+} \text{ L}^{-1}$  em relação ao indivíduo controle (dose 0 mg de  $\text{Al}^{3+} \text{ L}^{-1}$ ).



**Figura 4** – Efeitos do alumínio sobre o comprimento da parte aérea em cultivares submetidas a diferentes doses de alumínio (0, 50, 70, 90 e 120 ppm de  $\text{Al}^{3+} \text{ L}^{-1}$ ).



**Figura 5** – Efeitos do alumínio sobre o diâmetro do caule em cultivares submetidas a diferentes doses de alumínio (0, 50, 70, 90 e 120 ppm de  $\text{Al}^{3+} \text{L}^{-1}$ ).

O efeito tóxico do alumínio representa um fator limitante para o desenvolvimento de diversas culturas de interesse agrícola, a mamoneira em especial, apresenta grande sensibilidade à presença deste metal no solo, tornando fundamental o desenvolvimento de estudos que objetivem selecionar cultivares com maior grau de adaptabilidade visando uma maior produtividade.

Ainda são escassos na literatura trabalhos que relatem a respeito de alterações morfológicas que acometem a parte aérea de cultivares submetidas a estresse por alumínio cultivadas em hidroponia, entretanto estudos desta natureza devem ser considerados, pois já se foi comprovado que o alumínio causa danos ao crescimento da parte aérea.

#### 4. CONCLUSÃO

Assim, os resultados indicam que as concentrações de 50 e 70 mg  $\text{AL}^{3+} \text{L}^{-1}$  de alumínio promoveram um rápido aumento no crescimento da parte aérea das cultivares analisadas. E ao contrário desse resultado, as concentrações de 90 e 120 mg  $\text{AL}^{3+} \text{L}^{-1}$  levou a diminuição dessa variável. Entretanto, para a variável diâmetro do caule todas as concentrações do alumínio levaram ao aumento do diâmetro do caule em comparação dos tratamentos com o controle. Mais vale ressaltar que houve uma curva de

decrécimo do diâmetro do caule para as concentrações crescente de alumínio.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

CAMARGO, C. E. O.; OLIVEIRA, O. F. Tolerância de cultivares de trigo a diferentes níveis de alumínio em solução nutritiva e no solo. **Bragantia**, V. 40, nº 3, Campinas, 1981.

DORNELLES, A. L. C.; CARVALHO, F. I. F.; FEDERIZZI, L. C. Avaliação simultânea para tolerância ao alumínio e sensibilidade ao ácido giberélico em trigo hexaplóide. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.32, n.9, 1997.

FERREIRA, D. F. SISVAR: um programa para análises e ensino de estatística. **Revista Symposium**, v.6, p.36-41, 2008.

LIMA, R. de L. S.; SEVERINO, L. S.; CAZZETA, J. O.; SAMPAIO, L. R.; LEÃO, A. B.; SOFIATTI, V.; BELTRÃO, N. E. de M.; FREIRE, M. A. de O.; SILVA, L. V. B. D. **Tolerância de genótipos de mamoneira ao alumínio**. In: CONGRESSO DA REDE BRASILEIRA DE TECNOLOGIA DE BIODIESEL, 2., 2007, Brasília, DF. Anais...Brasília, DF: MCT/ABIPTI, 2007. Disponível também em CD. **Biblioteca(s): CNPA (PL 662.669-C749 UPC); CNPA (PL 662.669-C749 UPC)**

NAVA, I. C. **Estratégias de avaliação e herança da tolerância ao alumínio em linhagens recombinantes de aveia (*Avena sativa* L.)**. Dissertação (Mestrado) – Curso de Pós-graduação em fitotecnia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 2005.

PASSOS, A. R. **Avaliação de Cultivares de Mamoneira para Tolerância ao Alumínio Tóxico e Insensibilidade ao Ácido Giberélico**. Tese (Doutorado). Pós-graduação em Ciências Agrárias, Universidade Federal do Recôncavo da Bahia. Cruz das Almas (BA), 2009.

PORTALUPPI, R. **Caracterização molecular e estudo da variabilidade genética em cereais de inverno quanto a tolerância do alumínio tóxico**. Dissertação (Mestrado) – Curso de Pós-graduação em Agronomia, Universidade de Passo Fundo. Passo Fundo, 2008.

SANTOS, C. A. C.; ALMEIDA, J.; SANTOS, A. R.; VIEIRA, E. L.; PEIXOTO, C. P. Rúcula em cultivo hidropônico submetida a diferentes concentrações de alumínio. **Biosci. J.**, Uberlândia, V. 26, n. 6, p. 905-912, 2010.

## Capítulo 2

**CARACTERIZAÇÃO MORFOLÓGICA E FISIOLÓGICA  
DE DUAS CULTIVARES DE MAMONEIRA SUBMETIDA  
A DIFERENTES CONCENTRAÇÕES DE ALUMÍNIO**

## **CARACTERIZAÇÃO MORFOLÓGICA E FISIOLÓGICA DE DUAS CULTIVARES DE MAMONEIRA SUBMETIDA A DIFERENTES CONCENTRAÇÕES DE ALUMÍNIO**

**Resumo:** Este estudo teve por objetivo avaliar as alterações morfológicas e fisiológicas desencadeadas pelo metal alumínio em duas cultivares de mamoneira. Para a realização do estudo as sementes das cultivares foram desinfestadas e semeadas em vasos contendo substrato. Os vasos foram regados por 10 dias com água destilada, após este período a rega procedeu por 20 dias com solução nutritiva, então se iniciou o tratamento contendo alumínio por 16 dias. Aos 47 dias foram aferidos os caracteres indicativos de tolerância: comprimento da parte aérea, diâmetro do caule, número de folhas, massa seca do caule das folhas e das raízes e a área foliar. Para as avaliações fisiológicas foram determinadas as taxas de fotossíntese líquida, de transpiração, de condutância estomática e a razão entre a concentração de CO<sub>2</sub> na cavidade subestomática e a concentração de CO<sub>2</sub> da atmosfera. A comparação de médias revelou que a cultivar EBDA MPA 16 apresentou melhor resposta ao alumínio, para as avaliações morfológicas, já para as avaliações fisiológicas a cultivar EBDA MPB 01 apresentou-se superior.

**Palavras-chave:** Fitotoxicidade, *Ricinus communis* L., fotossíntese.

**PHYSIOLOGICAL AND MORPHOLOGICAL  
CHARACTERIZATION OF TWO CASTOR BEAN CULTIVARS  
SUBMITTED TO DIFFERENT CONCENTRATIONS OF  
ALUMINUM.**

**Abstract:** This study objective to evaluate the physiological and morphological disturbance to unchain by aluminum metal in two cultivars of castor bean. For the achievement study the seeds of the cultivars were sterilized and plants in pots containing substrate. The pots were irrigated by 10 days with distilled water, after this period irrigating proceeded by 20 days with nutrient solution, so if began treatment containing aluminum for 16 days. At 47 days were measured characters indicate tolerance: air shoot portion length, stem diameter, leaf number, dry mass of stem, leaves, roots and leaf area. For measurements were determined rates of liquid photosynthesis, transpiration, stomatal conductance and the ratio of the CO<sub>2</sub> concentration in the substomatal cavity and the concentration of CO<sub>2</sub> in the atmosphere. The comparison of means revealed that the cultivar EBDA MPA 16 showed better response to aluminum, for the morphological, physiological assessments have to cultivate EBDA MPB-01 showed to be superior.

**Keywords:** Fitoxidade, *Ricinus communis* L., photosynthesis.

## 1. INTRODUÇÃO

A mamoneira (*Ricinus communis* L.) é uma oleaginosa que apresenta uma grande importância econômica por produzir, em suas sementes, um óleo que possui características químicas únicas e com um largo emprego na indústria em geral. Na região do semi-árido esta cultura ainda tem um grande valor adicional, por ser extremamente resistente a seca e por ter o seu plantio recomendado em áreas que seriam inviáveis para o desenvolvimento de diversas culturas de interesse agrônomo (LIMA et al., 2007).

A característica de tolerância observada em inúmeras espécies vegetais tem sido atribuída a capacidade de manter em suas raízes ou na parte aérea o acúmulo de certos nutrientes essenciais ao seu desenvolvimento (MENDONÇA et al., 2003). A toxicidade por alumínio manifesta-se, principalmente, na redução do crescimento e desenvolvimento das plantas sensíveis a este metal. E estudos relatam a ocorrência drástica na redução do desenvolvimento do sistema radicular dessas plantas o que ocasiona uma menor absorção de nutrientes pelas raízes e uma menor exploração dos solos com potencial para agricultura.

Os efeitos do alumínio sobre o crescimento das plantas pode estar associado a redução da taxa de fotossíntese líquida, que por sua vez esta relacionada com a condutância estomática que é responsável pela regulação do fluxo de CO<sub>2</sub> e a transpiração das folhas (KOZLOWSKI e PALLARDY, 1997). O alumínio ainda pode induzir a redução das atividades do fotossistema II e na quantidade de citocromo b por unidade de clorofila, além de reduzir a quantidade de carotenos, também está associado a redução da concentração de ATP nas folhas, além de provocar modificações na estrutura dos cloroplastos e no arranjo dos grana (LINDON et al., 1997., LOREN-PLUCINSKA e ZIEGLER, 1996., MOUSTAKAS et al., 1997).

A fotossíntese em cultivares mais tolerantes é menos afetada pelo alumínio em relação as sensíveis além disso, pode apresentar estratégias de adaptação do aparelho fotossintético em função do tempo de permanência sob o estresse (PEIXOTO et al., 2002).

Diversos trabalhos são encontrados na literatura a respeito de estudos das alterações fisiológicas desencadeadas pela presença do metal alumínio, estes estudos avaliam características como: trocas gasosas, fluorescência da clorofila e composição mineral. Dentre as espécies estudadas encontra-se: porta-enxertos de citrus (PEREIRA, 2001), Alfafa (FEITOSA, 2002) e cafeeiro (KONRAD et al, 2005). Por tanto o trabalho teve por objetivo avaliar as alterações morfológicas e fisiológicas desencadeadas pelo metal alumínio nas cultivares de mamoneira EBDA MPA 16 e EBDA MPB 01, cultivadas em substrato.

## **2. MATERIAL E MÉTODOS**

### **2.1 Avaliações Morfológicas**

O experimento foi desenvolvido em casa de vegetação pertencente ao Centro de Ciências Agrárias, Ambientais e Biológicas da Universidade Federal do Recôncavo da Bahia, no município de Cruz das Almas, no período de 17 de outubro a 2 de dezembro de 2011.

Para a realização do experimento foi necessário o preparo das soluções 1, 2, 3, 4, 5 e 6 como descrito por PASSOS (2009), sendo as soluções contendo cálcio, magnésio, potássio, fósforo, nitratos, sulfatos e micronutrientes (boro, sódio, molibdênio, cloro, zinco, cobre e manganês). A solução 7 composta por 86,5 mL/ 2L (Fe + EDTA =  $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$  + Na EDTA) foi preparada utilizando água aquecida até 80°C para evitar a precipitação do ferro. Estas soluções forneceram o aporte nutricional necessário para o desenvolvimento das plântulas em casa de vegetação.

A composição das soluções está contida na Tabela 4 e 5. A solução teve o pH ajustado para uma faixa em torno de 3,7 e 4,3. Para o ajuste do pH foram utilizados uma base (hidróxido de sódio) e um ácido (ácidos clorídrico).

**Tabela 4-** Macronutrientes utilizados para hidroponia em *Ricinus communis* L..

<b>Macronutrientes</b>	<b>Quantidade (2L)</b>
Ca (NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> 4 H <sub>2</sub> O (nitrato de cálcio tetra- hidratado)	156,8 g
MgSO <sub>4</sub> 7H <sub>2</sub> O (sulfato de magnésio hepta- hidratado)	81, 84 g
KNO <sub>3</sub> (nitrato de potássio - reagente amônio)	67, 13 g
KNO <sub>3</sub> (nitrato de potássio - reagente amônio)	67, 13 g
(NH <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> (sulfato de amônio)	9, 54 g
KH <sub>2</sub> PO <sub>4</sub> (potássio fosfato monobásico)	11, 29 g

**Tabela 5 -** Micronutrientes utilizados para hidroponia em *Ricinus communis* L..

<b>Micronutrientes</b>	<b>Quantidade (2L)</b>
H <sub>3</sub> BO <sub>3</sub>	0.10292 g
Na <sub>2</sub> Mo O <sub>4</sub> 2H <sub>2</sub> O	0.00402 g
NaCl	0.29134 g
ZnSO <sub>4</sub> 7H <sub>2</sub> O	0.03812 g
CuSO <sub>4</sub> 5H <sub>2</sub> O	0.01246 g
MnSO <sub>4</sub> H <sub>2</sub> O	0.07404 g

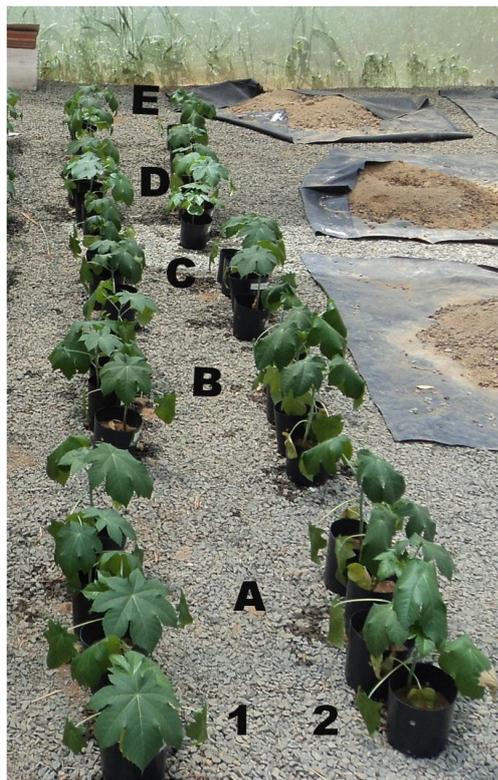
Para a condução do experimento foram utilizadas 120 sementes de cada uma das cultivares avaliadas (EBDA MPB 01 e EBDA MPA 16). Essas sementes foram selecionadas e desinfetadas em solução de hipoclorito a 20% (produto comercial) por 20 minutos e lavadas com água destilada para retirar o excesso do produto. Em seguida, as sementes foram semeadas diretamente em vasos com capacidade para 1,5 litros contendo 1kg de areia lavada como substrato inerte, de modo que em cada vaso foram adicionadas 3 sementes para posterior desbaste. Os vasos foram regados diariamente com água destilada, por um período de 10 dias após a semeadura (DAS), até que as sementes estivessem completamente germinadas. Após este período, os vasos

foram regados com solução nutritiva completa por um período de 20 dias. Dentro deste período com as plântulas bem desenvolvidas foi realizado o desbaste deixando apenas uma planta por vaso. Só então se iniciou o tratamento com soluções contendo alumínio citotóxico nas seguintes doses: 0, 15, 30, 45 e 60 ppm de  $Al^{3+}$  por 16 dias.

Aos 47 DAS foram aferidos os caracteres morfológicos indicativos de tolerância ao  $Al^{3+}$  comprimento da parte aérea (CPA, cm), diâmetro do caule (DC, cm), número de folhas (NF), massa seca do caule (MSC, Kg), das folhas (MSF, Kg), das raízes (MSR, Kg) e a área foliar (AF,  $cm^2$ ).

Para a determinação do comprimento da parte aérea utilizou-se uma régua graduada, medindo-se da base do caule ao ápice da última folha emitida e para o diâmetro do caule foi utilizado um paquímetro. Após estas aferições, foram separadas as folhas, o caule e as raízes sendo estes armazenados em saco de papel devidamente identificados e posto para secar em estufa a uma temperatura média de  $55^{\circ}C$  por três dias, e então as amostras foram pesadas em balança de precisão. A área foliar foi determinada mediante a relação entre a massa seca dos discos foliares de área conhecida e a massa seca total das folhas, sendo que para cada planta foram coletados 3 discos com o auxílio de um perfurador.

O delineamento utilizado foi em blocos casualizados com quatro repetições (1 planta por repetição), num esquema fatorial  $2 \times 5$  (dois genótipos para cinco níveis de alumínio), como pode ser observado na figura 4. Para análise dos dados utilizou-se o software estatístico SISVAR (FERREIRA, 2008). Para a realização das análises de variância, utilizou-se o teste F para comparação de médias e regressão. As diferenças entre os tratamentos foram obtidas por meio do teste de Tukey a 5% de probabilidade. Os gráficos de regressão foram desenvolvidos no software EXCEL.



**Figura 6** – Delineamento experimental utilizado, sendo que os genótipos estão dispostos em: **1** EBDA MPA 16 e em **2** EBDA MPB 01. O delineamento utilizado foi blocos por tratamento, sendo em **A**: para a dose 0 ppm Al, em **B**: para a dose 15 ppm de Al, em **C**: para a dose 30 ppm de Al, em **D**: para a dose de 45 ppm de Al e em **E** para a dose de 60 ppm de Al.

## 2.2 Avaliações Fisiológicas

Para as avaliações fisiológicas foram determinadas as variáveis: taxas de fotossíntese líquida ( $A$ ,  $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ ), de transpiração ( $E$ ,  $\text{mmol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ ), de condutância estomática ( $g_s$ ,  $\text{mol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ ), a concentração de  $\text{CO}_2$  na cavidade subestomática ( $C_i$ ,  $\mu\text{mol CO}_2 \text{ mol}^{-1}$ ) e a concentração de  $\text{CO}_2$  da atmosfera ( $C_a$ ,  $\mu\text{mol CO}_2 \text{ mol}^{-1}$ ), por meio de um sistema de medição de trocas gasosas portátil LC-pro+ (ADC Bioscientific Ltd., England) equipado com uma fonte de luz azul/vermelho (Figura 5). As mensurações foram realizadas sob luz saturante, concentração de  $\text{CO}_2$ , temperatura e vapor de  $\text{H}_2\text{O}$  do ambiente do local de estudo. As medições foram realizadas no período matutino entre 7:30 e 12:15, em folhas completamente expandidas a partir do ápice. Sendo que as

medições foram realizadas por tratamento de modo que todas as plantas permaneceram sob as mesmas condições de exposição aos raios solares no momento das aferições.



**Figura 7** – Sistema de medição de trocas gasosas portátil LC-pro+ (ADC Bioscientific Ltd., England) equipado com uma fonte de luz azul/vermelho.

As análises de variância, teste de comparação de médias e regressão foi realizada por meio do programa estatístico SISVAR (FERREIRA, 2008). As diferenças entre as cultivares foram obtidas por meio do teste de Tukey a 5% de probabilidade. Os gráficos de regressão foram desenvolvidos no programa EXCEL.

### **3. RESULTADOS E DISCUSSÃO**

#### **3.1 Avaliações Morfológicas**

A análise de variância mostrou diferenças significativas para genótipo, dose e interação genótipo X dose, a 5% de probabilidade, para os caracteres avaliados: Massa seca da raiz (MSR), Massa seca da folha (MSF), Número de folhas (NF), Comprimento da parte aérea (CPA), Diâmetro do caule (DC), Massa seca do caule (PSC) e Área foliar (AF). A equação de 3º grau

apresentou melhor ajuste matemático para as variáveis: MSR, AF, CPA e DC, enquanto que para as variáveis NF e MSF a equação de 2º grau que apresentou um melhor modelo matemático.

A partir da comparação entre médias pode-se observar que a cultivar EBDA MPA 16 apresentou-se superior para a maioria das características avaliadas (Tabela 6), sendo superada pela cultivar EBDA MPB 01 apenas para massa seca da raiz e número de folhas (Tabela 6).

**Tabela 6.** Comparação de médias entre os genótipos EBDA MPA 16 e EBDA MPB 01 para os caracteres: Massa seca da folha (MSF), Comprimento da parte aérea (CPA), Diâmetro do caule (DC), Massa seca do caule (MSC), Área foliar (AF), Massa seca da raiz (MSR) e Número de folhas (NF).

Genótipo	Médias						
	MSF	CPA	DC	MSC	AF	MSR	NF
EBDA MPA 16	1.786a	20.850a	0.737a	1.455a	435.743a	1.493b	3.733b
EBDA MPB 01	1,468b	14.271b	0,626b	1.063b	319.427b	1.612a	4.367a

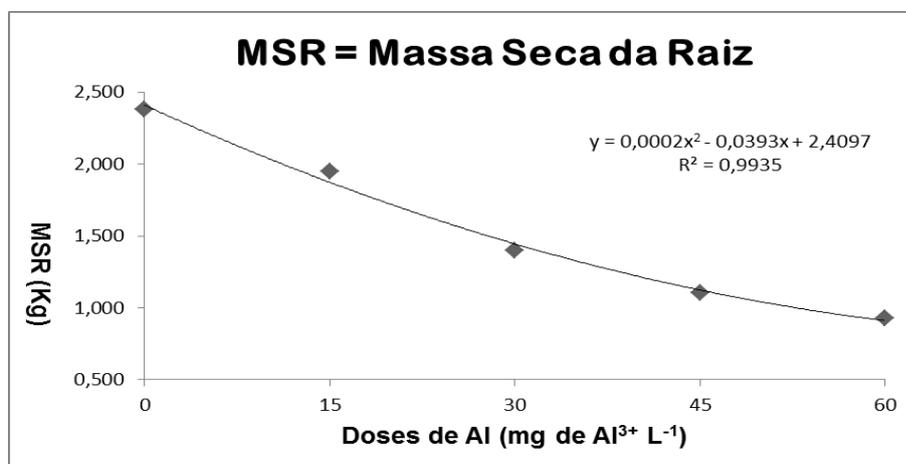
Médias seguidas pela mesma letra não difere estatisticamente entre si pelo teste de Turkey a 5% de probabilidade

Para o fator dose foi utilizada a análise de regressão, por se tratar de uma característica quantitativa, este tipo de análise permite a visualização, através de gráficos, do efeito de cada dose de alumínio sobre a característica avaliada.

As avaliações para a característica MSR revelou significância apenas para o fator dose, e sem significância para os fatores genótipo e interação genótipo X dose a 1% de probabilidade. O coeficiente de variação foi igual a 24,32% demonstrando a precisão do experimento.

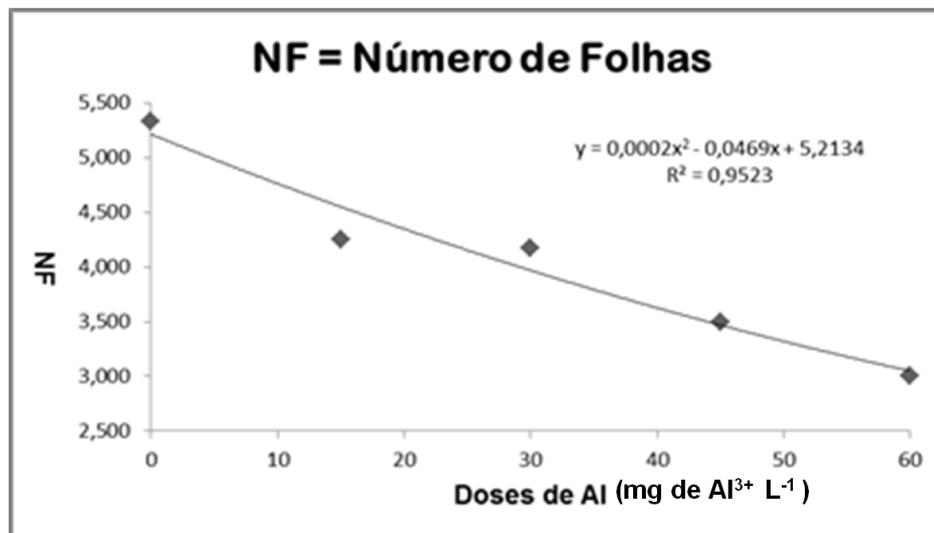
A partir da análise da figura 8 pode-se observar que com o aumento da dose de alumínio houve redução do massa seca das raízes de 61.1% para a dose máxima testada de 60 mg de  $Al^{3+}$  L<sup>-1</sup> demonstrando o alto efeito do alumínio sobre o desenvolvimento do sistema radicular de plantas cultivadas na presença desse metal. Estudos com rúcula mostraram redução de 55% no

peso seco das raízes em relação ao controle para a dose máxima de alumínio de 60 mg de  $\text{Al}^{3+} \text{ L}^{-1}$  (SANTOS et al 2010).



**Figura 8** – Efeitos do alumínio sobre a massa seca da raiz em cultivares de mamoneira EBDA MPA 16 e EBDA MPB 01 47 dias após emergência submetidas a diferentes doses de alumínio.

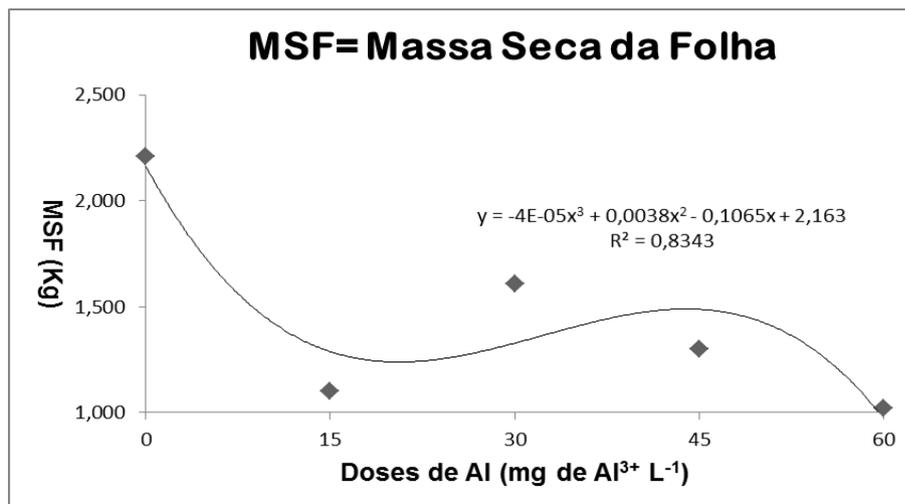
Para a variável número de folhas o teste F revelou significância para genótipo, dose e interação genótipo x dose a 1% de probabilidade, apresentando coeficiente de variação igual a 11,35%. Observando-se a figura 9 é possível identificar que com o aumento da dose do metal alumínio o número de folhas foi reduzindo, sendo que para a dose máxima de 60 mg de  $\text{Al}^{3+} \text{ L}^{-1}$  este sofre maior diminuição. Mendonça et. al (1999) ao avaliar cultivares de maracujazeiro observou que em baixas concentrações o alumínio não apresentou efeito sobre o número de folhas, porém em doses maiores que 5 mg de  $\text{Al}^{3+} \text{ L}^{-1}$  a redução do NF foi significativa.



**Figura 9** – Efeitos do alumínio sobre o número de folhas em cultivares de mamoneira EBDA MPA 16 e EBDA MPB 01 47 dias após emergência submetidas a diferentes doses de alumínio.

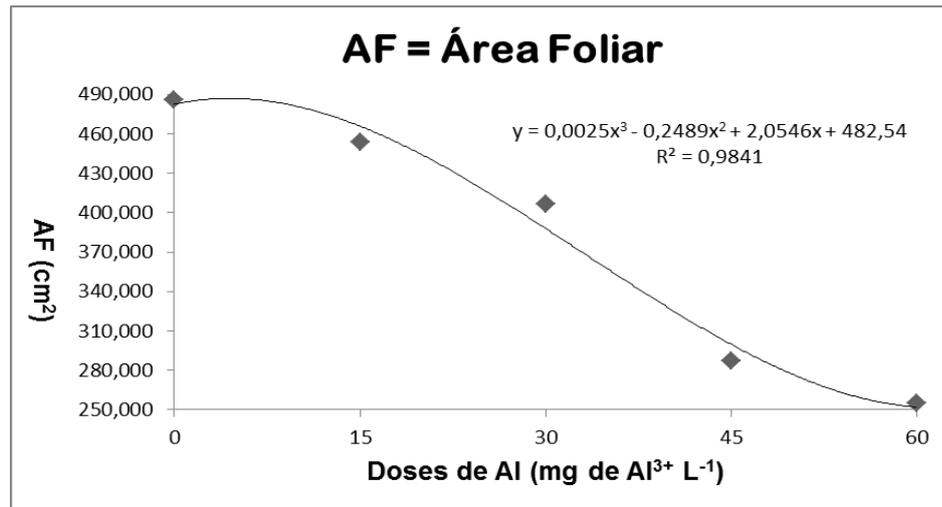
As avaliações para a variável massa seca da folha revelaram significância para genótipo, dose e a interação genótipo X dose a 1% de probabilidade, sendo o coeficiente de variação com valor igual a 14,81%.

Para a variável massa seca da folha houve uma redução de 53,85% para a dose máxima de 60 mg de Al<sup>3+</sup>L<sup>-1</sup>. De acordo com a figura 10 pode-se observar que houve diminuição na massa seca da folha, sendo que entre as dosagens de 0 e 15 mg de Al<sup>3+</sup> L<sup>-1</sup> a redução foi acentuada, enquanto que entre as doses 30 e 45 mg de Al<sup>3+</sup> L<sup>-1</sup> houve um aumento discreto neste valor e de 45 a 60 mg de Al<sup>3+</sup> L<sup>-1</sup> os valores voltaram a diminuir. Santos et al, 2010 observaram uma redução de 149,7% de massa seca de folha de rúcula em relação ao controle na dose máxima de 60 mg de Al<sup>3+</sup> L<sup>-1</sup>. Estudos com maracujazeiro também revelaram redução no MSF (massa seco da folha) em decorrência do aumento da dose de Al<sup>3+</sup> L<sup>-1</sup> em solução nutritiva para a dose máxima testada de 45 mg de Al<sup>3+</sup> L<sup>-1</sup> (MENDONÇA et al., 1999).



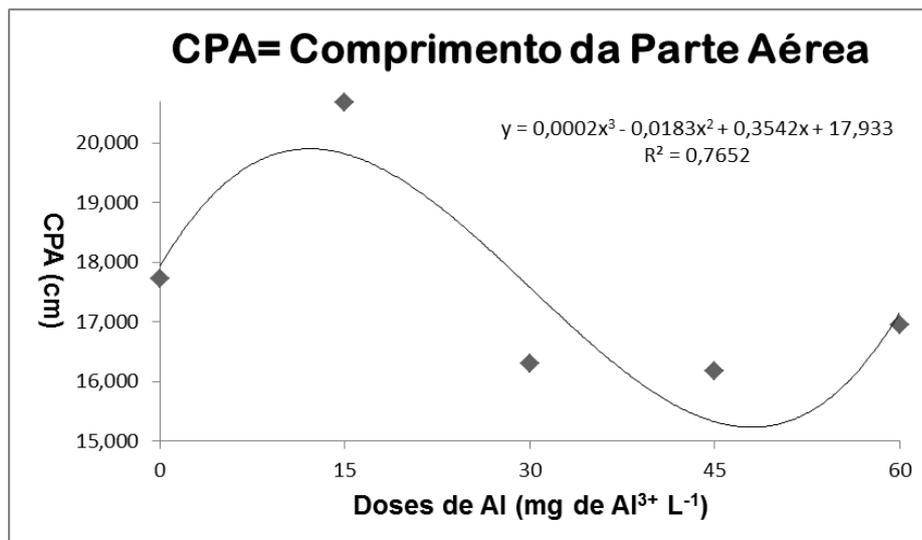
**Figura 10** – Efeitos do alumínio sobre o peso seco da folha em cultivares de mamoneira EBDA MPA 16 e EBDA MPB 01 47 dias após emergência submetidas a diferentes doses de alumínio.

Para a variável área foliar o teste F revelou significância para genótipo e dose, e sem significância para a interação genótipo X dose a 1% de probabilidade, apresentando coeficiente de variação de 22,46%. De acordo com a figura 11 pode-se observar uma acentuada redução de 74,5% da área foliar na dose máxima de 60 mg de Al<sup>3+</sup> L<sup>-1</sup> quando comparada ao controle. Estudos com duas cultivares de mamoneira (BRS Nordestina e BRS Paraguaçu), em substrato, na presença de Al<sup>3+</sup> mostraram uma redução linear da área foliar de aproximadamente 227 e 228 cm<sup>2</sup> por planta, respectivamente, o que demonstra a alta sensibilidade desta planta a presença de alumínio no solo (LIMA et al, 2007). Avaliações com a cultivar de mamoneira BRS Nordestina mantida na ausência e presença de matéria orgânica em substrato contendo alumínio revelaram que houve redução da área foliar de respectivamente 77% e 50% (LIMA et al, 2007).



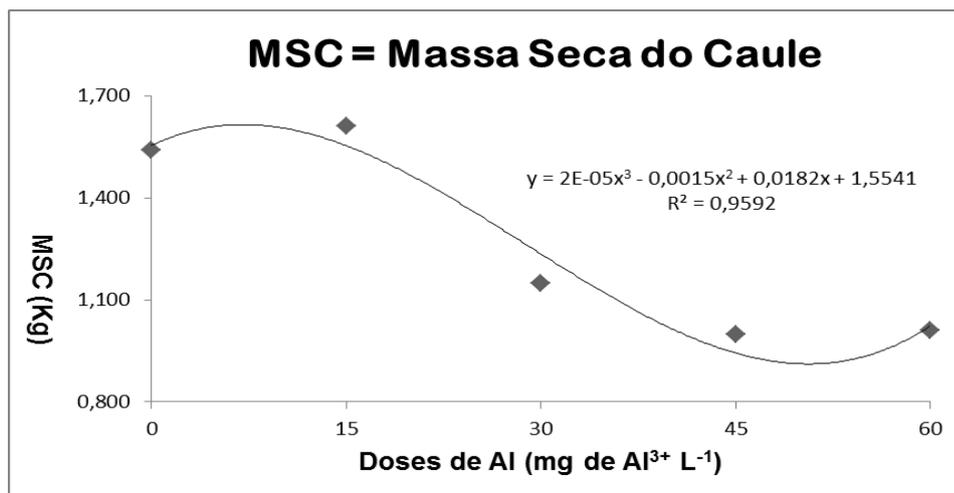
**Figura 11** – Efeitos do alumínio sobre a área foliar em cultivares de mamoneira EBDA MPA 16 e EBDA MPB 01 47 dias após emergência submetidas a diferentes doses de alumínio.

Para a variável comprimento da parte aérea o teste F revelou significância para genótipo, dose e interação genótipo X dose a 1% de probabilidade, apresentando coeficiente de variação com valor igual a 9,37%. De acordo com a figura 12 pode-se observar que entre as doses de 0 de 15 mg de Al<sup>3+</sup> L<sup>-1</sup> houve um aumento no comprimento da parte aérea, enquanto que entre as doses de 15 e 45 mg de Al<sup>3+</sup> L<sup>-1</sup> houve uma redução considerável do CPA (comprimento da parte aérea) e entre as doses de 45 e 60 mg de Al<sup>3+</sup> L<sup>-1</sup> pode ser observado um novo aumento no CPA. Lima et al (2007), também observaram redução no crescimento da parte aérea de cultivares de mamoneira (BRS Nordestina e BRS Paraguaçu) submetidas ao metal alumínio.



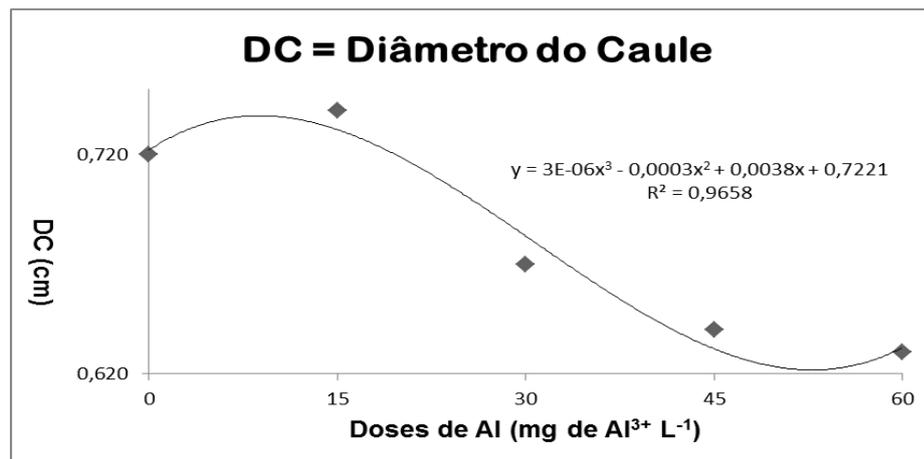
**Figura 12** – Efeitos do alumínio sobre o comprimento da parte aérea em cultivares de mamoneira EBDA MPA 16 e EBDA MPB 01 47 dias após emergência submetidas a diferentes doses de alumínio.

Já para a variável massa seca do caule o teste F revelou significância para genótipo, dose e a interação genótipo x dose, apresentando coeficiente de variação com valor igual a 20,11%. De acordo com a figura 13 pode-se observar um discreto aumento da massa seca do caule (MSCA) a partir do controle até a dose de 15 mg de Al<sup>3+</sup> L<sup>-1</sup>. Já entre as doses de 15 e 45 mg de Al<sup>3+</sup> L<sup>-1</sup> houve uma redução significativa no MSCA, sendo que para as dose de 45 a 60 mg de Al<sup>3+</sup> L<sup>-1</sup> o valor do PSCA volta a aumentar, a redução do MSC para a dose máxima de 60 mg Al<sup>3+</sup> L<sup>-1</sup> foi de 34.4%. Ao estudar maracujazeiro Mendonça et. al (1999) constatou uma redução de mais de 50% no MSCA já nas doses mais baixas do tratamento de 5 mg Al<sup>3+</sup> L<sup>-1</sup>, enquanto que para as doses de 15, 30 e 45 mg Al<sup>3+</sup> L<sup>-1</sup> os valores não se diferiram estatisticamente.



**Figura 13** – Efeitos do alumínio sobre a massa seca do caule em cultivares de mamoneira EBDA MPA 16 e EBDA MPB 01 47 dias após emergência submetidas a diferentes doses de alumínio.

As avaliações para a variável diâmetro do caule revelaram significância para genótipo, dose e a interação genótipo x dose a 1% de probabilidade, apresentando coeficiente de variação com valor igual a 8,55%. A equação de 3º grau apresentou melhor ajuste matemático para esta característica, sendo o valor de  $R^2$  igual a 0,9658. A partir da análise da figura 14 pode-se observar que houve redução do DCA da dose mínima de 15 mg Al<sup>3+</sup> L<sup>-1</sup> para a dose máxima de 60 mg Al<sup>3+</sup> L<sup>-1</sup>, sendo que esta redução foi de 14,86%. Segundo Passos (2009) a redução do desenvolvimento da parte aérea é um efeito secundário, que ocorre em consequência dos danos sofridos pelo sistema radicular. Estudos revelam que altas concentrações de alumínio no sistema radicular podem diminuir o transporte e absorção de nutrientes pelas plantas, principalmente cálcio e fósforo.



**Figura 14** – Efeitos do alumínio sobre o diâmetro do caule em cultivares de mamoneira EBDA MPA 16 e EBDA MPB 01 47 dias após emergência submetidas a diferentes doses de alumínio.

### 3.2 Avaliações Fisiológicas

As avaliações fisiológicas revelaram diferenças significativas para genótipo, dose e interação genótipo x dose a 1% de probabilidade, sendo que para as variáveis: taxa de fotossíntese líquida, condutância estomática e a concentração de CO<sub>2</sub> na cavidade subestomática, os resultados foram significativos para genótipo e dose e não significativo para a interação genótipo x dose.

Para a variável transpiração os resultados foram significativos a 1% para genótipo, dose e a interação genótipo x dose. Entretanto, para a concentração de CO<sub>2</sub> na atmosfera os resultados foram significativos para dose, e não significativo para genótipo e interação genótipo x dose e para a razão Ci/Ca (razão entre concentração de CO<sub>2</sub> no mesófilo foliar e a concentração de CO<sub>2</sub> na atmosfera) os resultados foram significativos para tratamento e não significativo para genótipo e interação genótipo x dose.

A partir da comparação de médias pode-se observar que a cultivar EBDA MPB 01 apresentou melhor resposta ao alumínio em relação a cultivar EBDA MPA 16, esta se revelou superior apenas para a característica concentração de CO<sub>2</sub> na atmosfera (Tabela 7).

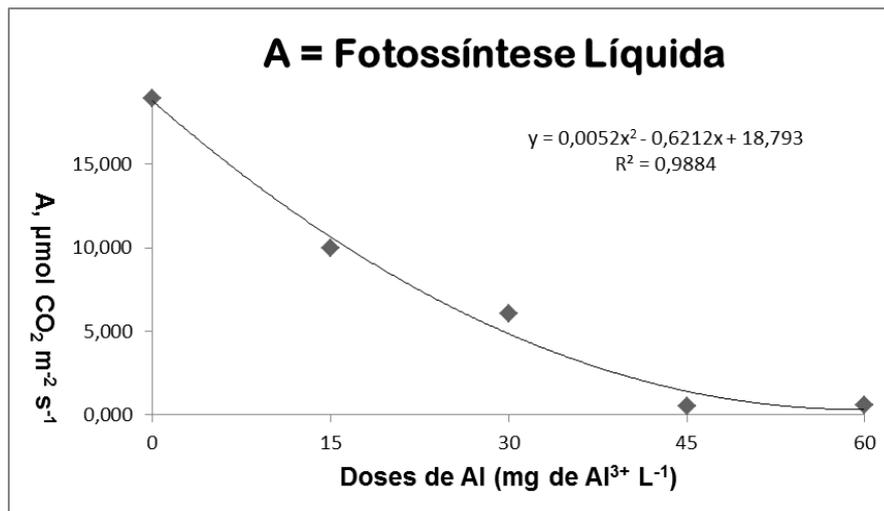
**Tabela 7.** Comparação de médias entre os genótipos EBDA MPA 16 e EBDA MPB 01 para os caracteres: Fotossíntese líquida (A), Condutância estomática (gs), Transpiração (E) e Concentração de CO<sub>2</sub> na Atmosfera (Ca).

Genótipo	Médias			
	A	Gs	E	Ca
EBDA MPA 16	5.999b	0.100b	1.792b	392.377a
EBDA MPB 01	8.531a	0.152a	2.068a	388.733b

Médias seguidas pela mesma letra não difere estatisticamente entre si pelo teste de Turkey a 5% de probabilidade

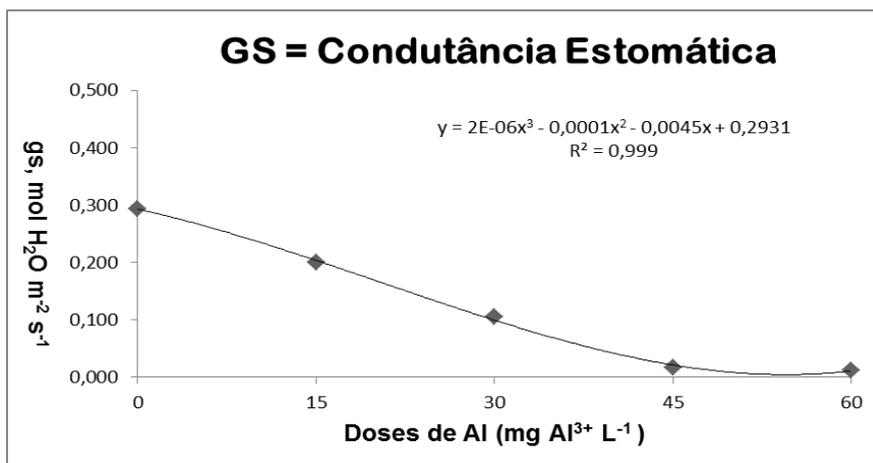
Para todas as variáveis avaliadas foi realizada a análise de regressão, de modo que a confecção de gráficos permitiu analisar o comportamento das plantas a cada dose de alumínio testada.

De acordo com a figura 15 pode-se observar redução na taxa de fotossíntese líquida em decorrência do aumento da dose de alumínio. Segundo Husaini e Rai (1992) a redução da taxa fotossintética pode estar relacionada a substituição do Fe pelo Al nos centros Fe-S causando a inibição do fotossistema I e reduzindo a capacidade redox dos dois fotossistemas. Estudos com as variedades Cravo, Sunki e Cleópatra de porta-enxertos de citros revelaram que na presença de alumínio em baixas concentrações houve um incremento na taxa de fotossíntese líquida, sendo os valores máximos obtidos nas concentrações de 14, 18 e 55  $\mu\text{mol L}^{-1}$  de Al e que a partir desses valores a taxa de fotossíntese começou a diminuir, enquanto que na cultivar de limoeiro (Volkameriano) o alumínio mesmo em baixas concentrações provocou a diminuição da taxa fotossintética (PEREIRA, 2001).



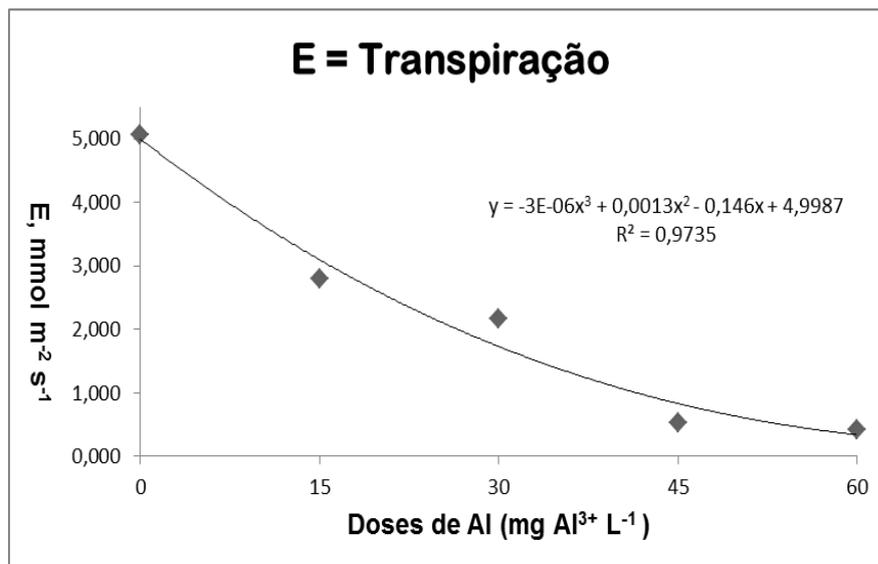
**Figura 15** – Efeitos do alumínio sobre a taxa de fotossíntese líquida em cultivares de mamoneira EBDA MPA 16 e EBDA MPB 01 47 dias após emergência submetidas a diferentes doses de alumínio.

Ao analisar a figura 16 pode-se observar que ao aumentar a dose de alumínio ocorre uma discreta diminuição da condutância estomática, sendo que as modificações da  $g_s$  (condutância estomática) causadas pela presença do alumínio podem estar relacionadas com as alterações na relação de  $K^+/Ca^+$  das células guarda ou por alterações nas concentrações de ácido abscísico (LINDBERG e WINGSTRAND, 1985; POSHENRIEDER et al., 1989 *apud* FEITOSA, 2002). Konrad et. al (2005) ao estudar seis cultivares de cafeeiro constatou que com o aumento da dose de alumínio houve redução na condutância estomática, sendo que a cultivar Obatã obteve os maiores valores ( $p < 0,05$ ). Neste mesmo estudo foi verificado que fazendo uma relação entre  $A/g_s$ , que define a eficiência intrínseca do uso da água ( $iWUE$ ), foi observado que com o aumento das doses de Al a redução foi significativa para esta característica.  $iWUE$  define que para uma abertura estomática equivalente, o cafeeiro submetido ao estresse por alumínio possui menor valor de  $A$ , as diminuições entre essas relações  $WUE$  e  $iWUE$ , sugeriram que a queda em  $g_s$  foi apenas um dos fatores que contribuíram para a queda das taxas de fotossíntese líquida para as cultivares estudadas, exceto a cultivar B. Amarelo que não apresentou queda em  $g_s$ .



**Figura 16** – Efeitos do alumínio sobre a condutância estomática em cultivares de mamoneira EBDA MPA 16 e EBDA MPB 01 47 dias após emergência submetidas a diferentes doses de alumínio.

As taxas de transpiração (Figura 17) tiveram uma redução de 92% ao atingir a dose máxima de 60 mg Al<sup>3+</sup> L<sup>-1</sup>, estes resultados foram obtidos em consequência da redução da condutância estomática, que também foi se reduzindo ao aumentar as doses do Al. Em plantas de Pupunheira sob deficiência hídrica as taxas de transpiração variaram de 3,25 a 0,75 mmol m<sup>-2</sup> S<sup>-1</sup>, sendo alcançado o valor mínimo de 23,5 % do valor inicial no décimo dia após a suspensão da rega (OLIVEIRA et al., 2002).

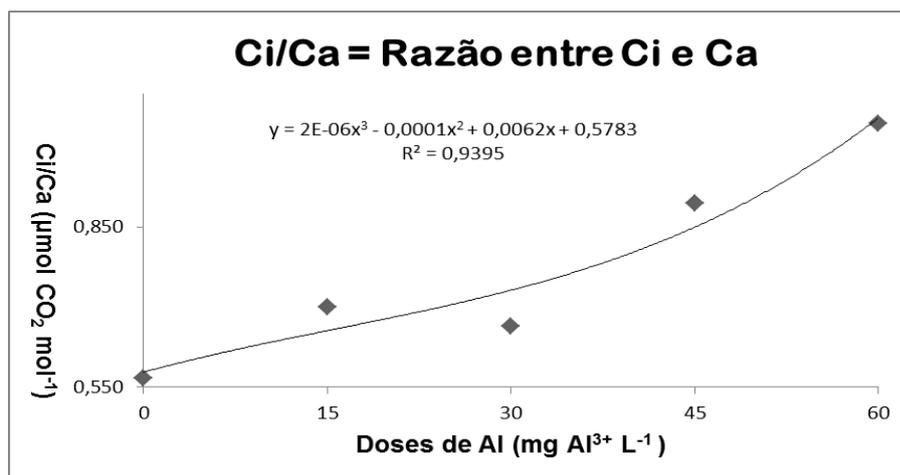


**Figura 17** – Efeitos do alumínio sobre a Transpiração em cultivares de mamoneira EBDA MPA 16 e EBDA MPB 01 47 dias após emergência submetidas a diferentes doses de alumínio.

Para a razão  $C_i/C_a$  (gráfico 18) pode-se observar que houve um aumento significativo nas concentrações de  $CO_2$  no mesófilo foliar em decorrência do aumento das doses de Al, enquanto que a concentração atmosférica se reduziu. Sendo a fotossíntese líquida resultado da fotossíntese total menos a respiração mais a fotorrespiração, e levando-se em consideração que ao aumentar a temperatura ocorre diminuição da solubilidade dos gases, principalmente do  $CO_2$ , em consequência aumenta a atividade oxigenase da rubisco, o que leva ao aumento das taxas de fotorrespiração. Nesse caso com a diminuição da Ca pode estar ocorrendo a fotorrespiração em detrimento da fotossíntese.

Se as taxas de fotossíntese, condutância estomática e transpiração reduziram de acordo com o aumento das doses de alumínio e em contracorrente houve aumento da  $C_i$ , pode-se inferir que a alta concentração de  $CO_2$  disponível no sítio da rubisco não está sendo aproveitada para a fotossíntese. Pereira (2001) ao analisar a correlação existente entre a taxa de fotossíntese líquida e a concentração interna de  $CO_2$  dos quatro porta-enxertos de citros avaliado, pode verificar uma correlação negativa entre as duas características, o que indica que o decréscimo da A não foi em decorrência das restrições estomáticas ao intercâmbio gasoso da planta. Resultados distintos

foram observados por Simon et. al (1994b) *apud* Pereira (2001) que ao estudar variedades de tomateiro submetidas a estresse por alumínio observou que a diminuição da condutância estomática, em decorrência do fechamento dos estômatos, resultou em menores valores da  $C_i$ , que foi responsável pela parcial diminuição da taxa de fotossíntese líquida.



**Figura 18** – Efeitos do alumínio sobre a Razão entre a concentração de  $\text{CO}_2$  no mesofilo foliar e na atmosfera em cultivares de mamoneira EBDA MPA 16 e EBDA MPB 01 47 dias após emergência submetidas a diferentes doses de alumínio.

#### 4. CONCLUSÕES

- Tanto para as avaliações das características morfológicas quanto fisiológicas foi constatado uma redução acentuada em função do aumento das concentrações de alumínio. A concentração de  $60 \text{ mg Al}^{3+} \text{ L}^{-1}$  apresentou grandes danos para o crescimento das cultivares, sendo então recomendada para futuras análises o uso de níveis de alumínio inferior a  $45 \text{ mg Al}^{3+} \text{ L}^{-1}$ .

- Para as avaliações morfológicas a cultivar EBDA MPA 16 revelou-se superior a EBDA MPB 01, enquanto para as avaliações fisiológicas a cultivar MPB 01 revelou superior em relação a EBDA MPA 16.

#### REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

FEITOSA, A. M. B. S. **Trocas gasosas, fluorescência da clorofila e crescimento de Afafa em resposta ao alumínio, ao pH e a relação Cálcio: Magnésio.** Dissertação (Mestrado) – Curso de Microbiologia Agrícola, Universidade Federal de Viçosa. Minas Gerais, 2002.

FERREIRA, D. F. SISVAR: um programa para análises e ensino de estatística. **Revista Symposium**, v.6, p.36-41, 2008.

HUSAINI, Y., RAI, L. C. pH dependent aluminium toxicity to *Nostoc linckia*: studies on phosphate uptake, alkaline and acid phosphatase activity, ATP content, photosynthesis and carbon fixation. **Journal of plant physiology**, 139, 1992.

KONRAD, M. L. F., SILVA, J. A. B., FURLANI, P. R., MACHADO, E. C. Trocas gasosas e fluorescência da clorofila em seis cultivares de cafeeiro sob estresse de alumínio. **Bragantia**, Campinas, V. 64, n. 3, p. 339-347, 2005.

KOZLOWSKI, T. T.; PALLARDY, S. G. **Physiology of woody plants.** San Diego: Academic Press, p. 411, 1997.

LIMA, R. de L. S.; SEVERINO, L. S.; CAZZETA, J. O.; SAMPAIO, L. R.; LEÃO, A. B.; SOFIATTI, V.; BELTRÃO, N. E. de M.; FREIRE, M. A. de O.; SILVA, L. V. B. D. **Tolerância de genótipos de mamoneira ao alumínio.** In: CONGRESSO DA REDE BRASILEIRA DE TECNOLOGIA DE BIODIESEL, 2., 2007, Brasília, DF. Anais...Brasília, DF: MCT/ABIPTI, 2007.

LIMA, R. L. S., SEVERINO, L. S., FERREIRA, G. B., SILVA, M. I. L., ALBUQUERQUE, R. C., BELTRÃO, N. E. M. **Crescimento da mamoneira em solo com alto teor de alumínio na presença e ausência de matéria orgânica.** Campina Grande, 2007.

LINDON, F. C., RAMALHO, J. C., BARREIRO, M.G., LAURIANO, J. Modulation of photosystem 2 reactions mediated by aluminium toxicity. In **Zea mays. Photosynthetica**, V.34, p. 151 a 156, 1997.

LOREN-PLUCINSKA, G., ZIEGLER, H. Changes in ATP levels in scot pine needles during aluminium stress. **Photosynthetica**, V.32, p. 141 a 144, 1996.

MENDONÇA, R. J., CAMBRAIA, J., OLIVEIRA, J. A., OLIVA, M. A. Efeito do alumínio na absorção e na utilização de macronutrientes em duas cultivares de arroz. **Pesquisa agropecuária brasileira**, Brasília, V. 38, n. 7, p. 843-846, 2003.

MENDONÇA, R. M. N.; COELHO, A. F. S.; MARTINEZ, H. E. P.; FONTES, P. C. R.; PEREIRA, P. R. G. Resposta de mudas de maracujá-amarelo (*Passiflora edulis* Sims. f. *flavicarpa* Deg.) cultivadas em solução nutritiva, a diferentes níveis de alumínio. **Revista Ceres**, 46 (266): 357-370, 1999.

MOUSTAKAS, M., ELEFThERIOU, E. P., OUZOUNIDOU, G. Short-term effects of aluminium stress at alkaline pH on the structure and function of the photosynthetic apparatus. **Photosynthetica**, V.34, p. 169 a 177, 1997.

OLIVEIRA, M. A. J.; BOVI, M. L. A.; MACHADO, E. C.; GOMES, M. M. A.; HABERMANN, G.; RODRIGUES, J. D. Fotossíntese, condutância estomática e transpiração em Pupunheira sob deficiência hídrica. **Scientia Agricola**, V. 59, n. 1, 2002.

PASSOS, A. R. **Avaliação de Cultivares de Mamoneira para Tolerância ao Alumínio Tóxico e Insensibilidade ao Ácido Giberélico**. Tese (Doutorado). Pós-graduação em Ciências Agrárias, Universidade Federal do Recôncavo da Bahia. Cruz das Almas (BA), 2009.

PEIXOTO, P. H. P., DAMATTA, F.M., CAMBRAIA, J. Responses of the photosynthetic apparatus to aluminium stress in two sorghum cultivars. **Journal of plant Nutrition**, New York, V.25, p.821-832, 2002.

PEREIRA, W. E. **Trocas gasosas, fluorescência da clorofila, crescimento e composição mineral de quatro porta-enxertos de citros submetidos a estresse por alumínio, em cultivo hidropônico**. Tese de doutorado, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, Minas Gerais, 2001.

SANTOS, C. A. C.; ALMEIDA, J.; SANTOS, A. R.; VIEIRA, E. L.; PEIXOTO, C. P. Rúcula em cultivo hidropônico submetida a diferentes concentrações de alumínio. **Biosci. J.**, Uberlândia, V. 26, n. 6, p. 905-912, 2010.