

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RECÔNCAVO DA BAHIA  
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS AMBIENTAIS E BIOLÓGICAS  
EMBRAPA MANDIOCA E FRUTICULTURA  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM RECURSOS GENÉTICOS VEGETAIS  
CURSO DE MESTRADO**

**AVALIAÇÃO E SELEÇÃO DE LINHAGENS DE MAMONEIRA  
TOLERANTES À TOXICIDADE DO ALUMÍNIO EM SOLUÇÃO NUTRITIVA**

**MAURICIO DOS SANTOS DA SILVA**

**CRUZ DAS ALMAS – BAHIA  
AGOSTO – 2015**

AVALIAÇÃO E SELEÇÃO DE LINHAGENS DE MAMONEIRA  
TOLERANTES À TOXICIDADE DO ALUMÍNIO EM SOLUÇÃO NUTRITIVA

**MAURICIO DOS SANTOS DA SILVA**

Engenheiro Agrônomo  
Universidade Federal do Recôncavo da Bahia, 2013

Dissertação submetida ao Colegiado de Curso do Programa de Pós-Graduação em Recursos Genéticos Vegetais da Universidade Federal do Recôncavo da Bahia e Embrapa Mandioca e Fruticultura, como requisito para obtenção do Grau de Mestre em Recursos Genéticos Vegetais.

**Orientadora: Prof.<sup>a</sup> Dra. Simone Alves Silva**

**Coorientadora: Dra. Vanessa de Oliveira Almeida**

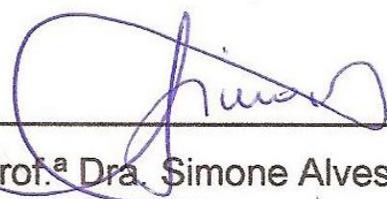
UNIVERSIDADE FEDERAL DO RECÔNCAVO DA BAHIA  
EMBRAPA MANDIOCA E FRUTICULTURA  
MESTRADO EM RECURSOS GENÉTICOS VEGETAIS  
CRUZ DAS ALMAS - BAHIA – 2015.

## FICHA CATALOGRÁFICA

S586a	<p>Mauricio dos Santos da Silva.</p> <p>Avaliação e seleção de linhagens de mamoneira tolerantes à toxicidade do alumínio em solução nutritiva / Mauricio dos Santos da Silva. _ Cruz das Almas, BA, 2015. 91f.; il.</p> <p>Orientadora: Simone Alves Silva. Coorientadora: Vanessa de Oliveira Almeida.</p> <p>Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia, Centro de Ciências Agrárias, Ambientais e Biológicas.</p> <p>1.Mamona – Melhoramento genético. 2.Alumínio – Toxicologia. 3.Hidroponia – Análise. I.Universidade Federal do Recôncavo da Bahia, Centro de Ciências Agrárias, Ambientais e Biológicas. II.Título.</p> <p>CDD: 633.85</p>
-------	---

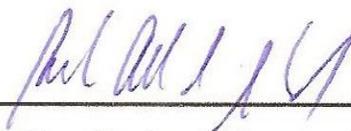
UNIVERSIDADE FEDERAL DO RECÔNCAVO DA BAHIA  
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS AMBIENTAIS E BIOLÓGICAS  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM RECURSOS GENÉTICOS VEGETAIS

COMISSÃO EXAMINADORA DA DEFESA DE DISSERTAÇÃO DO ALUNO:  
MAURICIO DOS SANTOS DA SILVA



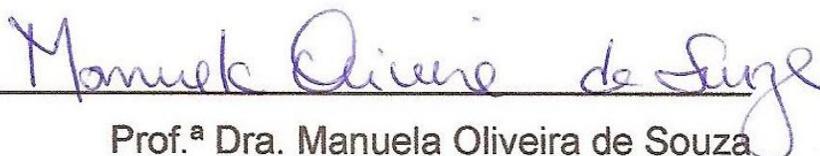
---

Prof.ª Dra. Simone Alves Silva  
Universidade Federal do Recôncavo da Bahia – UFRB  
(Orientadora)



---

Prof. Dr. Carlos Alberto da Silva Ledo  
Pesquisador Embrapa Mandioca e Fruticultura



---

Prof.ª Dra. Manuela Oliveira de Souza  
Universidade Federal do Recôncavo da Bahia – UFRB

Dissertação homologada pelo Colegiado do Curso de Mestrado em Recursos Genéticos Vegetais em ....., conferindo o Grau de Mestre em Recursos Genéticos Vegetais em.....

Primeiramente a Deus indiscutivelmente o responsável pela realização deste trabalho.

Aos meus pais Crispim Coutinho da Silva e Marlene dos Santos da Silva pelo amor incondicional e incentivo a minha vida acadêmica; Aos meus irmãos Marcio e Marivaldo e minhas irmãs Cristiene e Cristiane, os quais amo muito.

**Dedico**

A minha namorada Gilmara, pelo seu amor, amizade e paciência;  
A meu afilhado Kaique e meus sobrinhos Miguel e Rafael à inocência de uma  
criança.

**Ofereço**

“Bem-aventurado o homem que acha sabedoria, e o homem que adquire  
conhecimento.”  
**Provérbios 3:13**

## **AGRADECIMENTOS**

A Deus por me conceder o dom da vida, me ensinando a lutar sempre para que possa alcançar meus objetivos. Dando-me força, coragem, determinação e perseverança na busca dos meus ideais.

Aos meus pais Crispim e Marlene pelo carinho, paciência e exemplo de vida.

A meus irmãos Marcio e Marivaldo e minhas irmãs Cristiene e Cristiane, os quais amo muito.

Ao Programa de Pós-Graduação em Recursos Genéticos Vegetais da Universidade Federal do Recôncavo da Bahia (UFRB).

A CAPES, pela concessão da bolsa de Mestrado.

À Petrobrás Biocombustível e à Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustível (ANP), pelo financiamento do projeto.

À minha orientadora, Profa. Dra. Simone Alves Silva e Coorientadora Pós Dra. Vanessa de Oliveira Almeida, obrigado pelos ensinamentos e amizade, apoio e ensinamentos para elaboração deste e outros trabalhos.

À Professora Profa. Dra. Edna Lôbo Machado, obrigada pelos ensinamentos e pela amizade.

Aos Professores: Carlos Ledo, Ricardo Franco, Deoclides Souza.

Ao grupo NBIO, em especial: Adielle, Adriana, Ciro, Elane, Gilmara, Karine, Vlademir, Laurenice, Tati, Helison, Dyane, Vanessa, pelos momentos de descontração e aprendizagem durante os anos de convivência.

Ao grupo de apoio de campo e amigos: Antonio Leandro, André, Clailto, Francisco, Ivan, Paulo, entre outros que contribuíram de forma significativa par o sucesso deste trabalho.

Muito obrigada a todos que aqui não foram citados, mas que, de alguma forma, contribuíram para realização deste trabalho.

## SUMÁRIO

	Página
RESUMO	
ABSTRACT	
INTRODUÇÃO.....	1
CAPÍTULO 1	
DOSES DE ALUMÍNIO EM SOLUÇÃO NUTRITIVA PARA DISCRIMINAÇÃO DE LINHAGENS DE MAMONEIRA TOLERANTES E SUSCEPTÍVEIS.....	29
CAPÍTULO 2	
AVALIAÇÃO E SELEÇÃO DE LINHAGENS DE MAMONEIRA AO ALUMÍNIO TÓXICO EM SOLUÇÃO NUTRITIVA.....	55
CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	81

# **AVALIAÇÃO E SELEÇÃO DE LINHAGENS DE MAMONEIRA TOLERANTES À TOXICIDADE DO ALUMÍNIO EM SOLUÇÃO NUTRITIVA**

Autor: Mauricio dos Santos da Silva

Orientadora: Simone Alves Silva

Coorientadora: Vanessa de Oliveira Almeida

**RESUMO:** A mamoneira é uma oleaginosa com elevada importância para o Brasil e o mundo. O objetivo deste trabalho é, em sistema hidropônico, identificar a dose capaz de distinguir a tolerância ao alumínio tóxico em linhagens de mamoneira, além de avaliar e selecionar as linhagens de mamoneira quanto à tolerância a este elemento. Os experimentos foram conduzidos no Laboratório de Seleção Precoce do Núcleo de Melhoramento Genético e Biotecnologia pertencente ao Centro de Ciências Agrárias, Ambientais e Biológicas da Universidade Federal do Recôncavo da Bahia, Cruz das Almas – BA. Primeiramente foram conduzidos dois experimentos em sistema hidropônico, definindo a dose de 30 mg L<sup>-1</sup> como adequada para classificar linhagens de mamona como tolerantes e sensíveis ao alumínio tóxico. Posteriormente, esta dose foi utilizada na avaliação de 117 linhagens de mamoneira sob sistema hidropônico por meio de soluções nutritivas. Esta dose permite o agrupamento das linhagens, diferentemente pelo teste de Scott-Knott, em três a quatro grupos distintos e, pela análise multivariada euclidiana média agrupando-as em cinco grupos, identificando variabilidade genética para tolerância ao alumínio tóxico. Foram selecionadas pelo índice baseado na distância euclidiana, na intensidade de 25%, as linhagens UFRB 19, UFRB 31, UFRB 38, UFRB 47, UFRB 51, UFRB 55, UFRB 57, UFRB 121, UFRB 128, UFRB 129, UFRB 151, UFRB 152, UFRB 159, UFRB 160, UFRB 169, UFRB 170, UFRB 175, UFRB 179, UFRB 235, UFRB 249 e UFRB 250, por apresentarem as melhores características quanto à tolerância ao alumínio tóxico.

**Palavras-chave:** *Ricinus communis* L., melhoramento genético, hidroponia, divergência genética.

## EVALUATION AND CASTOR BEAN TOLERANT LINES SELECTION TO ALUMINUM TOXICITY IN NUTRIENT SOLUTION

Author: Mauricio dos Santos da Silva

Adviser: Simone Alves Silva

Co-adviser: Vanessa de Oliveira Almeida

**ABSTRACT:** The castor bean is an oil with high importance to Brazil and the world. This paper is hydroponically, identify the dose able to distinguish the aluminum tolerance in castor bean lines, and to evaluate and select those castor for tolerance to this element. The experiments were conducted in Laboratório de Seleção Precoce do Núcleo de Melhoramento Genético e Biotecnologia belonging to Centro de Ciências Agrárias, Ambientais e Biológicas da Universidade Federal do Recôncavo da Bahia, Cruz das Almas – BA. First two experiments were conducted hydroponically, setting the dose of 30 mg L<sup>-1</sup> as appropriate to classify castor lines as tolerant and sensitive to aluminum toxicity. Thereafter, this dose was used in the evaluation of 117 strains of castor bean under hydroponic system with nutrient solutions. This dose allows the grouping of lines, unlike the Scott-Knott test in three to four distinct groups and, by multivariate analysis Euclidean average grouping them into five groups, identifying genetic variability for aluminum tolerance. The index were selected based on the Euclidean distance, the intensity of 25%, the lines UFRB 19, UFRB 31, UFRB 38, UFRB 47, UFRB 51, UFRB 55, UFRB 57, UFRB 121, UFRB 128, UFRB 129, UFRB 151, UFRB 152, UFRB 159, UFRB 160, UFRB 169, UFRB 170 175-UFRB, UFRB 179, UFRB 235, UFRB 249 and UFRB 250, because it presented the best characteristics as the aluminum tolerance.

**Keywords:** *Ricinus communis* L., plant breeding, hydroponics, genetic divergence.

## 1. INTRODUÇÃO

A mamoneira é uma planta perene de comportamento herbáceo pertencente à família Euphorbiaceae, ao gênero *Ricinus* e a espécie *Ricinus communis* L., com origem mais provável da região da Etiópia, por apresentar uma alta diversidade genética da espécie nesta região (BELTRÃO e OLIVEIRA, 2011; ANJANI, 2012).

É uma cultura exigente em luminosidade, calor e considerável tolerância à seca, sendo que seus produtos e subprodutos podem ser utilizados na indústria ricinoquímica e na agricultura (SILVA et al., 2012; MESQUITA et al., 2012).

É uma planta monoica, considerada autógama, com frequente alogamia, caracterizando-se por apresentar taxas de cruzamentos superiores a 40% sendo sua polinização geralmente anemófila. Com diversas colorações de caule, folhas, racemos e frutos, podendo, ou não, possuir cera no caule e pecíolo, apresenta inflorescência, que em sua maioria, é constituída na parte superior de inflorescências femininas e na parte inferior de inflorescências masculinas, podendo ainda apresentar maior ou menor número de flores masculinas e/ou femininas e em casos especiais flores hermafroditas de acordo as situações climáticas adversas (AZEVEDO et al., 1997; BELTRÃO e OLIVEIRA, 2011).

Seus frutos apresentam-se isolados em racemos, na extremidade de cada ramo da planta, podendo ser deiscentes, indeiscentes, ou semideiscentes, são predominantemente cápsulas tricocas, na sua maioria com acúleos; variam de tamanho, formato, cor e presença de cera. As sementes apresentam-se de diversas formas e tamanhos (Figura 1), encontrando-se variações na coloração, largura, comprimento, peso, presença ou ausência de carúncula e aderência do tegumento ao endosperma (SOUZA, 2007; BRASIL, 2008).

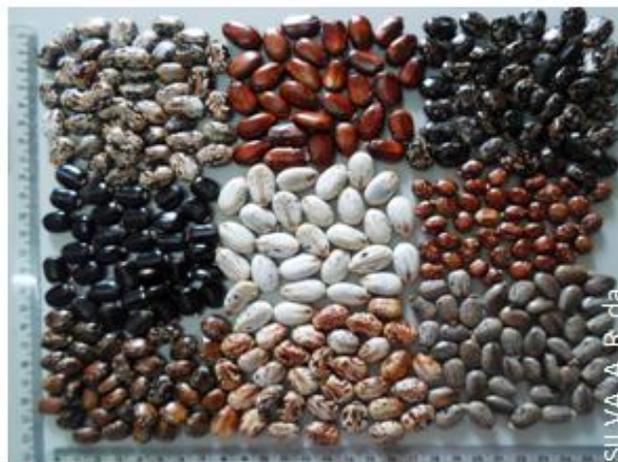


Figura 1 - Exemplo da variabilidade em cores, tamanhos e tipos de semente de mamona.  
Foto: BAG mamoneira NBIO – UFRB/ 2015

Cultivada predominantemente em três continentes na Ásia, África e América do Sul, sendo que na Ásia vem sendo plantada na Índia, China, e Tailândia; na África nos países Moçambique e Etiópia e na América do Sul no Brasil e Paraguai (KALLAMADI et al., 2015). Trazida pelos portugueses, a mamoneira chegou ao Brasil com o intuito de se utilizar o óleo extraído de seus grãos na iluminação das casas e ruas e lubrificação de eixos de carroças utilizadas como transporte da época e das engrenagens dos engenhos de cana de açúcar (SANTOS et al., 2007).

No Brasil a cultura da mamona vem sendo explorada de Norte a Sul do país, é uma espécie bastante cultivada nas mais variadas regiões do país, com maior destaque a região Nordeste, a qual detém as maiores áreas plantada (CONAB, 2015a).

Os fatores mais críticos para o desenvolvimento radicular e consequente produção da cultura da mamona são a compactação e a baixa fertilidade dos solos, além da acidez elevada e os níveis elevados de alumínio presentes nos solos agricultáveis (AMARAL e SILVA, 2006; BRAGA JÚNIOR et al., 2011). Em solos da região Nordeste do Brasil encontra-se elevada quantidade de alumínio tóxico (LOPES et al., 1991), podendo o mesmo interferir na produtividade da cultura, justificando a seleção de constituições genéticas tolerantes a este elemento tóxico à planta.

Desta forma, o objetivo deste trabalho é, em sistema hidropônico, identificar a dose capaz de distinguir a tolerância ao alumínio tóxico em linhagens de mamoneira, além de avaliar e selecionar as linhagens de mamoneira quanto à tolerância a este elemento. Para isto, este trabalho está dividido em dois capítulos: Capítulo I - Doses de alumínio em solução nutritiva para discriminação de linhagens de mamoneira tolerantes e susceptíveis e Capítulo II - Avaliação e seleção de linhagens de mamoneira ao alumínio tóxico em solução nutritiva.

## **2. REFERENCIAL TEÓRICO**

### **O AGRONEGÓCIO DA MAMONA**

A mamoneira também é conhecida como rícino, palma-christi, palma-de-cristo, carrapateira, figueira do inferno, enxerida (BELTRÃO e OLIVEIRA, 2011). É uma oleaginosa com elevada importância para o Brasil e o mundo. Cultivada em diferentes regiões do país, principalmente na zona semiárida do Brasil, onde há poucas alternativas agrícolas (EMBRAPA, 2015).

A cultura da mamoneira apresenta perspectivas para o seu cultivo, tanto para a obtenção de biodiesel, quanto para suprir um grande mercado de oleaginosas, uma vez que seu óleo possui inúmeras aplicações, havendo uma crescente demanda internacional (FALASCA et al., 2012).

Um dos principais produtos da mamona é o óleo de rícino, sendo uma importante fonte de matéria prima para a indústria química, bastante utilizado na composição de inúmeros produtos como, tintas, vernizes, cosméticos, fluidos hidráulicos e plásticos; além de ser usado para produção de biodiesel e mais de 700 itens, possuindo grande representatividade no cenário econômico e social (BELTRÃO et al., 2008; COSTA et al., 2010).

A torta de mamona, subproduto obtido após extração do óleo, pode ser utilizada na alimentação animal e em recuperação de solos esgotados. De acordo com Severino (2005) o alto teor de proteínas presente na torta de mamona torna

seu uso, depois de desintoxicada, uma alternativa importante para alimentação animal.

Desde os anos 60 a produção mundial de mamona vem crescendo a uma média de 2,4% ao ano, com destaque aos anos 2003 a 2012 que houve um aumento bem maior, com média aproximada de 5,3% ao ano. O aumento foi proporcionando pelo maior uso dos derivados da mamoneira em graxas, colas, adesivos, selantes, polióis, cosméticos etc. Porém, a produção nacional diminuiu quando comparado às produções de outros países, parte deste declínio é explicada pelos baixos investimentos em tecnologia, tanto na pesquisa quanto na extensão, pelos órgãos governamentais e privados (BAIN e COMPANY, 2014).

Os Estados Unidos, França, Alemanha e China são os principais consumidores de óleo de mamona, utilizando como matéria prima na indústria química (EMBRAPA, 2015).

A produção mundial de mamona, no ano 2013, foi em torno de 1.865.447 toneladas, sendo os principais países produtores a Índia, China, Moçambique, Etiópia, Brasil, Tailândia e Myanmar, só a Índia representou cerca de 88,6% da produção mundial, com uma produção de 1.644.000 toneladas tornando-se o maior produtor e exportador de rícino. O Brasil aparece em quinto lugar com uma produção aproximada de 12.526 toneladas (FAOSTAT, 2015). Nas últimas safras, a produção Nacional apresentou grande variação, destacando a região Nordeste que apresentou nas últimas safras maior área plantada e produção, entretanto menor produtividade (Tabela 2) (CONAB, 2015b).

**Tabela 2.** Série histórica da Área Plantada, Produtividade e Produção de mamona no Brasil.

REGIÃO/UF	Série Histórica de Área Plantada (em mil hectares)			Série Histórica de Produtividade (em Kg.ha <sup>-1</sup> )			Série Histórica de Produção (em mil toneladas)		
	2011/12	2012/13	2013/14	2011/12	2012/13	2013/14	2011/12	2012/13	2013/14
<b>CENTRO-OESTE</b>	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<b>NORDESTE</b>	<b>123,9</b>	<b>84,4</b>	<b>98,6</b>	<b>172,0</b>	<b>162,7</b>	<b>439,2</b>	<b>21,4</b>	<b>13,8</b>	<b>43,3</b>
PI	0,8	1,0	0,7	96,0	75,0	300,0	0,1	0,1	0,2
CE	33,8	12,8	11,2	79,0	140,0	284,0	2,7	1,8	3,2
RN	0,1	-	-	571,0	-	-	0,1	-	-
PE	2,7	1,4	4,9	231,0	267,0	334,0	0,6	0,4	1,6
BA	86,5	69,2	81,8	207,0	166,0	468,0	17,9	11,5	38,3
<b>NORTE</b>	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<b>SUDESTE</b>	<b>3,3</b>	<b>2,1</b>	<b>2,5</b>	<b>862,0</b>	<b>694,3</b>	<b>505,9</b>	<b>2,9</b>	<b>1,5</b>	<b>1,3</b>
MG	2,8	2,0	2,4	738,0	630,0	450,0	2,1	1,3	1,1
SP	0,5	0,1	0,1	1.554,0	1.980,0	1.848,0	0,8	0,2	0,2
<b>SUL</b>	<b>1,0</b>	<b>0,9</b>	<b>0,2</b>	-	<b>600,0</b>	<b>622,0</b>	<b>0,6</b>	<b>0,5</b>	<b>0,1</b>
PR	1,0	0,9	0,2	620,0	600,0	622,0	0,6	0,5	0,1
<b>BRASIL</b>	<b>128,2</b>	<b>87,4</b>	<b>101,3</b>	<b>193,0</b>	<b>179,9</b>	<b>441,3</b>	<b>24,9</b>	<b>15,8</b>	<b>44,7</b>

Fonte: CONAB, 2015

De acordo com o “7º Levantamento - Safra 2014/15” da Companhia Nacional de Abastecimento é esperada uma redução em torno de 10,9% da área plantada com mamona em todo Brasil, sendo que no estado da Bahia se espera uma redução em torno de 5%, maior produtor nacional. Esta redução é atribuída principalmente à escassez de chuvas e a falta de estímulo do produtor devido à situação ruim do mercado (CONAB, 2015a).

Entretanto, apesar da redução da área plantada espera-se um acréscimo na produção nacional em torno de 44,6% no estado da Bahia, devido ao uso de linhagens melhoradas, as quais apresentam maior produtividade. Na atual Safra 2014/15 a produtividade estimada é de 713 kg ha<sup>-1</sup> e a produção esperada de 55,4 mil toneladas. Se mantida as expectativas, a produção nacional deve ser em torno de 61,3 mil toneladas em uma área de 90,3 mil hectares, com uma produtividade média estimada de 679 kg ha<sup>-1</sup> (CONAB, 2015a).

A cultura da mamoneira apresenta boas perspectivas, para futuras safras, desde que se invista em melhoramento da cultura (BAIN e COMPANY, 2014).

## **ZONEAMENTO DA MAMONEIRA**

A partir do PNPB (Programa Nacional de Produção e Uso de Biodiesel), houve maior incentivo a pesquisa e a produção de biodiesel através da recomendação de algumas culturas oleaginosas tais como: amendoim, mamona, soja, canola, dendê, babaçu e o pinhão manso. Sendo que cada cultura tem sua recomendação específica a diferentes regiões do país, levando em consideração as características edafoclimática destas regiões.

Para crescer, se desenvolver e produzir de maneira satisfatória, a mamoneira necessita de um fornecimento hídrico diferenciado, a cada fase fenológica, portanto, requer um manejo compatível com a sua capacidade de retirada de água do solo (FREITAS et al., 2010).

A inclusão de um município no Zoneamento Agrícola não garante a obtenção de boas produtividades e não significa que os municípios não incluídos estejam proibidos de plantar mamona. O Zoneamento Agrícola aponta os locais onde uma espécie agrícola tem potencial para expressar seu potencial produtivo e é continuamente aperfeiçoado de forma a incluir as inovações tecnológicas, avanços científicos e novos cultivares (EMBRAPA, 2015).

Para determinar quais regiões seriam as mais favoráveis ao plantio da cultura da mamoneira, foi utilizado três critérios, a altitude entre 300 e 1.500 m sobre o nível do mar, a precipitação pluviométrica de pelo menos 500 mm e a temperatura média do ar entre 20 e 30 °C (EMBRAPA, 2015). Além de solos com textura arenosa a franco-argilosa, bem drenados e sem problemas de salinidade. De acordo com documento Embrapa (2015) foi identificado 664 municípios, distribuídos da seguinte forma: 33 no Estado de Alagoas, 170 na Bahia, 97 no Ceará, 34 no Maranhão, 78 na Paraíba, 86 em Pernambuco, 112 no Piauí, 43 no Rio Grande do Norte e 11 em Sergipe.

A altitude é considerada um dos fatores limitantes para o cultivo da mamoneira, sendo um dos critérios utilizados para a realização do seu zoneamento (FALASCA et al., 2012 ). Neste contexto, a região do Recôncavo Baiano ficaria fora da zona considerada propícia ao cultivo da mamona, por

encontrar-se abaixo de 300 m de altitude. Porém, o melhoramento genético da mamoneira, voltado à adaptação de linhagens a regiões de baixas altitudes, abaixo de 300 m, permite a inclusão sustentável de municípios onde seu cultivo não é recomendado pelo risco de obtenção de baixas produtividades.

Neste contexto, a região do Recôncavo Baiano surge como uma alternativa importante para a implantação e ampliação da área cultivável com mamona mesmo em condições de baixa altitude, pelo fato de vários trabalhos terem apresentados resultados promissores de produtividade, além do fato de que algumas características importantes da região, tais como período chuvoso em meses distintos ao da região semiárida, proximidade às fábricas para processamento dos grãos, facilitando assim as funções logísticas e diminuição de custos de produção, além de poder cultivá-la de forma consorciada com outras culturas. Desta forma, o Recôncavo tem capacidade em abastecer o mercado no período de entressafra (BAHIA, 2007; CERQUEIRA, 2008; PASSOS, 2009; LIMA, 2010; MACHADO, 2011; OLIVEIRA, 2011; SANTOS, 2013).

## **MELHORAMENTO GENÉTICO DA MAMONA NO BRASIL**

Os primeiros programas de melhoramento da mamona no Brasil tiveram início em 1936, em São Paulo, no Instituto Agrônomo de Campinas. Estes programas buscavam cultivares de porte mais elevado e com maiores produtividades. Dentre as cultivares desenvolvidas, direcionadas ao estado de São Paulo, algumas se destacaram comercialmente, sendo utilizadas até hoje, a exemplo das cultivares Guarani, IAC-80, IAC-226 e a IAC-2028 (SANTOS, 2010; EMBRAPA, 2015). Além da cultivar AL Guarany 2002 desenvolvida pelo Coordenadoria de Assistência Técnica Integral do Estado de São Paulo (CATI) (EMBRAPA, 2015).

No estado da Bahia, o melhoramento da cultura começou na década de 60 pelo instituto IPEAL, localizado em Cruz das Almas. A partir da década de 70 passou a ser conduzido pela Empresa de Pesquisa agropecuária da Bahia – EPABA, até esta ser transformada na Embrapa. A partir da década de 80 o

melhoramento da mamoneira no estado passou a ser conduzido pela Empresa Baiana de Desenvolvimento Agrícola – EBDA, com sede no município de Itaberaba, desenvolvendo várias cultivares no Brasil, como a Sipeal 1, Sipeal 2, Sipeal 3, Sipeal 4, Sipeal 5, Sipeal 6, Sipeal 7, Sipeal 9, Sipeal 13, Sipeal 19, Sipeal 25, Sipeal 28 e Epaba 2 (SAVY FILHO, 1999; FREIRE et al., 2001; MYCZKOWSKI, 2003; BELTRÃO, 2004).

A partir dos anos 90, a Embrapa conduziu os trabalhos de pesquisa e experimentação da cultura da mamona no Embrapa Algodão, localizado em Campina Grande - PB, visando selecionar germoplasmas adaptados ao semiárido do Nordeste, desenvolvendo em parceria com outras instituições, as linhagens CNPA M. SM4 e CNPA M. 90-210, lançadas como cultivares BRS 188 Paraguaçu e BRS 149 Nordestina, respectivamente e posteriormente a BRS Energia (SAVY FILHO, 1999; FREIRE et al., 2001). As quais atendem basicamente os estados das regiões Norte e Nordeste do país (MILANI et al., 2009). E em 2012 a Embrapa lança a BRS Gabriela, considerada mais produtiva que a BRS Energia.

A ESALQ-USP (Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”), a UFV (Universidade Federal de Viçosa), o IPA (Empresa Pernambucana de Pesquisa Agropecuária), a EPAMIG (Empresa de Pesquisa Agropecuária de Minas Gerais) e a antiga EPACE (Empresa de Pesquisa Agropecuária do Ceará), também trabalharam no melhoramento da mamoneira, participando diretamente das redes de competição de cultivares de portes anão, médio e alto, que culminou com o lançamento das cultivares BRS 149 Nordestina e BRS 188 Paraguaçu, as quais são indicadas para região zoneada do Nordeste e norte de Minas Gerais (BELTRÃO et al., 2004).

No ano 2005, visando obter materiais superiores de mamoneira para regiões de baixa altitude, recôncavo e litoral da Bahia, áreas consideradas fora do zoneamento da cultura e na região semiárida da Bahia, com altitude acima de 300m, o Núcleo de Melhoramento Genético e Biotecnologia (NBIO), pertencente à Universidade Federal do Recôncavo da Bahia (UFRB), localizada em Cruz das Almas, Bahia, iniciou seus trabalhos de melhoramento a partir de cruzamentos

normais e convergentes entre as cultivares Sipeal 28, BRS Nordestina, BRS Paraguaçu, Mirante 10 e EBDA MPA 17.

No decorrer do experimento com melhoramento da cultura, paralelamente o grupo NBIO produziu diversos trabalhos, inicialmente utilizando como base a introdução de cultivares (BAHIA et al., 2008; CERQUEIRA, 2008; SILVA, 2008, SAMPAIO FILHO, 2009; DIAMANTINO, 2013), processos de hibridações (PASSOS et al., 2010), condução da população segregante e autofecundações para avanços de gerações (OLIVEIRA, 2011; SANTOS, 2013), obtendo o desenvolvimento de linhagens homozigotas na geração F6 com presença de alta variabilidade genética e ganhos genéticos com a seleção, envolvendo avaliações moleculares (MACHADO, 2011; MACHADO e SILVA, 2013) e morfoagronômicas, seguido de seleção de linhagens elites (SANTOS, 2013) e a seleção de linhagens elites por microssatélites (BRASILEIRO, 2014). Além da avaliação das linhagens elites a resistência ao mofo cinzento (SOUSA, 2014) e comportamento germinativo e tolerância ao alumínio (ALMEIDA, 2014, PASSOS et al., 2015).

Assim, o programa de melhoramento da mamoneira da UFRB visa potencializar caracteres, tais como: o alto teor de óleo, o porte reduzido, aumento nos caracteres de produção (peso, número, tamanho de bagas e de grãos, além do potencial produtivo) aliada à resistência/tolerância às principais doenças, a exemplo de mofo cinzento causado pelo fungo *Amphobotrys ricini* e a tolerância a ambientes de baixa precipitação pluviométrica.

Para atender a demanda mundial na produção de óleo de mamoneira é necessário o melhoramento genético desta cultura com o intuito de se obter cultivares mais produtivas, maior teor de óleo na semente e adaptáveis a diversas regiões.

## **ACIDEZ DO SOLO**

Solos considerados ácidos são aqueles em que o pH encontra-se abaixo de sete ( LOPES et al., 1991). O valor crítico do pH no qual o  $Al^{+3}$  torna-se solúvel e tóxico no solo, depende de vários fatores, dentre eles o tipo de argila, o teor de

matéria orgânica, a concentração de outros cátions e ânions e sais totais. Altas concentrações de alumínio tóxico no solo afetam primeiramente as raízes das plantas, que podem apresentar sintomas característicos como necrose de partes das raízes, diminuição do volume radicular, levando à ineficiência de absorção de água, nutrientes e fixação da planta (CUNHA et al., 2014).

Em solos localizados em regiões que ocorram altas precipitações pluviométricas, nutrientes solúveis como magnésio, cálcio, potássio e outros elementos básicos para as plantas são lixiviados, assim como a ação dos microorganismos na mineralização da matéria orgânica do solo, acaba resultando na liberação de hidrogênio e nitrato, ocasionando a diminuição do pH, tornando o solo ácido  $\text{pH} \leq 5,5$ . Em pH ácido, o hidrogênio ( $\text{H}^+$ ) atua sobre os minerais liberando íons alumínio ( $\text{Al}^{+3}$ ) que ficam predominantemente retidos pelas cargas negativas das partículas de argila do solo, em equilíbrio com o  $\text{Al}^{+3}$  em solução (ECHART e CAVALLI-MOLINA, 2001; RAMPIM e LANA, 2013).

Assim, a toxicidade ao  $\text{Al}^{+3}$  ocorre quando o solo tem um pH abaixo de  $\leq 5,5$ , índices baixos de bases trocáveis e um baixo teor de matéria orgânica. Sob essas condições, íons tóxico de alumínio são dissolvidos na solução do solo afetando o crescimento das raízes e o melhor desempenho de suas funções (LIMA et al., 2013).

Solos muito ácidos, assim como muito alcalinos apresenta efeito negativo no crescimento e desenvolvimento das plantas. A mamoneira prefere solos com pH em torno de 5 e 6,5, produzindo em solos de pH até 8,0 (TIRITAN et al., 2010).

A mamoneira é uma planta exigente em solo com boa fertilidade, profundo e bem drenado, solos sujeitos ao acúmulo de água são poucos indicados para seu cultivo. Alguns fatores são críticos à produção da cultura da mamona, dentre os quais, a compactação do solo, o pH baixo ou níveis elevados de alumínio, a aptidão climática do local de cultivo, solos com baixa fertilidade (BRAGA JÚNIOR et al., 2011).

O sistema radicular da mamoneira é, no geral, vigoroso, do tipo pivotante, profundo, com desenvolvimento de poucas raízes laterais, porém de aspecto

robusto, assumindo forma do sistema radicular dos pequenos arbustos, tem capacidade de explorar camadas mais profundas do solo, o que outras culturas anuais, como soja, milho e feijão, normalmente não atingi, promovendo o aumento da aeração e da capacidade de retenção e distribuição da água no solo (SAVY FILHO, 1999).

Uma técnica que é bastante utilizada para correção e manutenção de solos ácidos é a calagem. Esta técnica consiste na aplicação de calcário agrícola ( $\text{CaCO}_3 + \text{MgCO}_3$ ) no solo, tendo a elevar o pH do solo a níveis alcalinos. Entretanto, se limita as camadas superficiais do solo inibindo o desenvolvimento da planta quando suas raízes atingem profundidades elevadas (SANTOS, 2012).

A calagem é uma prática cultural que possibilita minimizar o problema de acidez do solo, o que contribui para elevar o pH, principalmente na camada arável do solo, insolubilizando o alumínio e, portanto, reduzindo sua toxicidade relativa, a técnica neutraliza o  $\text{H}^+$  e  $\text{Al}^{+3}$  em solução e tenta corrigir a acidez do solo, não solucionando o problema de acidez no subsolo que, mesmo com a aplicação de condicionadores de solo como o gesso agrícola, mantém o  $\text{Al}^{+3}$  solúvel e tóxico às plantas (CAIRES et al., 2008; CAMARGO et al., 1998; SÁVIO et al., 2012).

Além disso, dada a dificuldade técnica de se realizar a calagem abaixo da camada arável, o excesso de alumínio trocável torna-se especialmente prejudicial no subsolo, reduzindo a profundidade e a ramificação do sistema radicular, tornando as plantas predispostas a outros tipos de estresse, como, por exemplo, a seca ou longos períodos de estiagem (SILVA et al., 2011).

Muitas vezes, a prática da calagem não é realizada por não estar ao alcance economicamente dos pequenos produtores (HARTWIG et al., 2007; CAIRES et al., 2008). Desta forma o uso apenas desta prática não é eficiente para corrigir os problemas de acidez do solo e promover o bom desenvolvimento da cultura.

## **TOLERÂNCIA AO ALUMÍNIO TÓXICO**

O alumínio (Al) é o terceiro elemento mais abundante na litosfera, participando com 8% na composição da crosta terrestre. Esse metal ocorre em

diferentes formas no solo, dependendo do seu pH. Em solos ácidos a forma mais abrangente é a  $[Al(H_2O)_6]^{+3}$  ( $Al^{+3}$ ), que é altamente tóxica. O  $Al^{+3}$  está presente em 40% dos solos aráveis em todo o mundo (ZHANG et al., 2007).

A tolerância ao alumínio é uma característica que confere adaptação das plantas em certos ambientes adversos, podendo representar produtividade de grão nos genótipos portadores do caráter para tolerância, quando comparados àqueles que não apresentam. A compreensão dos mecanismos que identificam o comportamento diferencial entre os genótipos para a tolerância ao alumínio tóxico facilita a exploração da variabilidade genética existente para o caráter (PASSOS, 2009).

Na planta, a ação do alumínio é diretamente na raiz, inibindo o crescimento do ápice radicular e a formação de raízes secundárias (KOCHIAN et al., 2004), o que resulta em um sistema radicular pouco desenvolvido com menor exploração dos solos agricultáveis, resultando na redução da absorção dos nutrientes pelas plantas e não aproveitamento do potencial hídrico do solo o que torna a planta mais susceptível à deficiência de água nos períodos de estiagem durante o ciclo vegetativo. 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 (BAZZO, 2012).

O alumínio é constituinte das partículas de argila do solo, ocorrendo a sua migração para a fração trocável ou para a solução em solos com pH abaixo de 5,0 (RAMPIM e LANA, 2013). Pode afetar a absorção de água e de nutrientes pelas raízes das plantas por meio da redução do comprimento radicular total (GIANNAKAULA et al., 2008; GUO et al., 2007). Camargo et al. (1998), verificaram que o alumínio causa mudanças severas e irreversíveis na parede celular, induzindo a lignificação do ápice radicular de trigo, e causando inibição do alongamento celular.

A redução da taxa de crescimento radicular de plantas sensíveis tem sido considerada o principal efeito de níveis tóxicos de alumínio, afetando o alongamento e a divisão celular. Garzón et al. (2011) consideraram que na região

meristemática das raízes principais e laterais, o  $Al^{+3}$  tem rápido acesso ao apoplasto, e exerce grande competição por componentes ligantes da membrana plasmática, de forma que o fluxo de  $Ca^{+2}$  entre as células é dificultado, e por consequência, a interrupção do processo de mitose.

Miguel et al. (2010), observaram que o alumínio, em solos ácidos, é um dos principais responsáveis pela baixa produtividade das culturas, constituindo um fator limitante ao crescimento das plantas.

O melhoramento e seleção de cultivares tolerantes à toxidez de alumínio é um dos recursos mais importantes para possibilitar aumento às produções agrícolas em solos ácidos. Com isto, a obtenção de cultivares tolerantes à toxicidade de alumínio vem despertando o interesse de muitas áreas da pesquisa, particularmente quando se pretende explorar eficientemente solos com acidez subsuperficial e elevado teor de alumínio, de difícil correção com manejo químico (SILVA et al., 2011).

Vários métodos de experimentação têm sido propostos para facilitar a identificação, em meio a um determinado pool gênico, de indivíduos superiores, com características morfológicas que conferem tolerância a níveis elevados de alumínio tóxico. O cultivo em solução nutritiva como metodologia para imposição de estresse por alumínio em milho tem possibilitado a elucidação de dúvidas no que diz respeito à interação do  $Al^{+3}$  com a planta e os mecanismos de tolerância desenvolvidos por genótipos superiores, uma vez que facilita a avaliação do sistema radicular sem o contato com o solo (GIANNAKOULA et al., 2008; GARZÓN et al., 2011).

Avaliando em sistema hidropônico Passos (2009) e Passos et al. (2015) identificaram as doses de 56 e 112 mg L<sup>-1</sup> de  $Al^{+3}$  como as mais adequadas para identificação precoce de cultivares de mamona tolerantes ao alumínio tóxico e Almeida (2014) identificou, em diferentes níveis, a tolerância de linhagens de mamona ao alumínio tóxico, utilizando a dose de 30 mg L<sup>-1</sup>. Já Lima et al. (2013) avaliando diferentes acessos de mamoneira, identificou a concentração de 0,30 mmol como ideal para diversificar acessos tolerantes ao elemento.

Segundo Ryan et al. (2011) muitas espécies desenvolveram mecanismos para melhorar a sua sobrevivência em solos ácidos. Estes mecanismos foram compreendidos e divididos naqueles capazes de excluir ou dificultar a penetração do  $Al^{+3}$  pela raiz (exclusão ou mecanismos de resistência) e aqueles que permitem a entrada do  $Al^{+3}$  nas plantas, que posteriormente ficam alojados no tecido, após a penetração no simplasto (mecanismos de tolerância).

## **MECANISMOS DE TOLERÂNCIA AO ALUMÍNIO TÓXICO**

Nos vegetais os mecanismos de tolerância ao  $Al^{+3}$  podem ser classificados em duas categorias. Os baseados no apoplasto são conhecidos como mecanismos de tolerância externos (exclusão ou sítio de detoxificação) e os mecanismos de tolerância internos, que ocorre através da imobilização no simplasto (RAMPIM e LANA, 2013).

Cada mecanismo age de forma diferenciada nas plantas. Os mecanismos de exclusão previnem que o  $Al^{+3}$  atravesse a membrana plasmática e penetre no simplasto, enquanto os mecanismos de tolerância interna, por sua vez, imobilizam e compartimentalizam ou detoxificam o  $Al^{+3}$  que penetrou no simplasto.

Desta forma, os mecanismos de tolerância interna são aqueles em que o  $Al^{+3}$  entra no simplasto e a tolerância é encontrada pela formação de quelatos no citosol, e após compartimentalização destes tóxicos no vacúolo das células da planta. O aumento na produção de ácidos orgânicos por cultivares tolerantes pode ter papel importante na redução da fitotoxidez ao  $Al^{+3}$  no citossol (MARSCHNER, 2011). Este aumento da concentração de ácidos orgânicos propicia a formação de quelatos no citossol, impedindo a fitotoxicidade devido a presença de  $Al^{+3}$  no simplasto em plantas tolerantes (RAMPIM e LANA, 2013).

Um dos principais mecanismos de tolerância envolve a ativação de transportadores de membrana que liberam ácidos orgânicos. Esses ácidos formam complexos estáveis não tóxicos com o alumínio. Um exemplo disso é o gene *AIMT1* que confere tolerância ao alumínio em trigo (*Triticum aestivum*) por meio da liberação de malato (RAMAN et al., 2005; SASAKI et al., 2004). Assim

as membranas plasmáticas das células da raiz são as primeiras barreiras fisiológicas para a entrada de metais no simplasto das células (OVEČKA e TAKÁČ, 2013).

No sorgo (*Sorghum bicolor*) foi descoberto um gene que confere tolerância ao alumínio pela liberação de citrato. Diante de altas concentrações de  $Al^{+3}$  ocorre a expressão desse gene com maior atividade no ápice radicular de genótipos tolerantes (MAGALHÃES e GUIMARÃES, 2008). Estudos mostraram que os principais ácidos orgânicos secretados pela raiz e que conferem tolerância ao  $Al^{+3}$  são o citrato, malato e o oxalato. O citrato é o quelante mais eficiente entre os três (WANG et al., 2012). A expressão genética da tolerância ao alumínio é também influenciada pela severidade do estresse e espécies de plantas diferem significativamente na tolerância ao excesso de  $Al^{+3}$  disponível em solos ácidos ou em soluções nutritivas (RAMPIM e LANA, 2013).

O primeiro gene de tolerância ao  $Al^{+3}$  isolado em plantas foi o gene TaALMT1, que codifica um transportador responsável pela exsudação de malato ativada por  $Al^{+3}$  em ápices radiculares de trigo (SASAKI et al., 2004). Posteriormente, membros da família multigênica MATE (Multidrug and Toxic Compound Extrusion Family) foram isolados em cevada o gene HvAACT1 (FURUKAWA et al., 2007) e sorgo o gene (SbMATE) (MAGALHÃES et al., 2007). Diferentemente do gene TaALMT1 em trigo, os genes da família MATE conferem tolerância ao  $Al^{+3}$  via exsudação de citrato ativada pelo  $Al^{+3}$ . O gene SbMATE confere tolerância ao  $Al^{+3}$  em sorgo via o loco AltSB, que foi mapeado no cromossomo 3 de sorgo por Magalhães et al. (2004).

É importante ressaltar que na maioria das espécies ocorrem vários mecanismos de tolerância ao  $Al^{+3}$ , sejam estes de tolerância interna e/ou externa, principalmente pelo fato de ser comprovado haver blocos gênicos envolvidos na tolerância. Com isto, é possível compreender o fato das espécies possuírem níveis de tolerância ao  $Al^{+3}$ , pois conforme se aumenta a concentração de  $Al^{+3}$  na solução no solo, reduz-se a tolerância das plantas, ou seja, conforme se aumenta a concentração de  $Al^{+3}$ , ocorre saturação dos mecanismos de tolerância, iniciando-se o processo de toxidez às plantas (RAMPIM e LANA, 2013).

## CULTIVO HIDROPÔNICO

A utilização do cultivo vegetal em solução nutritiva tem se mostrado muito usual em programas de melhoramento, por constituir um meio rápido e bastante eficiente, com a possibilidade de avaliação e seleção de um grande número de genótipos em pouco tempo (CRESTANI et al., 2009 e 2011)

A técnica do cultivo hidropônico tem sua facilidade por não utilizar solo e utilizar laboratório previamente equipado, através do uso de soluções nutritivas caracteriza-se por ser um método rápido, favorecendo maior controle das condições adversas do ambiente natural, podendo avaliar um maior número de plantas. Além de proporcionar melhor visualização e aferição das plantas em estudo, principalmente do sistema radicular (NAVA, 2005).

Plantas tolerantes podem ser identificadas por meio de testes fisiológicos, através de sistema hidropônico (SILVA et al., 2006; LANA et al., 2013), utilizando soluções nutritivas em laboratório por meio da medida do crescimento da raiz após o tratamento com  $Al^{+3}$  na solução. Esta metodologia permite a medição das raízes de modo mais preciso que o cultivo em solo, pois as estruturas sofrem menos danos físicos ao serem retiradas da solução nutritiva.

A hidroponia é um método de caracterização específica da toxicidade do alumínio, enquanto o solo apresenta outros fatores potenciais ligados à toxicidade, como os teores elevados de ferro e manganês e a deficiência de fósforo e de molibdênio. Em experimentos em campo, o pH e os teores dos elementos químicos do solo variam constantemente conforme as variações climáticas, e a toxicidade ao alumínio não é o único fator limitante. Além disso, as raízes, que são a parte mais afetada pelo alumínio, não são facilmente observadas (PORTALUPPI et al., 2010).

## REFERÊNCIAS

ALMEIDA, V. de O. **Comportamento germinativo, armazenamento de sementes e tolerância ao alumínio da mamoneira.** Tese (Doutorado). Universidade Federal do Recôncavo da Bahia – UFRB, Cruz das Almas - BA, 79 f, 2014.

AMARAL, J. A. B. e SILVA, M. T. **Zoneamento de Riscos Climáticos da Cultura da Mamona no Estado da Bahia, Referente ao Ano-Safra de 2006/2007.** Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento 69. Embrapa Algodão, Campina Grande, PB, 2006.

ANJANI, K. **Recursos Genéticos Castor:** um conjunto de genes primários para a exploração. 2012.

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), p. 52,1997.

BAHIA, H. F. **Avaliação e seleção de genótipos de mamoneira (*Ricinus communis* L.).** Dissertação (Mestrado) Universidade Federal do Recôncavo da Bahia – UFRB, Cruz das Almas - BA, 66 f, 2007.

BAHIA H. F.; SILVA, S. A.; FERNANDEZ, L. G.; LEDO, C. A. da S.; MOREIRA, R. F. C. Divergência genética entre cinco cultivares de mamoneira. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.43, n.3, p. 357-362, 2008.

BAIN e COMPANY. **Potencial de diversificação da indústria química Brasileira.** Relatório – 3. Oleoquímicos.1<sup>a</sup> ed. Rio de Janeiro, 2014.

BAZZO, B. R. **Expressão diferencial para a tolerância a estresse induzido por alumínio em *coffea arabica*.** Dissertação (Mestrado) Instituto Agrônomo de Campinas – IAC, Campinas – SP, 64 f, 2012.

BELTRÃO, N. E. M.; ARAÚJO, A. E.; AMARAL, J. A. B.; SEVERINO, L. S.; CARDOSO, G. D.; PEREIRA, J. R. **Zoneamento e época de plantio da mamoneira para o nordeste brasileiro**. Campina Grande: Embrapa Algodão, 2004.

BELTRÃO, N. E. de M.. **A Cadeia da Mamona no Brasil, com Ênfase para o Segmento P e D: Estado da Arte, Demandas de Pesquisa e Ações Necessárias para o Desenvolvimento**. Campina Grande: Embrapa – CNPA. (Embrapa – CNPA. Documentos, 129) p. 20, 2004.

BELTRÃO, N. E. de M.; VALE, L. S. do.; SILVA, O. R. R. F. da. Agricultura Tropical: Quatro Décadas de Inovações Tecnológicas, Institucionais e Políticas. V. 1, Produção e Produtividade Agrícola. In: Grãos oleaginosos. Cap. 4. Brasília: EMBRAPA Informação Tecnológica. p. 753 – 766, 2008.

BELTRÃO, N. E. de M. e OLIVEIRA, M. I. P. de. **Ecofisiologia das culturas de algodão, amendoim, gergelim, mamona, pinhão-manso e sisal**. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica, p. 322, 2011.

BRAGA JÚNIOR, ROCHA, M. do S.; BRUNO R. de L. A.; VIANA, J. S.; BELTRÃO, N. E. de M. Teste de envelhecimento acelerado em sementes de mamona cultivar BRS Energia. **Revista Eletrônica de Biologia**, Vol. 4, p. 88 – 101, 2011.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Instruções para execução dos ensaios de distinguibilidade, homogeneidade e estabilidade de cultivares de mamona (*Ricinus communis* L.)**. Publicado no Diário Oficial da União nº 147, Brasília, de 01/08/2008, seção 1, p. 14–15, 2008.

BRASILEIRO, H. S. **Seleção de linhagens elites de mamoneira por meio de marcadores microssatélites e caracteres teor de óleo e peso de sementes**

**por planta.** Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia - UFRB, Cruz das Almas – BA, 76f, 2014.

CAMARGO, C. E. O.; PEREIRA FILHO, A. W. P.; FREITAS, J. G. Avaliação de genótipos de centeio, triticale e trigo comum e trigo duro quanto à tolerância ao alumínio em solução nutritiva. **Scientia Agrícola**. v. 55, n. 2, p. 227-232, 1998.

CAIRES, E. F.; GARBUIO, F. J.; BARTH, G., CORRÊA; J. C. L. Effects of soil acidity by surface liming on no-till corn, soybean, and wheat root growth and yield. **European Journal of Agronomy**, v. 28, n. 1, p. 57-67, 2008.

CERQUEIRA, L. S. **Variabilidade genética e teor de óleo em mamoneira visando ao melhoramento para região de baixa altitude.** Dissertação (Mestrado) Universidade Federal do Recôncavo da Bahia - UFRB, Cruz das Almas - BA, 57 f, 2008.

CONAB – Companhia Nacional de Abastecimento. **Levantamento de Safra: Mamona** – Brasil. Disponível em: <[http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/15\\_04\\_10\\_09\\_22\\_05\\_boletim\\_graos\\_abril\\_2015.pdf](http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/15_04_10_09_22_05_boletim_graos_abril_2015.pdf)>. Acesso em: 06/05/2015a.

CONAB – Companhia Nacional de Abastecimento. **Série histórica: Mamona** – Brasil. Disponível em: <[http://www.conab.gov.br/conteudos.php?a=1252&t=&Pagina\\_objcmsconteudos=3#A\\_objcmsconteudos](http://www.conab.gov.br/conteudos.php?a=1252&t=&Pagina_objcmsconteudos=3#A_objcmsconteudos)>. Acesso em: 06/05/2015b.

COSTA, F. X. X.; BELTRÃO, N. M. E. de M.; SILVA, F. E. A. A.; MELO FILHO, J. S. M.; SILVA, M. A. S. da Disponibilidade de nutrientes no solo em função de doses de matéria orgânica no plantio da mamona. **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, Mossoró -RN, v. 5, n. 3, p. 204-212, 2010.

CRESTANI, M.; CARVALHO, F. I. F.; OLIVEIRA, A. C.; SILVA, J. A. G.; SOUZA, V. Q.; PARACHU, E. A. M.; SILVEIRA, G.; RIBEIRO, G.; LUCHE, H. de S. Estresse por alumínio em genótipos de aveia preta em condição hidropônica. **Bragantia**, Campinas, v.68, n.3, p. 639-649, 2009.

CRESTANI, M.; SILVA, J. A. G.; TESSMANN, E. W.; SILVEIRA, S. F. da S.; NORBERG, R; RIBEIRO, G.; CARVALHO, F. I. F.; OLIVEIRA, A. C. Protocolos para seleção quanto à tolerância ao alumínio em aveia sob cultivo hidropônico. **Revista Brasileira Agrociência**, Pelotas, v.17, n.3-4, p. 311- 320, 2011.

CUNHA, G. O. de M.; ALMEIDA, J. A.; BARBOZA, B. B. Relação entre o alumínio extraível com kcl e oxalato de amônio e a mineralogia da fração argila, em solos ácidos brasileiros. **Revista brasileira Ciência do Solo**, v. 38, p. 1387-1401, 2014.

DIAMANTINO, M. S. A. S. **Variabilidade genética, viabilidade de pólen e estresse salino em genótipos de mamoneira**. Tese (Doutorado), Universidade Federal do Recôncavo da Bahia – UFRB, Cruz das Almas - BA, 146 f, 2013.

ECHART, C. L. e CAVALLI-MOLINA, S. Fitotoxicidade do alumínio: efeitos, mecanismo de tolerância e seu controle genético. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.31, n.3, p.531-541, 2001.

EMBRAPA, 2015. **Mamona**. Disponível em: <<http://www.cnpa.embrapa.br/produtos/mamona/index.html/>> Acesso em: 01/05/15.

FALASCA, S. L.; ULBERICH, A. C.; ULBERICH, E. Developing an agro-climatic zoning model to determine potential production areas for castor bean (*Ricinus communis* L.). **Industrial Crops and Products**, Amsterdam, v. 40, n. 1, p. 185 – 191, 2012.

FAOSTAT. **Alimentos e Agricultura Organização das Nações Unidas Divisão de Estatísticas: Produção.** Disponível em: <[http://faostat3.fao.org/download/Q\\*/E](http://faostat3.fao.org/download/Q*/E)> Acesso: 06/05/2015.

FREIRE, E. C.; LIMA, E. F.; ANDRADE, F. P. de. Melhoramento genético. **In:** AZEVÊDO, D. M. P. de.; LIMA, E. F. (Ed.). O agronegócio da mamona no Brasil. Brasília: Embrapa-Algodão, 2001.

FREITAS, J. G.; ALBUQUERQUE F. A. de; NÓBREGA, M. B. M. da; MILANI, M. Análise do cultivo da mamoneira na microrregião de Irecê – BA. **In:** Congresso brasileiro de mamona, 4.; Simpósio internacional de oleaginosas energéticas, 1., 2010, João Pessoa. Inclusão social e energia: anais... Campina Grande: Embrapa Algodão, 2010.

FURUKAWA, J.; YAMAJI, N.; WANG, H.; MITANI, N.; MURATA, Y.; SATO, K.; KATSUHARA, M.; TAKEDA, K.; MA, F. J. An aluminum-activated citrate transporter in barley. **Plant and Cell Physiology**, Tokyo, v. 48, p. 1081-1091, 2007.

GARZÓN, T.; GUNSÉ, B.; MORENO, A.R.; TOMOS, A.D.; BARCELÓ, J.; POSCHENRIEDER, C. Aluminium-induced alteration of ion homeostasis in root tip vacuoles of two maize varieties differing in Al tolerance. **Plant Science**, v.180, p. 709 – 715, 2011.

GIANNAKOULA, A.; MOUSTAKAS, M; MYLONA, P.; PAPADAKIS, I.; YUPSANIS, T. Aluminum tolerance in maize is correlated with increased levels of mineral nutrients, carbohydrates and proline, and decreased levels of lipid peroxidation and al accumulation. **Jornal of Plant Physiology**, v.165, n.4, p. 385 - 396, 2008.

GUO, T.R., ZHANG, G.P., ZHOU, M. X., WU, F.B., CHEN, J.X. Influence of aluminum and cadmium stresses on mineral nutrition and root exudates in two barley cultivars. **Pedosphere**, v. 17, n. 4, p. 505 - 512, 2007.

HARTWIG, I.; OLIVEIRA, A. C.; CARVALHO, F. I. F.; BERTAN, I.; SILVA, J. A. G.; SCHMIDT, D. A. M.; VALÉRIO, I. P.; MAIA, L. C.; FONSECA, D. A. R.; REIS, C. E. S. Mecanismos associados à tolerância ao alumínio em plantas. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v. 28, n. 2, p. 219-228, 2007.

KALLAMADI, P. R.; NADIGATLA, VPR G. R.; MULPURI, S. Molecular diversity in castor (*Ricinus communis* L.). **Industrial Crops and Products**, v. 66, p. 271-281, 2015.

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**, v. 55, p. 459-493, 2004.

LANA, M. do C.; STEINER, F.; ZOZ, T.; FEY, R.; FRANDOLOSO, J. F. Tolerance of physic nut plants to aluminum activity in nutrient solution. **Bioscience Journal**, v. 29, n. 3, p. 582 - 589, 2013.

LIMA, J. F. **Avaliação de cultivares de mamoneira no Recôncavo Sul Baiano**. Tese (Doutorado em Ciências Agrárias) – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia - UFRB, Cruz das Almas - BA, 108 f, 2010.

LIMA, F. de; COLOMBO, C. A.; KIIHL, T. A. M.; LAAT, D. M. de Resposta de acessos de mamoneira (*Ricinus communis* L.) ao estresse induzido por alumínio. **In.: VII Congresso Interinstitucional de Iniciação Científica – CIIC 2013**. Campinas, São Paulo, 2013.

LOPES, A. S.; SILVA, M. de C.; GUILHERME, L. R. G. Acidez do solo e calagem. **ANDA - Associação Nacional para Difusão de Adubos**. Boletim técnico n° 1, São Paulo, v.3, p.1-22, 1991.

MACHADO, E. L. **Genotipagem, Teor de Óleo, Otimização do Método Gravimétrico e Desenvolvimento de Marcadores Microsatélite em (*Ricinus***

**communis L.**) Tese (Doutorado em Ciências Agrárias). Universidade Federal do Recôncavo da Bahia -UFRB. Cruz das Almas – BA, 118 f, 2011.

MACHADO, E. L. e SILVA, S. A. Desenho e validação de iniciadores microssatélites SSR para mamoneira. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 28, p. 1457 - 1463, 2013.

MAGALHÃES, J. V.; GARVIN, D. F.; WANG, Y.; SORRELLS, M. E.; KLEIN, P. E.; SCHAFFERT, R. E.; KOCHIAN, L. V. Comparative mapping of a major aluminum tolerance gene in sorghum and other species in the poaceae. **Genetics**, Austin, v. 167, p. 1905 - 1914, 2004.

MAGALHÃES, J. V. de; LIU, J.; GUIMARAES, C. T.; LANA, U. G. de P.; ALVES, V. M. C.; WANG, Y-H.; SCHAFFERT, R. E.; HOEKENGA, O. A.; PINEROS, M. A.; SHAFF, J. E.; KLEIN, P. E.; CARNEIRO, N. P.; COELHO, C. M.; TRICK, H. N.; KOCHIAN, L. V. A gene in the multidrug and toxic compound extrusion (MATE) family confers aluminum tolerance in sorghum. **Nature Genetics**, New York, v. 39, n. 9, p. 1156 - 1161, 2007.

MAGALHÃES, J. V. e GUIMARÃES, C. T. **Tolerância ao alumínio em sorgo**. Sete Lagoas: EMBRAPA Milho e Sorgo, p. 4, 2008.

MARSCHNER, P. Marschner's mineral nutrition of higher plants. 3th ed. **Adelaide, Australia: School of Agriculture**, Food and Wine, p. 649, 2011.

MESQUITA, E. F.; CHAVES, L. H. G.; GUERRA, H. O. C.; LACERDA, R. D. Crescimento e produção de duas cultivares de mamoneira sob fertilização NPK. **Revista Caatinga**, Mossoró, v. 25, n. 2, p. 35-43, 2012.

MIGUEL, P. S. B.; GOMES, M. F. T.; ROCHA, W. S. D. da; MARTINS, C. E.; CARVALHO, C. A. de; OLIVEIRA, A. V. de. Efeitos tóxicos do alumínio no crescimento das plantas mecanismos de tolerância, sintomas, efeitos fisiológicos,

bioquímicos e controles genéticos. **Centro de Ensino Superior - CES Revista**, Juiz de Fora, v. 24, p. 11 – 30, 2010.

MILANI, M.; NÓBREGA, M. B. M.; ANDRADE, F. P. **Andamento e perspectivas do programa de melhoramento de mamona da Embrapa**. Centro Nacional de Pesquisa de Algodão, Documentos 226, Campina Grande - PB, p. 26, 2009.

MYCZKOWSKI, M. L. **Variabilidade genética para o teor de óleo entre progênes autofecundadas de mamona (*Ricinus communis* L.) da cultivar Guarani**. Dissertação (Mestrado), Universidade Estadual Paulista - UNESP Botucatu - SP, 38 f, 2003.

NAVA, I. C. **Estratégias de avaliação e herança da tolerância ao alumínio em linhagens recombinantes de aveia (*Avena sativa* L.)**. Dissertação (Mestrado), Universidade Federal do Rio Grande do Sul – UFRGS, Faculdade de Agronomia, Porto Alegre -RS, 102 f, 2005.

OLIVEIRA, R. S. de **Avaliação de população segregante (F3) de mamoneira em condições do Recôncavo Baiano**. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal do Recôncavo da Bahia, UFRB, Cruz das Almas, 40 f, 2011.

OVEČKA, M e TAKÁC, T. Managing heavy metal toxicity stress in plants: Biological and biotechnological tools. **Biotechnology Advances**, v. 32, p. 73 - 86. 2013.

PASSOS, A. R. **Estudo genético e agrônômico da mamoneira em baixas altitudes do Recôncavo Baiano**. Tese (Doutorado) - Universidade Federal do Recôncavo da Bahia - UFRB, Cruz das Almas - BA, 109 f, 2009.

PASSOS, A. R.; SILVA, S. A.; SOUZA, C. da S.; SOUZA, C. M. M.; FERNANDES, L. dos S. Parâmetros genéticos de caracteres agrônômicos em genótipos de mamoneira. **Pesquisa agropecuária brasileira**, v.45, n.7, p.709-714, 2010.

PASSOS; A. R.; SILVA; S. A.; HARTWIG; I.; HAWERROTH; M. C.; SANTOS; K. S.; SOUZA; C. M. M. Avaliação de cultivares de mamoneira para tolerância ao alumínio tóxico e insensibilidade ao ácido giberélico. **Magistra**, Cruz das Almas, V. 27, N.1, p. 73-81, 2015.

PORTALUPPI, R.; BRAMMER, S. P.; MAGALHÃES, J. V.; COSTA, C. T.; CAIERÃO, E.; NASCIMENTO JUNIOR, A.; SILVA JUNIOR, J. P. Tolerância de genótipos de cereais de inverno ao alumínio em cultivo hidropônico e em campo. **Pesquisa agropecuária brasileira**, Brasília, v.45, n. 1, p. 178-185, 2010.

RAMAN, H.; ZHANG, K. ; CAKIR, M.; APPELS, R.; GARVIN, D. F.; MARON, L.; KOCHIAN, L. V.; MORONI, J. S.; RAMAN, R.; IMTIAZ, M.; DRAKE-BROCKMAN, F.; WATERS, I.; MARTIN, P.; SASAKI, T.; YAMAMOTO, Y.; MATSUMOTO, H.; HEBB, D. M.; DELHAIZE, E.; RYAN, P. R. Molecular characterization and mapping of ALMT1, the aluminium tolerance gene of bread wheat (*Triticum aestivum* L.). **Genome**, Ottawa, v. 48, n. 5, p. 781-791, 2005.

RAMPIM, L. e LANA, M. do C. Mecanismo de tolerância interna das plantas ao alumínio. **Colloquium Agrariae**, v. 9, n. 2, 2013.

ROUT, G.R.; SAMANTARAY, S.; DAS, P. Aluminum toxicity in plants: **a review**. **Agronomie**, v. 21, p. 3-21, 2001.

RYAN, P. R.; TYERMAN, S. D.; SASAKI, T. ; FURUICHI, T.; YAMAMOTO, Y.; ZHANG, W. H.; DELHAIZE, E. The identification of aluminium-resistance genes provides opportunities for enhancing crop production on acid soils. **Journal of Experimental Botany**, v.62, n.1, p. 9-20, 2011.

SAMPAIO FILHO, O. M. **Análise descritiva, agrupamento e análise de trilha de cultivares de mamoneira em dois anos de cultivo em Cruz das Almas – BA**. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia - UFRB, Cruz das Almas - BA, 73 f, 2009.

SANTOS, F. DOS S.; KOURI, J.; BARROS, M. A. L. B.; MARQUES, F. M. M.; FIRMINO, P. DE T.; REQUIÃO, L. E. G. Aspectos Econômicos do Agronegócio da mamoneira. In: AZEVEDO, D.M.P.; BELTRÃO, N. E. M. (Ed.). **O Agronegócio da Mamona no Brasil**. Embrapa Algodão (Campina Grande – PR). 2.ed. rev. e.ampl. – Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica, p. 22-41, 2007.

SANTOS, H. O. **Conservação de sementes de mamona (*Ricinus communis* L.)** Dissertação (mestrado) – Universidade Federal de Lavras - UFLA, Lavras - MG, 85 f, 2010.

SANTOS, K. S. **Avaliação do crescimento de cultivares de mamoneira (*Ricinus communis* L.) submetida a diferentes concentrações de alumínio /** Monografia (Graduação) – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia. Cruz das Almas - BA, 62 f. 2012.

SANTOS, L. A. **Caracterização e seleção de linhagens elites de mamoneira (*Ricinus communis* L.) por meio do desempenho morfoagronômico e molecular no Estado da Bahia**. Tese (Doutorado) - Universidade Federal do Recôncavo da Bahia - UFRB, Cruz das Almas – BA, 85 f, 2013.

SASAKI, T.; YAMAMOTO, Y.; EZAKI, B.; KATSUHARA, M.; AHN, S. J.; RYAN, P. R.; DELHAIZE, E.; MATSUMOTO, H. A wheat gene encoding an aluminum-activated malate transporter. **Plant Journal**, Oxford, v. 37, n. 5, p. 645-653, 2004.

SÁVIO, F. L., TEIXEIRA, G. C. D. S., TEIXEIRA, I. R., MOTA, J. H., SILVA, A. G. D. Calagem e gessagem na nutrição e produção de soja em solo com pastagem degradada. **Revista Agrotecnologia**, v.2, n.1, p. 19-31, 2012.

SAVY FILHO, A. Hibridação em mamoneira. In: Hibridação artificial de plantas. Borém, A. (Edt); Editora UFV, 1999.

SAVY FILHO, A. Melhoramento da Mamona. In: Borém, Aluizio. (Org.). Melhoramento de Espécies Cultivadas. Viçosa, MG: Universidade Federal de Viçosa, 1999.

SEVERINO, L. S. **O que sabemos sobre a torta de mamona**. Campina Grande: Embrapa Algodão, Documento 134, p. 31, 2005.

SILVA, D. F.; TRINDADE, R. C. P.; OLIVEIRA, M. W.; FERRO, J. H. DE A.; CALHEIROS, A. S. Crescimento vegetativo e produtividade de mamoneira em função da variedade e da adubação fosfatada. **Revista Caatinga**, Mossoró, v. 25, n. 1, p. 160-167, 2012.

SILVA, G. O.; CARVALHO, F. I. F.; OLIVEIRA, A. C.; SILVA, J. A. G.; BENIN, G.; VIEIRA, E. A.; BERTAN, I.; HARTWIG, I.; FINATTO, T. Parâmetros de avaliação da tolerância ao alumínio tóxico em diferentes cultivares de aveia (*Avena sativa* L.). **Revista Brasileira de Agrociência**, Pelotas, v.12, n.4, p. 401-404, 2006.

SILVA, L. M.; COSTA, N. V.; CRUSCIOL, C. A. C.; VIEGAS, P. R. A. Sistema radicular de cultivares de arroz submetidas ao alumínio em solução nutritiva. **Revista Agrarian**. Dourados, v.4, n.13, p. 202-212, 2011.

SILVA, V. **Características fisiológicas de cultivares de mamoneira (*Ricinus communis* L.) no Recôncavo baiano**. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia - UFRB, Cruz das Almas – BA, 73 f, 2008.

SOUSA, F. Q. **Prospecção fenotípica de linhagens elites de mamoneira resistentes ao mofo cinzento (*Amphobotrys ricini* (N.F. Buchw.) Hennebert)**. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia - UFRB, Cruz das Almas – BA, 80 f, 2014.

SOUZA, L. A. de **Teste de condutividade elétrica para avaliação da qualidade de sementes de mamona**. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Lavras - UFLA, Lavras – MG, 53 f, 2007.

TIRITAN, C. S.; CALONEGO, J. C.; SANTOS, D. H. Efeito da calagem e adubação potássica no crescimento e nutrição da cultura da mamona (*Ricinus communis* L.). **Colloquium Agrariae**, v. 6, n.2, p. 27-32, 2010.

WANG, Q.; YI, Q.; HU, Q.; ZHAO, Y.; NIAN, H.; LI, K.; YU, Y.; IZUI, K.; CHEN, L. Simultaneous overexpression of citrate synthase and phosphoenolpyruvate carboxylase in leaves augments citrate exclusion and Al resistance in transgenic tobacco. **Plant Molecular Biology Reporter**, Athens, v. 30, n. 4, p. 992-1005, 2012.

ZHANG, X. B.; LIU, P.; YANG, Y.S.; XU, G. D. Effect of Al in soil on photosynthesis and related morphological and physiological characteristics of two soybean genotypes. **Botanical Studies**, Minneapolis, v. 48, n. 4, p. 435-444, 2007.

## **CAPÍTULO I**

### **DOSES DE ALUMÍNIO EM SOLUÇÃO NUTRITIVA PARA DISCRIMINAÇÃO DE LINHAGENS DE MAMONEIRA TOLERANTES E SUSCEPTÍVEIS<sup>1</sup>**

---

<sup>1</sup> Artigo submetido ao comitê editorial da Revista Bragantia

## DOSES DE ALUMÍNIO EM SOLUÇÃO NUTRITIVA PARA DISCRIMINAÇÃO DE LINHAGENS DE MAMONEIRA TOLERANTES E SUSCEPTÍVEIS

Autor: Mauricio dos Santos da Silva

Orientador: Simone Alves Silva

Coorientador: Vanessa de Oliveira Almeida

**Resumo:** Elevadas concentrações de alumínio tóxico no solo, afeta primeiramente as raízes das plantas, sendo um dos principais metais que vem causando diminuição na produção da cultura da mamoneira. Nesse sentido, linhagens de mamoneira, em sistema hidropônico, foram submetidas a diferentes doses de alumínio tóxico ( $Al^{+3}$ ), com o objetivo de identificar a dose mais adequada para classificá-las em tolerantes e sensíveis a este elemento. Os experimentos foram realizados no Laboratório de Seleção Precoce do Núcleo de Melhoramento Genético e Biotecnologia (NBIO) pertencente ao Centro de Ciências Agrárias, Ambientais e Biológicas da Universidade Federal do Recôncavo da Bahia, Cruz das Almas – BA. Foram realizados dois experimentos, o primeiro avaliou-se o comportamento de três linhagens (UFRB 26, UFRB 90 e UFRB 119) submetidas às doses (0, 15, 30, 60, 90, 120 e 150  $mg L^{-1}$  de  $Al^{+3}$ ). No segundo experimento foi observado o comportamento das linhagens (UFRB 5, UFRB 6, UFRB 13 e UFRB 15) mediante as doses de 0, 15, 30  $mg L^{-1}$  de  $Al^{+3}$ ; ambos em em delineamento inteiramente casualizado, com três repetições. A dose de 30  $mg L^{-1}$  de  $Al^{+3}$ , em solução nutritiva, é a mais adequada na diferenciação de linhagens de mamoneira em sensíveis e tolerantes ao alumínio tóxico. O caráter comprimento da raiz principal o mais importante para classificar linhagens de mamona quanto à tolerância ao alumínio tóxico. Entre as linhagens avaliadas a UFRB 13 pode ser considerada a mais tolerante ao alumínio tóxico em solução nutritiva.

**Palavras-chave:** *Ricinus communis* L., alumínio tóxico, toxidez, hidroponia.

## **ALUMINUM DOSES IN NUTRIENT SOLUTION FOR CASTOR BEAN LINES OF DISCRIMINATION TOLERANT AND SUSCEPTIBLE**

Author: Mauricio dos Santos da Silva

Adviser: Simone Alves Silva

Co-adviser: Vanessa de Oliveira Almeida

**Abstract:** High toxic concentrations of aluminum in the soil primarily affect plant roots, one major metal that is causing decreased production of culture castor. In this sense, castor bean lines, hydroponically were exposed to different doses of toxic aluminum ( $\text{Al}^{3+}$ ), in order to identify the most appropriate dose to classify them into tolerant and sensitive to this element. The experiments were performed on Laboratório de Seleção Precoce do Núcleo de Melhoramento Genético e Biotecnologia (NBIO) belonging to Centro de Ciências Agrárias, Ambientais e Biológicas da Universidade Federal do Recôncavo da Bahia, Cruz das Almas – BA. Two experiments were conducted, the first evaluated the three strains of behavior (UFRB 26, UFRB 90 and UFRB 119) subjected to the doses (0, 15, 30, 60, 90, 120 and 150  $\text{mg L}^{-1}$  of  $\text{Al}^{3+}$ ). In the second experiment we observed the behavior of the strains (UFRB 5, UFRB 6, UFRB 13 and UFRB 15) by the doses of 0, 15, 30  $\text{mg L}^{-1}$  of  $\text{Al}^{3+}$ , both in a completely randomized design with three replications. The dose of 30  $\text{mg L}^{-1}$  the  $\text{Al}^{3+}$ , the nutrient solution is more suitable differentiation castor lines in sensitive and tolerant to aluminum toxicity. The length of the main root character the most important to sort castor lines for tolerance to aluminum toxicity. Among the lines evaluated UFRB 13 can be considered the most tolerant to aluminum toxicity in nutrient solution.

**Keywords:** *Ricinus communis* L., toxic aluminum, toxicity, hydroponics.

## INTRODUÇÃO

A mamoneira pertence à família Euphorbiaceae, é uma planta de hábito arbustivo, com diversas colorações de caule, folhas e racemos, podendo apresentar cera no caule e no pecíolo. Os frutos em geral apresentam espinhos, as sementes apresentam diversos tamanhos, formatos e grande variabilidade de colorações. O principal produto obtido pela industrialização das sementes de mamona é o óleo de rícino, que pela sua versatilidade industrial é a base para obtenção de uma diversificada linha de produtos (AGUIAR et al., 2014).

O óleo de rícino tem coloração incolor a amarelo-dourado, espesso, oleoso, inodoro e insolúvel em água, mas solúvel em solventes orgânicos (EMBRAPA, 2015). Ganhou maior destaque por ser utilizado também, como meio produtivo para a obtenção de biodiesel, que é um combustível renovável (JORDAN et al., 2012).

A mamoneira é uma planta exigente em solo com boa fertilidade, profundo e bem drenado, solos sujeitos ao acúmulo de água são poucos indicados para seu cultivo. Alguns fatores são críticos à produção da cultura da mamona, dentre os quais, a compactação do solo, o pH baixo ou níveis elevados de alumínio, a aptidão climática do local de cultivo, solos com baixa fertilidade (BRAGA JÚNIOR et al., 2011).

O sistema radicular da mamoneira é, no geral, vigoroso, do tipo pivotante, profundo, com desenvolvimento de poucas raízes laterais, porém de aspecto robusto, assumindo forma do sistema radicular dos pequenos arbustos, tem capacidade de explorar camadas mais profundas do solo, o que outras culturas anuais, como soja, milho e feijão, normalmente não atingi, promovendo o aumento da aeração e da capacidade de retenção e distribuição da água no solo (SAVY FILHO, 1999).

Os fatores mais críticos para o desenvolvimento radicular e consequente produção da cultura da mamona são a compactação e a baixa fertilidade dos solos, além da acidez elevada e os níveis elevados de alumínio presentes nos solos agricultáveis (AMARAL e SILVA, 2006; BRAGA JÚNIOR et al., 2011). Em

solos da região Nordeste do Brasil encontra-se elevada quantidade de alumínio tóxico (LOPES et al., 1991), podendo o mesmo interferir na produtividade da cultura, justificando a seleção de constituições genéticas tolerantes a este elemento tóxico à planta.

Neste sentido, a avaliação de diferentes constituições genéticas de mamoneira para o caráter toxidez ao  $Al^{+3}$ , com o emprego de solução nutritiva em cultivo hidropônico, permite imediata observação dos efeitos pela inibição do crescimento da raiz, evitando os inconvenientes do uso de solo, onde a intensidade de seleção não pode ser quantitativamente controlada (CAMARGO e OLIVEIRA, 1981; ANIOL, 1990; MINELLA e SORRELS, 1992; CAMARGO et al., 1992; RIEDE e ANDERSON, 1996 ; BERTAN et al., 2005).

Alguns trabalhos tem buscado identificar a dose adequada de alumínio tóxico capaz de distinguir as plantas quanto à tolerância ao alumínio tóxico: Crestani et al. (2009) concluíram que as doses de 10 e 20 mg  $L^{-1}$  de  $Al^{+3}$  em solução nutritiva são eficientes na identificação de plantas de aveia preta; Macedo et al. (2011), em plantas de pinhão-manso encontraram a dose de 3 mg  $L^{-1}$  como a mais prejudicial ao crescimento da planta; Silveira et al. (2013) encontraram a dose de 6 mg  $L^{-1}$  como a mais adequada na diferenciação de plantas de aveia branca; trabalhos preliminares de Lima et al. (2013) com acessos de mamona, concluíram que na dose 0,30 mmol, o acesso mais tolerante ao estresse induzido por alumínio foi o IAC Guarani e o mais sensível foi o acesso Paraguaçu da Embrapa. Já Passos et al. (2015) avaliando cultivares de mamoneira concluíram que as doses 56 e 112 mg  $L^{-1}$  de  $Al^{+3}$  foram as mais adequadas, dentre as demais, para identificação precoce de genótipos tolerantes ao  $Al^{+3}$ , porém estas doses foram tóxicas as linhagens avaliadas de mamona, necessitando novos ajustes.

Assim, o objetivo deste trabalho é selecionar, em solução nutritiva, a dose adequada para discriminar linhagens de mamoneira tolerantes e sensíveis ao alumínio tóxico.

## MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi realizado no Laboratório de Seleção Precoce do Núcleo de Melhoramento Genético e Biotecnologia (NBIO) pertencente ao Centro de Ciências Agrárias, Ambientais e Biológicas da Universidade Federal do Recôncavo da Bahia (UFRB), Cruz das Almas - BA, de agosto a dezembro de 2013.

Para a condução do experimento foi utilizada a técnica descrita por Camargo e Oliveira (1981) e adaptado por Passos (2009) para mamoneira. A carúncula das sementes foi retirada para evitar a contaminação do experimento por fungos e em seguida as sementes foram lavadas com água destilada e desinfestadas em solução de hipoclorito de sódio a 20% (produto comercial) por 10 minutos e lavadas com água destilada, para retirar o excesso do produto.

Em seguida, um número maior de sementes das linhagens de mamoneira utilizadas no experimento (UFRB 26, UFRB 90 e UFRB 119) foi semeado em bandejas plásticas (polipropileno), com dimensões externas de 63 x 290 x 370 mm, contendo como substrato areia lavada autoclavada (200 °C por duas horas), sendo estas sementes umedecidas com água destilada e colocadas para germinar em câmara BOD, à temperatura de 25 °C com iluminação permanente, onde permaneceu até apresentar aproximadamente 2-3 cm de raiz.

A utilização de um maior número de sementes por linhagem permite uma melhor padronização na germinação das sementes, a fim de obter plântulas com o mesmo estágio de crescimento radicular, de modo que suas raízes tenham aproximadamente o mesmo comprimento.

Do total de plântulas germinadas, foram utilizadas 168 plântulas por linhagem, que apresentaram crescimento padronizado e submetidas à avaliação com sete dosagens de alumínio ( $Al^{+3}$ ): 0; 15; 30; 60; 90; 120 e 150 mg L<sup>-1</sup>. O delineamento foi inteiramente casualizado com três repetições, sendo a unidade experimental constituída de oito plântulas, distribuídas em esquema fatorial 3 x 7 (linhagem x dose).

As plântulas foram posteriormente transferidas para uma tela adaptada à tampa de um recipiente com capacidade de 4 litros contendo solução nutritiva completa, constituída por: (Ca (NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub> 4 mM; MgSO<sub>4</sub> 2 mM; KNO<sub>3</sub> 4 mM; (NH<sub>4</sub>)<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 0,435 mM; KH<sub>2</sub> PO<sub>4</sub> 0,5 mM; MnSO<sub>4</sub> 2 µM; CuSO<sub>4</sub> 0,3 µM; ZnSO<sub>4</sub> 0,8 µM; NaCl 30 µM; Na<sub>2</sub>MoO<sub>4</sub> 0,1 µM; H<sub>3</sub>BO<sub>3</sub> 10 µM; Fe-EDTA 10 µM.) em pH 3,7 - 4,0, de modo que as raízes fiquem em contato permanente com a solução. Estes recipientes foram colocados em tanque banho-maria em água a temperatura de 25+/-1 °C com iluminação permanente e sistema de aeração, em cada recipiente, para dotação de oxigênio necessário ao desenvolvimento do sistema radicular, por um período de 48 horas.

Após a permanência na solução nutritiva completa por 72 horas, as telas com as plântulas foram transferidas para recipientes com solução tratamento: 10% da solução nutritiva completa, omitindo o fósforo para evitar possível precipitação do Al<sup>+3</sup> e incluindo às soluções o Fe, associada às doses de 0; 15; 30; 60; 90; 120 e 150 mg L<sup>-1</sup> de Al<sup>+3</sup>, utilizando como fonte o Al<sub>2</sub>(SO<sub>4</sub>)<sub>3</sub>.18H<sub>2</sub>O, onde permaneceram por 48 horas. Depois de completado este período as plântulas foram transferidas para uma nova solução nutritiva completa, por mais 72 horas.

Durante todos os procedimentos o pH da solução foi ajustado diariamente 3,7 a 4,3, utilizando NaOH ou HCl 0,5 mol/L, com pHgâmetro.

Para observação da toxicidade ao Al<sup>+3</sup> foram avaliados os seguintes caracteres: comprimento do hipocótilo (CH), comprimento da raiz principal (CRP), comprimento da raiz secundaria (CRS), recrescimento da raiz principal (RCRP) e recrescimento das raízes secundárias (RCRS) aferidos com uma régua graduada; diâmetro do hipocótilo (DH); diâmetro da raiz principal (DRP) aferidos com paquímetro digital, em miligramas; matéria seca de raiz e massa seca da parte aérea, após secagem do material vegetal em estufa a 60 °C até atingir massa constante. As medições para a retomada do crescimento da raiz principal (RCRP) foi realizada a partir da diferença entre as medições no final do experimento e a medição ao retirar as plântulas da solução tratamento com Al<sup>+3</sup> e as demais aferições foram realizadas no final do experimento.

Os dados obtidos dos caracteres recrescimento da raiz principal (RCRP) e recrescimento das raízes secundárias (RCRS) foram transformados (valor mínimo + média), a fim de corrigir as médias negativas e depois os dados obtidos foram submetidos ao teste F da análise de variância. As regressões das médias entre as linhagens e doses foram comparadas pelo teste de Tukey a 5% de significância. As análises foram realizadas com o auxílio do programa estatístico SISVAR (FERREIRA, 2011).

## **Experimento 2**

Este experimento apresentou a mesma metodologia adotada no experimento 1, diferindo das linhagens, visto que as utilizadas no experimento anterior não apresentaram diferenças estatísticas entre elas. Assim, um número maior de sementes das linhagens UFRB 5, UFRB 6, UFRB 13 e UFRB 15, foi semeado em bandejas plásticas (polipropileno), com dimensões externas de 63 x 290 x 370 mm, contendo como substrato areia lavada e autoclavada (200 °C por duas horas), sendo estas sementes umedecidas com água destilada e colocadas para germinar em câmara BOD, à temperatura de 25 °C com iluminação permanente, onde permaneceu até apresentar aproximadamente 2-3 cm de raiz.

Do total de plântulas germinadas, foram utilizadas 72 plântulas por linhagem, que apresentaram crescimento padronizado e submetidas à avaliação com três dosagens de alumínio ( $Al^{+3}$ ): 0; 15 e 30 mg L<sup>-1</sup>. O delineamento foi inteiramente casualizado com três repetições, sendo a unidade experimental constituída de oito plântulas, distribuídas em esquema fatorial 4 x 3 (linhagem x dose).

Aos oito dias de estabelecimento do experimento, foi realizada a avaliação das plântulas pela mensuração, em centímetros, comprimento do hipocótilo (CH), comprimento da raiz principal (CRP), comprimento da raiz secundária (CRS), recrescimento da raiz principal (RCRP), recrescimento das raízes secundárias (RCRS) e em milímetro o diâmetro da raiz principal (DRP) e o diâmetro do hipocótilo (DH).

Os dados obtidos dos caracteres recrescimento da raiz principal (RCRP) e recrescimento das raízes secundárias (RCRS) foram transformados (valor mínimo + média), a fim de corrigir as médias negativas e depois os dados obtidos foram submetidos ao teste F da análise de variância. As regressões das médias entre as linhagens e doses foram comparadas pelo teste de Tukey a 5% de significância. As análises foram realizadas com o auxílio do programa estatístico SISVAR (FERREIRA, 2011).

## **RESULTADOS E DISCUSSÃO**

### **Experimento 1**

De acordo com a análise de variância (Tabela 1), houve significância ( $p < 0,05$ ) para o fator dose em todos os caracteres avaliados: comprimento do hipocótilo (CH), comprimento da raiz principal (CRP), comprimento da raiz secundária (CRS), diâmetro da raiz principal (DRP), diâmetro do hipocótilo (DH), recrescimento da raiz principal (RCRP) e recrescimento das raízes secundárias (RCRS). Entretanto, para o fator interação (linhagem x dose) apenas o recrescimento da raiz secundária apresentou efeito significativo e para o fator linhagem apenas o caráter comprimento do hipocótilo apresentou significância. Demonstrando que doses diferentes de alumínio tóxico, adicionadas à solução nutritiva, interferem no desenvolvimento das plantas, tanto no sistema radicular quanto na parte aérea.

**Tabela 1.** Resumo da análise de variância para os caracteres comprimento do hipocótilo (CH), comprimento da raiz principal (CRP), comprimento da raiz secundária (CRS), diâmetro da raiz principal (DRP), diâmetro do hipocótilo (DH), recrescimento do comprimento da raiz principal (RCRP) e recrescimento do comprimento da raiz secundária (RCRS) em linhagens de mamoneira submetidas a diferentes doses de alumínio. UFRB, Cruz das Almas, BA, 2015.

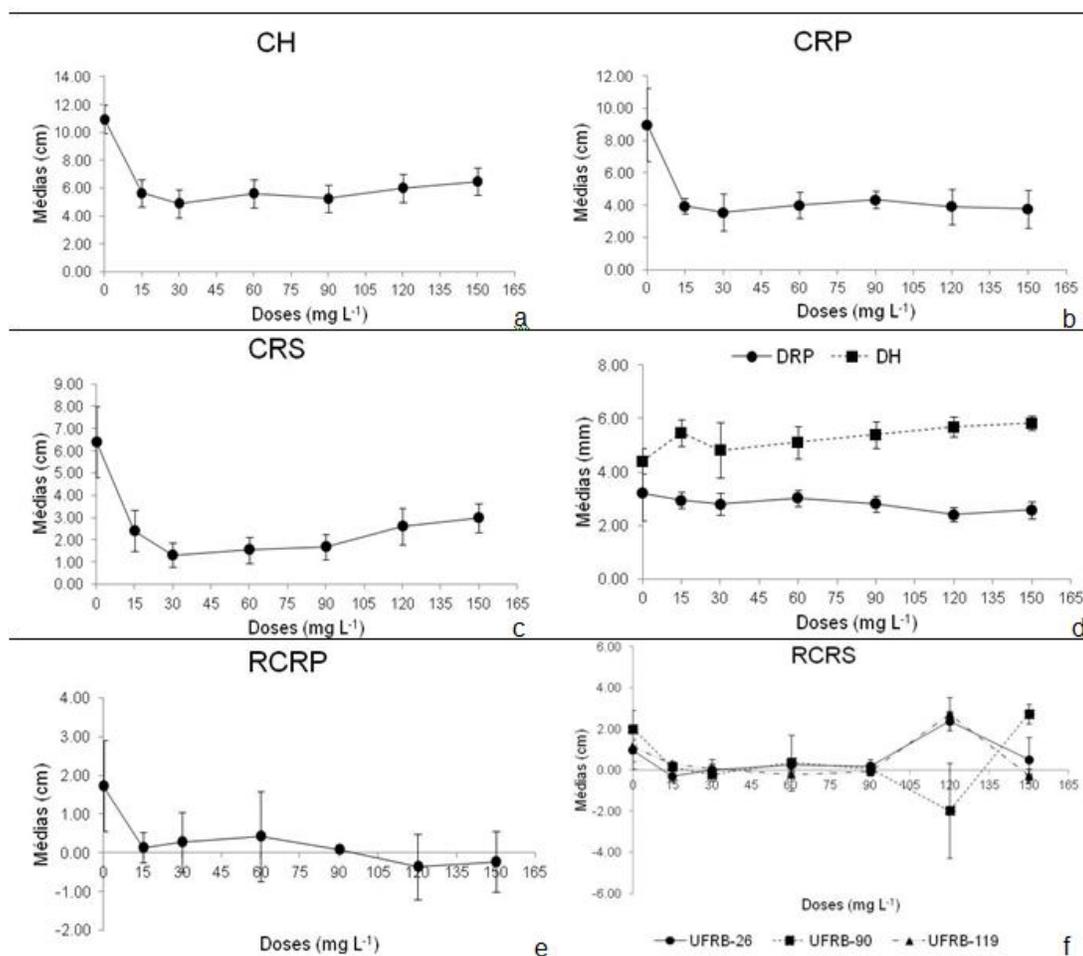
FV	GL	QM						
		CH	CRP	CRS	DRP	DH	RCRP	RCRS
L	2	11,79**	1,83 <sup>ns</sup>	0,97 <sup>ns</sup>	0,12 <sup>ns</sup>	0,65 <sup>ns</sup>	0,57 <sup>ns</sup>	0,08 <sup>ns</sup>
D	6	38,32**	33,52**	27,32**	0,67*	2,26**	4,27**	3,16**
L * D	12	3,84 <sup>ns</sup>	0,89 <sup>ns</sup>	0,65 <sup>ns</sup>	0,33 <sup>ns</sup>	0,25 <sup>ns</sup>	0,70 <sup>ns</sup>	4,88**
Erro	42	2,14	1,60	0,81	0,22	0,35	0,69	0,60
MG	-	6,41	4,64	2,71	2,83	5,25	2,19	5,14
CV%	-	22,85	27,26	33,21	16,71	11,25	37,85	15,09

FV = Fonte de variação; L = linhagem; D = Dose; GL = Graus de liberdade; QM = Quadrado médio; MG = Média geral; CV = Coeficiente de variação; \* \*Significativo,  $p < 0,01$  e  $p < 0,05$ , respectivamente; ns= não significativo.

Pelos dados obtidos dos caracteres avaliados, não foi possível encontrar uma equação ajustada de regressão com coeficiente de determinação satisfatório ( $R^2$ ). Entretanto, os resultados apresentam significado biológico, observando-se que as plântulas submetidas ao tratamento com doses de alumínio (15, 30, 60, 90, 120 e 150 mg L<sup>-1</sup>) reduziram o crescimento em todos os caracteres avaliados quando comparados com o tratamento controle (0 mg L<sup>-1</sup> de Al<sup>+3</sup>), exceto para o caráter diâmetro do hipocótilo (DH) que aumentou o diâmetro ao ser submetido ao alumínio (Figura 1).

Os caracteres comprimento do hipocótilo (CH) (Figura 1a) e comprimento da raiz secundária (CRS) (Figura 1c) obtiveram comportamento semelhantes, com acentuado decréscimo em seu comprimento assim que submetidos a solução com alumínio até a dose de 30 mg L<sup>-1</sup>, com posterior aumento nas demais doses. É provável que o efeito tóxico do alumínio na destruição das células da região meristemática da raiz principal tenha alterado a produção de hormônios, aumentando o crescimento de raízes laterais (BRACINNI et al., 1998; DANTAS et al., 2001). Segundo Rengel (1992), o alumínio promove redução da

síntese e transporte de citocininas nos meristemas da raiz, altera a direção do movimento de auxinas, favorecendo o transporte acrópeto ao invés do basípeto, e aumenta os níveis de ácido abscísico. Em genótipos de cafeeiro (BRACINNI et al., 1998) e de porta-enxertos de macieira (Dantas et al., 2001) um dos sintomas da toxidez de alumínio manifestou-se pelo aumento no número de raízes laterais.



**Figura 1.** Comprimento do hipocótilo (CH), comprimento da raiz principal (CRP), comprimento da raiz secundária (CRS), diâmetro da raiz principal (DRP), diâmetro do hipocótilo (DH), recrescimento do comprimento da raiz principal (RCRP) e recrescimento do comprimento da raiz secundária (RCRS) em linhagens de mamoneira submetidas a diferentes doses de alumínio. UFRB, Cruz das Almas, BA, 2015. Os pontos representam valores médios e as barras verticais representam o desvio-padrão.

Para o caráter comprimento da raiz principal (CRP) verifica-se que houve maiores reduções quanto maior a dose de alumínio utilizada (Figura 1b). Resultados que corroboram com Passos et al. (2015) onde esse caráter é altamente influenciado pela toxidez em  $Al^{+3}$  e variações nas doses demonstraram desempenho diferenciado para o desenvolvimento normal do sistema radicular de cultivares de mamona.

Em relação ao diâmetro da raiz principal (DRP) houve diferenças significativas nas doses mais elevadas de 120 e 150  $mg L^{-1}$  demonstrando que essas dosagens diminuíram o diâmetro das raízes, podendo estar relacionadas com o menor comprimento das raízes (Figura 1d). Também observado por Bitencourt et al. (2011), na avaliação de genótipos de capim-braquiária, em que as doses de alumínio utilizadas influenciaram no desenvolvimento do comprimento e diâmetro da raiz principal.

No entanto, o diâmetro do hipocótilo (DH) as doses mais elevadas obtiveram maiores diâmetros, porém a dose de 15  $mg L^{-1}$  não diferiu das doses mais elevadas de 90, 120 e 150  $mg L^{-1}$  (Figura 1d) exceto para as doses de 30 e 60  $mg L^{-1}$ . Esse acréscimo em baixas concentrações (15  $mg L^{-1}$ ) pode algumas vezes induzir um aumento no crescimento ou produzir outros efeitos desejáveis (Veloso et al., 1995). Resultado semelhante ao encontrado por Szymanska e Molas (1996) na cultura do pepino e Custódio et al. (2002) na cultura da soja.

Os mecanismos pelo qual esses efeitos desejáveis ocorrem ainda são desconhecidos, no entanto alguns autores como, Foy (1974) e Marschner (1986) discutem varias possibilidades de explicação: 1) aumento na disponibilidade do ferro em solos calcário (através da hidrólise do alumínio e da diminuição do pH); 2) correção ou prevenção de deficiência de ferro, pela liberação do ferro adsorvido em sítios metabolicamente inativos dentro da planta; 3) bloqueia sítios, na parede celular, carregados negativamente, promovendo a absorção de fósforo; 4) retardamento da deterioração das raízes em baixas concentrações de cálcio pelo crescimento mais lento; 5) correção ou prevenção do efeito de concentrações excessivas de fósforo; 6) prevenção de toxidez de cobre e

manganês; 7) redução do crescimento indesejável do topo de porta-enxertos ricos em nitrogênio.

No recrescimento da raiz principal as plântulas ao serem submetidas às doses elevadas de 120 e 150 mg L<sup>-1</sup> apresentam toxicidade elevada causando a necrose de partes do sistema radicular (Figura 1e), corroborando com Aquino et al. (2013) que observaram áreas com necrose em plântulas de amendoim quando submetidas a doses elevadas de Al<sup>+3</sup> em solução nutritiva. E numa alternativa de manter seu desenvolvimento, as plântulas passam a acumular reservas em sua parte aérea, como observado CH e DH (Figura 1a e 1d) e maior crescimento de raízes secundárias (Figura 1c). De acordo com Passos et al. (2015) o recrescimento da raiz é um caráter importante que minimiza os impactos negativos causados pela toxidez por alumínio, promovendo para algumas cultivares a capacidade em manter o crescimento radicular, mesmo em condições adversas. E a seleção de materiais com estas características torna-se uma grande descoberta, as quais podem ser utilizadas em áreas consideradas inexploradas, viabilizando seu cultivo em diferentes ambientes, onde o alumínio tóxico é considerado um fator limitante.

O RCRS é um caráter também altamente influenciado pela toxidez em Al<sup>+3</sup> e tende a ser influenciado quanto maior a dose utilizada. Cada linhagem apresentou RCRS diferenciado, apresentando maior desenvolvimento em doses acima de 90 mg L<sup>-1</sup> de Al<sup>+3</sup>, exceto para a linhagem UFRB 90 indicando que as linhagens apresentam comportamento diferenciado de acordo à dose Al<sup>+3</sup> em solução nutritiva para este caráter, com tendência a ter maior desenvolvimento de raízes secundárias em doses elevadas (Figura 1e).

Embora tenha havido efeito negativo tanto no crescimento da parte aérea, como no sistema radicular, o alumínio apresentou maior efeito inibitório sobre o crescimento da raiz. Uma inibição de 60,58% no crescimento do sistema radicular, enquanto a parte aérea apresentou uma inibição de 55,12% foi obtida, principalmente, a uma concentração de 30 mg L<sup>-1</sup> de Al<sup>+3</sup>, isso demonstra que a raiz foi mais afetada no desenvolvimento das plântulas ao serem submetidas ao alumínio do que a parte aérea.

Esses resultados corroboram com a literatura, evidenciando que a ação fitotóxica do alumínio afeta diretamente o sistema radicular das plantas (HATWING et al., 2007, PASSOS et al., 2015). Essa característica indica que as plântulas quando submetidas a doses de  $Al^{+3}$  condicionam a uma redução drástica do comprimento das raízes, impossibilitando seu bom desenvolvimento e à absorção de água e nutrientes pela planta.

Observa-se pela Tabela 2 que dentre as linhagens submetidas ao tratamento com alumínio, o comprimento do hipocótilo oscilou bastante nas diferentes doses utilizadas, onde a linhagem UFRB 119 apresentou menor desempenho para o comprimento do hipocótilo. Concordando com Passos et al., (2015) que observaram em plântulas de mamoneiras uma tendência à redução da altura das plântulas com aumento gradativo das doses de alumínio.

**Tabela 2.** Análise de médias para o caráter comprimento do hipocótilo em linhagens de mamoneira submetidas a diferentes doses de alumínio. UFRB, Cruz das Almas, BA, 2015.

Linhagem	Médias
UFRB 90	7,10 a
UFRB 26	6,51 ab
UFRB 119	5,61 b

As médias agrupadas pela mesma letra minúscula não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade.

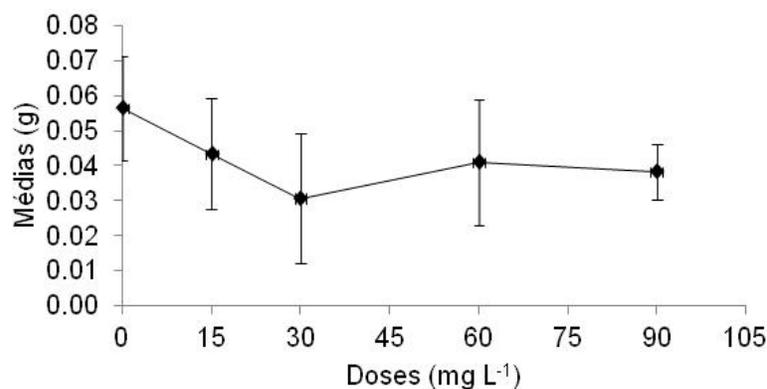
Os efeitos dos tratamentos com alumínio na produção de matéria seca na parte aérea e raiz estão expostos na Tabela 3, porém não foi possível realizar essas análises com as doses de 120 e 150  $mg L^{-1}$ , pois essas doses se mostraram altamente tóxicas as plântulas, levando ao amolecimento e morte das mesmas, inviabilizando as análises. Não houve diferença significativa na massa seca da parte aérea para os fatores analisados. Em relação à massa seca da raiz o único fator afetado foi à dose.

**Tabela 3.** Resumo da análise de variância para os caracteres massa seca da parte aérea (MSPA) e massa seca das raízes (MSRA) em linhagens de mamoneira submetidas a cinco doses de alumínio. UFRB, Cruz das Almas, BA, 2015.

FV	GL	QM	
		MSPA	MSRA
L	2	0,0114 <sup>ns</sup>	0,0005 <sup>ns</sup>
D	4	0,0041 <sup>ns</sup>	0,0008*
L * D	8	0,0023 <sup>ns</sup>	0,0001 <sup>ns</sup>
Erro	30	0,0060	0,0003
MG	-	0,26	0,04
CV%	-	29,77	37,90

FV = Fonte de variação; L = linhagem; D = Dose; GL = Graus de liberdade; QM = Quadrado médio; MG = Média geral; CV = Coeficiente de variação; \* \*Significativo,  $p < 0,01$  e  $p < 0,05$ , respectivamente; ns= não significativo.

Como observado na Figura 2 às plântulas que foram submetidas ao tratamento com alumínio reduziram a massa seca das raízes (MSRA) quando comparada com tratamento controle (0 mg L<sup>-1</sup> de Al<sup>+3</sup>). Este resultado relaciona-se a ação tóxica do Al<sup>+3</sup> no sistema radicular das plantas. Braccini et al., (1998) evidenciaram acentuado decréscimo na matéria seca das raízes de genótipos de cafeeiro quando submetidas a presença de alumínio.



**Figura 2.** Linha e equação de regressão do caráter massa seca das raízes (MSRA) em linhagens de mamoneira submetidas a cinco doses de alumínio. UFRB, Cruz das Almas, BA, 2015. Os pontos representam valores médios e as barras verticais representam o desvio-padrão.

Quanto ao comportamento das linhagens avaliadas, os dados relacionados à parte aérea e raiz indicam que as mesmas apresentam comportamento semelhante, não permitindo a identificação da dose que melhor discrimine estas linhagens quanto à tolerância e sensibilidade ao alumínio tóxico. Esse fato não permite a indicação de linhagens com maior ou menor tolerância ao excesso de metal na solução, necessitando de estudos com outras linhagens para avaliar toxicidade do alumínio e indicar a dose ideal.

Embora, existe um indicativo sobre os dados observados, que as doses de 15 e 30 mg L<sup>-1</sup> de Al<sup>+3</sup> permitiu uma redução na parte aérea e raiz da planta sem causar necrose nas raízes como ocorrem com as elevadas doses utilizadas neste experimento, acima de 90 mg L<sup>-1</sup> de Al<sup>+3</sup>, além de diferir da testemunha sem apresentar um efeito fitotóxico nas plantas. Entretanto, com estas dosagens não foi possível diferenciar as linhagens de mamoneira quanto à tolerância ao alumínio, por isso foi necessário realizar um novo teste com outras linhagens a fim de identificar comportamento diferenciado entre as linhagens com separação quanto a grupos sensíveis e tolerantes ao alumínio tóxico, e portanto, identificar com maior precisão a dose ideal.

## **Experimento 2**

O desenvolvimento de um método eficiente para caracterização de linhagens com tolerância ao alumínio é o primeiro passo para separar as linhagens tolerantes das sensíveis a realizar estudos de mecanismos genéticos envolvido no caráter. Devido a isso, foi realizado este experimento com novas linhagens, a fim de identificar a dosagem ideal.

Desse modo, o resumo da análise de variância apresentada na Tabela 4, permite verificar que os caracteres avaliados CH e CRP apresentam efeito significativo a 5% para os fatores linhagem, dose e a interação linhagem x dose. O caráter CRS apresentou significância para os fatores linhagem e a interação. Para os caracteres DRP e DH foi significativo apenas o fator linhagem. Enquanto o caráter RCRP apresentou significância para os fatores linhagem e dose e não apresentou significância a 5% para o caráter RCRS. Esses resultados

demonstram que doses diferentes de alumínio tóxico, adicionadas à solução nutritiva, interferem no desenvolvimento das plântulas e as linhagens avaliadas possuem comportamento diferenciado para a maioria dos caracteres avaliados.

**Tabela 4.** Resumo da análise de variância para os caracteres comprimento do hipocótilo (CH), comprimento da raiz principal (CRP), comprimento da raiz secundária (CRS), diâmetro da raiz principal (DRP), diâmetro do hipocótilo (DH), recrescimento do comprimento da raiz principal (RCRP) e recrescimento do comprimento da raiz secundária (RCRS) em linhagens de mamoneira submetidas a diferentes doses de alumínio. UFRB, Cruz das Almas, BA, 2015.

FV	GL	CH	QM					
			CRP	CRS	DRP	DH	RCRP	RCRS
L	3	16,99**	29,80**	5,00 <sup>NS</sup>	1,38**	2,85**	7,33*	6,25 <sup>NS</sup>
D	2	8,28**	39,26**	11,38*	0,46 <sup>NS</sup>	1,18 <sup>NS</sup>	21,12**	2,05 <sup>NS</sup>
L * D	6	4,21*	9,82**	10,17**	0,41 <sup>NS</sup>	0,77 <sup>NS</sup>	4,35 <sup>NS</sup>	5,65 <sup>NS</sup>
Erro	24	1,59	2,41	2,44	0,17	0,44	2,36	2,45
MG	-	50,61	47,57	52,02	19,01	21,06	48,36	52,95
CV%	-	2,49	3,27	3,00	2,15	3,14	1,23	2,14

FV = Fonte de variação; L = linhagem; D = Dose; GL = Graus de liberdade; QM = Quadrado médio; MG = Média geral; CV = Coeficiente de variação; \*\*\*Significativo,  $p < 0,01$  e  $p < 0,05$ , respectivamente; ns = não significativo.

Na Tabela 5 estão apresentados os valores referentes os caracteres comprimento do hipocótilo e comprimento da raiz secundária. Para o caráter comprimento do hipocótilo, entre as linhagens avaliadas, apresentaram diferença estatística as linhagens UFRB 5 e UFRB 6 e para o fator dose, a linhagem UFRB 13 apresentou diferença apenas na dose de 15 mg L<sup>-1</sup> e a linhagem UFRB 15 apresentou diferença nas doses de 15 e 30 mg L<sup>-1</sup> de Al<sup>+3</sup>.

Para o caráter comprimento da raiz secundária (CRS) entre as linhagens avaliadas houve diferença na dose tratamento controle 0 mg L<sup>-1</sup> para as linhagens UFRB 5 e UFRB 6 e para o fator doses houve diferença para a maioria das linhagens, exceto para a linhagem UFRB 5, onde não foi observado diferença nas doses utilizadas (Tabela 5).

O crescimento da parte aérea é indiretamente influenciado pela ação do  $Al^{+3}$ , uma vez que danos causados por níveis tóxicos de alumínio no sistema radicular das plântulas podem acarretar em menor desenvolvimento das plantas, tornando-as susceptíveis ao déficit hídrico e nutricional (Silva et al., 1984). Entretanto, na Tabela 5 não houve diferença no comportamento do CH e CRS quando se aumenta a dose de alumínio trivalente. Braccini et al. (1998) em seu trabalho com genótipos de cafeeiro concluíram que o alumínio reduziu o comprimento da raiz principal, altura das plantas e aumentou o número de raízes secundárias e a redução do comprimento de raízes inviabiliza um maior desenvolvimento do sistema radicular, restringindo a absorção de água e nutrientes pela planta.

Esses resultados revelam que os caracteres comprimento do hipocótilo e comprimento da raiz secundária não demonstram ser eficientes para separar as linhagens quanto à tolerância ao alumínio, por não proporcionar diferenciação das linhagens de mamoneira quanto ao elemento tóxico.

**Tabela 5.** Análise de médias para o caráter comprimento da raiz principal (CRP) e comprimento da raiz secundária (CRS) em linhagens de mamoneira submetidas às doses de alumínio (0, 15 e 30 mg L<sup>-1</sup>). UFRB, Cruz das Almas, BA, 2015.

Linhagem	CH (cm)			CRS (cm)		
	0	15	30	0	15	30
UFRB 5	0,77 bA	1,29 aA	2,83 aA	2,34 bA	3,53 aA	1,94 aA
UFRB 6	1,58 bA	0,52 aA	1,58 aA	2,44 bAB	0,23 aB	4,80 aA
UFRB 13	6,09 aA	3,08 aB	3,68 aAB	4,83 abA	2,28 aAB	1,32 aB
UFRB 15	4,79 aA	1,70 aB	2,01 aB	6,58 aA	2,45 aB	3,28 aB

As médias seguidas pela mesma letra minúscula nas colunas (linhagem) e maiúscula nas linhas (dose) não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade.

De acordo com a Tabela 6 o comprimento da raiz principal apresenta diferença nas linhagens avaliadas dentro de cada dose, porém, entre as doses a linhagem UFRB 5 e UFRB 13 apresentou comportamento semelhante e as demais linhagens diferiram entre dose em solução nutritiva. E quanto ao fator dose a linhagem UFRB 13 apresentou diferença na dose de 15 mg L<sup>-1</sup> e a linhagem

UFRB 15 nas doses de 15 e 30 mg L<sup>-1</sup> de Al<sup>+3</sup>. Estes resultados demonstram níveis de tolerância ao alumínio tóxico, diferenciados entre as linhagens avaliadas para este caráter. Concordando com os resultados encontrados por Nascimento et al. (2012) em que o aumento da dose de alumínio proporcionou um decréscimo no comprimento da raiz das plantas de girassol.

Corroborando com Passos et al. (2015) ao avaliar cultivares de mamoneiras afirmam que o comprimento da raiz é um caráter altamente influenciado pela toxidez em Al<sup>+3</sup> e variações nas doses demonstraram desempenho diferenciado para o desenvolvimento normal do sistema radicular, sinalizando que a maior concentração indicaria limitações a eficiência da produção da planta.

**Tabela 6.** Análise de médias para o caráter comprimento da raiz principal (cm) - CRP em linhagens de mamoneira submetidas ao alumínio. UFRB, Cruz das Almas, BA, 2015.

Linhagem / Doses (mg L <sup>-1</sup> )	0	15	30
UFRB 5	2,21bA	1,22 bA	2,45 bA
UFRB 6	2,25 bA	1,02 bA	1,08 cA
UFRB 13	7,47 aA	3,73 aB	3,75 aB
UFRB 15	9,48 aA	2,49 abB	2,05 bB

As médias seguidas pela mesma letra minúscula nas colunas (linhagem) e maiúscula nas linhas (dose) não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade.

De acordo com os dados apresentados na Tabela 7, tanto para o caráter diâmetro da raiz principal quanto para o diâmetro do hipocótilo a linhagem UFRB 13 apresentou o valor maior e a linhagem UFRB 6 o menor diâmetro. Entretanto, não é possível intervir qual dose de alumínio proporcionou maior toxicidade a estes caracteres, uma vez que não houve interação na análise de variância entre doses e linhagens. Resultados semelhantes foram encontrados por Pavan e Bingham (1982) em cafeeiros onde se verificou que o efeito tóxico do alumínio proporcionou um retardamento no crescimento e desenvolvimento radicular, com conseqüente aumento no diâmetro das raízes e diminuição no número de raízes laterais. Santos et al. (1999) em seus trabalhos com portas-enxertos observaram

que os níveis de alumínio diferiram significativamente no diâmetro do caule de plantas de limão.

**Tabela 7.** Análise de médias para o caráter diâmetro da raiz principal (DRP) e diâmetro do hipocótilo (DH) em linhagens de mamoneira submetidas ao alumínio. UFRB, Cruz das Almas, BA, 2015.

Linhagem	Diâmetro da raiz principal (mm)	Diâmetro do hipocótilo (mm)
UFRB 5	1,97 b	3,06 ab
UFRB 6	1,80 b	2,44 b
UFRB 13	2,70 a	3,81 a
UFRB 15	2,14 b	3,25 ab

As médias seguidas pela mesma letra minúscula<sup>1</sup> nas colunas (linhagem) não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade.

Para o recrescimento da raiz principal (Tabela 8) houve diferença entre as médias de comportamento das linhagens avaliadas para todas as doses. Entre as doses considerando o comportamento de todas as linhagens, o alumínio afetou o recrescimento da raiz principal, diminuindo o recrescimento da raiz principal a cada aumento de dose. Os danos causados nas raízes pela ação do Al<sup>+3</sup> foram facilmente visualizados com a concentração utilizada, caracterizando-se por escurecimento no ponto de recrescimento das raízes.

**Tabela 8.** Análise de médias para o caráter recrescimento da raiz principal (cm) - RCRP em linhagens de mamoneira submetidas ao alumínio. UFRB, Cruz das Almas, BA, 2015.

Linhagem / Doses (mg L <sup>-1</sup> )	0	15	30	Médias Linhagens
UFRB 5	0,81	0,34	0,51	0,55 ab
UFRB 6	0,81	0,28	0,42	0,50 b
UFRB 13	3,13	1,18	0,51	1,61 ab
UFRB 15	5,41	1,17	0,22	2,26 a
Médias Dose	2,54 A	0,74 B	0,41 B	

As médias seguidas pela mesma letra minúscula<sup>1</sup> nas colunas (linhagem) e maiúscula<sup>2</sup> nas linhas (dose) não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade.

Diante do exposto, a dose de 30 mg L<sup>-1</sup> de Al<sup>+3</sup> apresentou ser a mais adequada para identificação precoce de linhagens tolerantes ao alumínio tóxico (Al<sup>+3</sup>) dentre as avaliadas, o que difere dos resultados encontrados por Passos et al. (2015) que indicam as doses de 56 e 112 mg L<sup>-1</sup> de Al<sup>+3</sup>, como as mais adequadas.

Neste trabalho, a dose de 30 mg L<sup>-1</sup> de Al<sup>+3</sup> proporciona a diferenciação das linhagens quanto a tolerância ao alumínio, sem causar a morte das plântulas, utilizando especialmente o caráter comprimento da raiz principal, por promover a diferenciação das linhagens de mamoneira quanto ao comportamento das linhagens ao efeito do alumínio tóxico.

## CONCLUSÕES

A dose de 30 mg L<sup>-1</sup> de Al<sup>+3</sup> é mais adequada, dentre as avaliadas, para identificação precoce de linhagens tolerantes ao alumínio tóxico (Al<sup>+3</sup>).

O caráter comprimento da raiz principal é a que melhor classifica linhagens de mamona quanto à tolerância ao alumínio tóxico.

Entre as linhagens avaliadas a UFRB 13 é a mais tolerante ao alumínio tóxico em solução nutritiva.

## REFERÊNCIAS

AGUIAR, A. T. da E.; GONÇALVES, C.; PATERNIANI, M. E. A. G. Z.; TUCCI, M. L. S.; CASTRO, C. E. F.. **Instruções agrícolas para as principais culturas econômicas**. Boletim IAC, n.º 200, Revisada e atualizada. Campinas: Instituto Agrônomo, p. 452, 2014.

AMARAL, J. A. B. e SILVA, M. T. **Zoneamento de Riscos Climáticos da Cultura da Mamona no Estado da Bahia, Referente ao Ano-Safra de 2006/2007**. Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento 69. Embrapa Algodão, Campina Grande, PB, 2006.

ANIOL, A. Genetics of tolerance to aluminum in Wheat (*Triticum aestivum* L.) **Plant Soil**, Wageningen, v. 123, p. 223-227, 1990.

AQUINO, E. L.; SANTOS, A. R.; SOUZA, G. S.; SILVA, P. C. C. Plantas de amendoim (*Arachis hypogaeae* L.) submetidas à diferentes doses de alumínio em solução nutritiva. **Enciclopédia Biosfera**, Centro Científico Conhecer, Goiânia, v.9, n.16, p. 1698-1714, 2013.

BERTAN, I.; CARVALHO, F. I. F. de; OLIVEIRA, A. C; OLIVEIRA, P. H. de; SILVA, J. A. G. da; BENIN, G.; SILVA, G. O. da; HARTWIG, I.; PADILHA, E. B. Caracteres associados a tolerância ao alumínio tóxico em genótipos de trigos sul brasileiros. **Revista brasileira Agrociência**, Pelotas, v.11, n. 2, p. 149-154, 2005.

BITENCOURT, G. de A.; CHIARI, L.; LAURA, V. A.; VALLE, C. B.; JANK, L.; MORO, J. R. Aluminum tolerance on genotypes of signal grass. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 40, n. 2, p. 245-250, 2011.

BRACCINI, M. C. L.; MARTINEZ, H. E. P.; PEREIRA, P. R. G.; SAMPAIO, N. F.; SILVA, E. A. M. Tolerância de genótipos de cafeeiro ao alumínio em solução nutritiva. I. Crescimento e desenvolvimento da parte aérea e sistema radicular. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v 22, p. 435-442, 1998.

BRAGA JÚNIOR, ROCHA, M. do S.; BRUNO R. de L. A.; VIANA, J. S.; BELTRÃO, N. E. de M. Teste de envelhecimento acelerado em sementes de mamona cultivar BRS Energia. **Revista Eletrônica de Biologia**, Vol. 4, p. 88 – 101, 2011.

CAMARGO, C. E. O.; FERREIRA FILHO, A. W. P.; ROCHA JUNIOR, L. S. Melhoramento de trigo XXVII. Estimativas de variância, herdabilidade e correlações em populações híbridas, para a produção de grãos, tolerância à

toxicidade do alumínio e altura de plantas. **Bragantia**, Campinas, v. 51, n.1, p. 21-30, 1992.

CAMARGO, de C. E. O. e OLIVEIRA, O. F. Tolerância de cultivares de trigo a diferentes níveis de alumínio em solução nutritiva e no solo. **Bragantia**, Campinas, v. 40, p.21–23, 1981.

CRESTANI, M.; CARVALHO, F. I. F.; OLIVEIRA, A. C.; SILVA, J. A. G.; SOUZA, V. Q.; PARACHU, E. A. M.; SILVEIRA, G.; RIBEIRO, G.; LUCHE, H. de S. Estresse por alumínio em genótipos de aveia preta em condição hidropônica. **Bragantia**, Campinas, v.68, n.3, p. 639-649, 2009.

CUSTÓDIO, C. C.; BOMFIM, D. C.; SATURNINO, S. M.; MACHADO NETO, N. B. Estresse por alumínio e por acidez em cultivares de soja. **Scientia Agrícola**, v.59, n.1, p. 145-153, 2002.

DANTAS, A. C. de M.; FORTES, G. R. de L.; SILVA, J. B.; NEZI, A. N.; RODRIGUES, A. C. Tolerância ao alumínio em porta-enxertos somaclonais de macieira cultivados em solução nutritiva. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 36, n. 4, p. 615-623, 2001.

EMBRAPA, 2015. **Mamona**. Disponível em:  
<<http://www.cnpa.embrapa.br/produtos/mamona/>> Acesso em: 01/05/15

FERREIRA, D. F. Sisvar: a computer statistical analysis system. **Ciência e Agrotecnologia** (UFLA), v. 35, n.6, p. 1039-1042, 2011.

FOY, C, D. Physiological effects of hydrogen, aluminum and manganese toxicities in acid soil. In: ADAMS, F., ed. Soil acidity and liming 2.ed. Madison, **Soil Science Society of America**, p. 57-97, 1984.

HARTWIG, I.; OLIVEIRA, A.C.; CARVALHO, F.I.F.; BERTAN, I.; SILVA, J.A.G.; SCHMIDT, D.A.M.; VALÉRIO, I.P.; MAIA, L.C.; FONSECA, D.N.R.; REIS, C.E.S. Mecanismos associados à tolerância ao alumínio em plantas. **Semina Ciências Agrárias**, v.28, p. 219-228, 2007.

HERVÉ; C. B.; CALAI, F. A.; NAVA, I. C.; DELATORRE, C. A. Tolerância ao alumínio tóxico em germoplasma brasileiro elite de aveia. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.43, n.8, p. 1364-1370, 2013.

JORDAN, R. A.; GOMES, E. P.; BISCARO, G. A.; MOTOMIYA, A. V. de A.; GEISENHOFF, L. Impacto energético da irrigação por gotejamento no cultivo de mamona. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v. 42, n. 4, p. 375-382, 2012.

LIMA, F. de; COLOMBO, C. A.; KIIHL, T. A. M.; LAAT, D. M. de Resposta de acessos de mamoneira (*Ricinus communis* L.) ao estresse induzido por alumínio. **In.:** VII Congresso Interinstitucional de Iniciação Científica – CIIC 2013. Campinas, São Paulo, 2013.

LOPES, A. S.; SILVA, M. de C.; GUILHERME, L. R. G. Acidez do solo e calagem. **ANDA - Associação Nacional para Difusão de Adubos**. Boletim técnico nº 1, São Paulo, v.3, p.1-22, 1991.

MACEDO, F. L. de; PEDRA, W. N.; SILVA, S. A. da; BARRETO, M. C. de V.; SILVA-MANN, R. Efeito do alumínio em plantas de Pinhão-Manso (*Jatropha curcas* L.), cultivadas em solução nutritiva. **Semina Ciências Agrárias**, Londrina, v. 32, n. 1, p. 157-164, 2011.

MARSCHNER, H. **Mineral nutrition of higher plants**. London: Academic Press, p. 674, 1986.

MINELLA, E. e SORRELLS, M.E. Aluminium tolerance in barley: genetic relationships among genotypes of diverse origin. **Crop Science**, Madison, v. 32, p. 593–598, 1992.

NASCIMENTO, W. de A.; PEREIRA, K. de S; SANTOS, P. L. de S.; SANTOS, C. H. B. Efeito de diferentes concentrações de alumínio no desenvolvimento inicial de plantas de girassol. **Enciclopédia Biosfera**, Goiânia, v.8, n.15; p.748-756, 2012.

PASSOS, A. R. **Estudo genético e agrônômico da mamoneira em baixas altitudes do Recôncavo Baiano**. Tese (Doutorado) - Universidade Federal do Recôncavo da Bahia - UFRB, Cruz das Almas – BA, 109 f, 2009.

PASSOS; A. R.; SILVA; S. A.; HARTWIG; I.; HAWERROTH; M. C.; SANTOS; K. S.; SOUZA; C. M. M. Avaliação de cultivares de mamoneira para tolerância ao alumínio tóxico e insensibilidade ao ácido giberélico. **Magistra**, Cruz das Almas, v. 27, N.1, p. 73-81, 2015.

PAVAN, M. A. e BINGHAN, F. T. Toxicity of aluminum to coffee seedlings in nutrient solution. **Journal Soil Science Society of America Journal**, v. 46, n. 5, p. 993-997, 1982.

RENGEL, Z. Role of calcium in aluminum toxicity. **New Phytol**, v. 121, p. 499-513, 1992.

RIEDE, C.R. e ANDERSON, J. A. Linkage of RFLP markers to an aluminum tolerance gene in wheat. **Crop Science**, Madison, v. 36, p. 905–909, 1996.

SANTOS, C. H. dos; GRASSI FILHO, H.; RODRIGUES, J. D.; PINHO, S. Z. Níveis de alumínio e o desenvolvimento de porta-enxertos cítricos em cultivo

hidropônico: I. Parâmetros biométricos. **Scientia Agrícola, Versão On-line**, v. 56, n. 4, Piracicaba, 1999.

SAVY FILHO, A. Melhoramento da Mamona. **In:** Borém, Aluizio. (Org.). Melhoramento de Espécies Cultivadas. Viçosa, MG: Universidade Federal de Viçosa, 1999.

SILVA, J. B. C.; NOVAIS, R. F.; SEDIYAMA, C. S. Comportamento de genótipos de soja em solo com alta saturação de alumínio. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.19, n.3, p.287-289, 1984.

SILVEIRA, S. F. da S.; HAWERROTH, M. C.; LUCHE, H. de S.; OLIVEIRA, D. de C.; SOUSA, R. O.; MAIA, L. C.; OLIVEIRA, A. C. Desempenho de genótipos de aveia branca em resposta ao estresse por alumínio. **Bragantia**, Campinas, v. 72, n. 4, p. 319-325, 2013.

SZYMANSKA, M.; MOLAS, J. The effect of aluminium on early development stages of *Cucumis sativus* L. **Folia Horticulturae**, v.8, p.73-83, 1996.

VELOSO, C. A. C.; MURAOKA, T.; MALAVOLTA, E.; CARVALHO, J. G. Efeitos do alumínio em pimenteiras do reino (*Piper nigrum*, L.) cultivadas em solução nutritiva. **Scientia Agrícola**, v.52, p. 368-375, 1995.

## **CAPÍTULO II**

### **AVALIAÇÃO E SELEÇÃO DE LINHAGENS DE MAMONEIRA AO ALUMÍNIO TÓXICO EM SOLUÇÃO NUTRITIVA<sup>1</sup>**

---

<sup>1</sup> Artigo submetido ao comitê editorial da Revista.....

## AVALIAÇÃO E SELEÇÃO DE LINHAGENS DE MAMONEIRA AO ALUMÍNIO TÓXICO EM SOLUÇÃO NUTRITIVA

Autor: Mauricio dos Santos da Silva

Orientador: Simone Alves Silva

Coorientador: Vanessa de Oliveira Almeida

**Resumo:** O alumínio tóxico em altas concentrações no solo interfere no crescimento e desenvolvimento da mamoneira (*Ricinus communis* L.), afetando principalmente seu sistema radicular e dessa forma, diminuindo a produtividade da cultura. Nesse sentido, uma população de 117 linhagens de mamona foram submetidas à dose de 30 mg L<sup>-1</sup> de Al<sup>+3</sup> em solução nutritiva, sob condição hidropônica com o objetivo de avaliar e selecionar linhagens tolerantes ao alumínio tóxico. O experimento foi realizado no Laboratório de Seleção Precoce do Núcleo de Melhoramento Genético e Biotecnologia (NBIO) pertencente ao Centro de Ciências Agrárias, Ambientais e Biológicas da Universidade Federal do Recôncavo da Bahia, Cruz das Almas – BA. O delineamento foi inteiramente casualizado, com três repetições de oito plântulas por parcela. A dose utilizada, 30 mg L<sup>-1</sup>, interferiu no desenvolvimento das linhagens, agrupando-as diferentemente em cada caráter avaliado. Pela análise conjunta dos dados, existe variabilidade genética para tolerância ao alumínio tóxico, distribuindo as linhagens em cinco grupos distintos, permitindo a seleção das linhagens UFRB 19, UFRB 31, UFRB 38, UFRB 47, UFRB 51, UFRB 55, UFRB 57, UFRB 121, UFRB 128, UFRB 129, UFRB 151, UFRB 152, UFRB 159, UFRB 160, UFRB 169, UFRB 170, UFRB 175, UFRB 179, UFRB 235, UFRB 249 e UFRB 250, por apresentarem as melhores características quanto a tolerância ao alumínio tóxico.

**Palavras-chave:** *Ricinus communis* L., recrescimento da raiz, divergência genética, solução hidropônica.

## EVALUATION AND CASTOR LINES SELECTION TO TOXIC ALUMINUM IN NUTRIENT SOLUTION

Author: Maurício dos Santos da Silva

Adviser: Simone Alves Silva

Co-adviser: Vanessa de Oliveira Almeida

**Abstract:** The toxic aluminum in high concentrations in the soil interferes with the growth and development of castor bean (*Ricinus communis* L.) mainly affecting its root system and thus, reducing the crop yield. In this sense, different strains of castor underwent dose of 30 mg L<sup>-1</sup> of Al<sup>3+</sup> under hydroponic conditions in order to evaluate and select strains tolerant to aluminum toxicity. The experiment was conducted in Early Laboratório de Seleção Precoce do Núcleo de Melhoramento Genético e Biotecnologia belonging to Centro de Ciências Agrárias, Ambientais e Biológicas da Universidade Federal do Recôncavo da Bahia, Cruz das Almas – BA. The design was completely randomized, with three replicates of eight seedlings per plot. The dose, 30 mg L<sup>-1</sup>, interfered with the development of the evaluated lines, grouping them differently in each character evaluated; the joint analysis of the data there is genetic variability for aluminum tolerance, gathering the lines in five separate groups and were selected the UFRB 19, UFRB 31, UFRB 38, UFRB 47, UFRB 51, UFRB 55, UFRB 57, UFRB 121, UFRB 128, UFRB 129, UFRB 151, UFRB 152, UFRB 159, UFRB 160, UFRB 169, UFRB 170 175-UFRB, UFRB 179, UFRB 235, UFRB 249 and UFRB 250, because it presented the best characteristics as the aluminum tolerance.

**Keywords:** *Ricinus communis* L., regrowth of roots, genetic divergence, hydroponic solution.

## INTRODUÇÃO

A mamona (*Ricinus communis* L.) é uma planta oleaginosa de grande valor econômico, principalmente com a extração do óleo vegetal. É uma importante cultura para os países tropicais em desenvolvimento, por conter alto teor de óleo em suas sementes e pela facilidade com que podem ser cultivadas em ambientes desfavoráveis (MACHADO et al., 2014), sendo muitas vezes cultivada em terras inférteis, a fim de evitar a concorrência com culturas alimentícias (NASCIMENTO et al., 2012; BRITO NETO et al., 2014). Entretanto, o nível de teor de alumínio trocável nos solos ácidos é considerado como um dos principais problemas para o cultivo de mamona (LIMA et al., 2014).

Esta cultura é sensível a solos com salinidade elevada (SEVERINO et al., 2014), as baixas temperaturas (SEVERINO e AULD, 2014), a solos ácidos e compactados (NASCIMENTO et al., 2010) e outros estresses ambientais (LIMA et al., 2007; LI et al., 2010).

A toxicidade do alumínio ocorre quando o solo tem uma pH abaixo de 5,5, baixos números de bases trocáveis e baixo teor de matéria orgânica. Sob essas condições, o alumínio dissolvido na solução do solo, torna-se, numa forma tóxica afetando o crescimento das raízes e suas funções. Em todo o mundo, a presença de  $Al^{+3}$  tóxico no solo é um importante limitante para a produção de diversas culturas, pois estima-se que mais de 50% de terras potencialmente aráveis do mundo são consideradas ácidas (KOCHIAN et al., 2005; ABATE et al., 2013).

A seleção de plantas tolerantes ao  $Al^{+3}$ , a partir do melhoramento da cultura, é considerada uma alternativa mais adequada e importante para aumentar a produção em solos ácidos. Diferentes métodos de seleção têm sido empregados, para selecionar plantas tolerantes ao  $Al^{+3}$ , como cultivos em campo ou em soluções nutritivas (hidropônicas). Ambas as metodologias têm vantagens e desvantagens distintas (BITENCOURT, 2010).

A escolha de genitores superiores para formação de populações segregantes é, para os melhoristas, uma das principais decisões que precisam ser tomadas. A determinação da diferença genética, por meio da avaliação de vários caracteres, pode ser uma ferramenta eficiente na identificação de materiais

superiores, proporcionando a concentração de esforços nas combinações mais promissoras (MOURA et al., 1999).

A partir da estimativa da distância genética, torna-se possível selecionar genitores que proporcione a formação de populações de melhoramento (BERTAN et al., 2006)

A hidroponia é uma técnica de cultivo de plantas sem a adição de um substrato, utilizando água contendo nutrientes dissolvidos como fonte de subsistência. Suas inúmeras vantagens incluem o crescimento rápido, alta produtividade, fácil gerenciamento e segurança ambiental (SANTOS et al., 2013).

Diante da importância da cultura da mamoneira e suas limitações, principalmente quanto à toxicidade ao alumínio, o objetivo deste capítulo é avaliar e selecionar linhagens de mamoneira, em sistema hidropônico, quanto à tolerância ao alumínio tóxico.

## **MATERIAL E MÉTODOS**

O experimento foi realizado no Laboratório de Seleção Precoce do Núcleo de Melhoramento Genético e Biotecnologia (NBIO) pertencente ao Centro de Ciências Agrárias, Ambientais e Biológicas da Universidade Federal do Recôncavo da Bahia, Cruz das Almas – BA.

Para a condução do experimento foi utilizada a técnica descrita por Camargo e Oliveira (1981) e adaptado por Passos (2009) para mamoneira. A carúncula das sementes foi retirada para evitar a contaminação do experimento por fungos e em seguida as sementes foram lavadas com água destilada e desinfestadas em solução de hipoclorito de sódio a 20% (produto comercial) por 10 minutos e lavadas com água destilada, para retirar o excesso do produto.

Em seguida, um número maior de sementes das 117 linhagens de mamoneira utilizadas no experimento foi semeado em bandejas plásticas (polipropileno), com dimensões externas de 63 x 290 x 370 mm, contendo como substrato areia lavada autoclavada (200 °C por duas horas), sendo estas sementes umedecidas com água destilada e colocadas para germinar em câmara

BOD, à temperatura de 25 °C com iluminação permanente, onde permaneceu até apresentar aproximadamente 2-3 cm de raiz.

A utilização de um maior número de sementes por linhagem permite uma melhor padronização na germinação das sementes, a fim de obter plântulas com o mesmo estágio de crescimento radicular, de modo que suas raízes tenham aproximadamente o mesmo comprimento.

Do total de plântulas germinadas, foram utilizadas 48 plântulas por linhagem, que apresentaram crescimento padronizado e submetidas à avaliação com duas dosagens de alumínio ( $\text{Al}^{+3}$ ): 0 e 30 mg L<sup>-1</sup>. O delineamento foi inteiramente casualizado com quatro repetições, sendo a unidade experimental constituída de seis plântulas, distribuídas em esquema fatorial 117 x 2 (linhagem x dose).

As plântulas foram posteriormente transferidas para uma tela adaptada à tampa de um recipiente com capacidade de 4 litros contendo solução nutritiva completa, constituída por: (Ca ( $\text{NO}_3$ )<sub>2</sub> 4 mM; MgSO<sub>4</sub> 2 mM; KNO<sub>3</sub> 4 mM; (NH<sub>4</sub>)<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 0,435 mM; KH<sub>2</sub>PO<sub>4</sub> 0,5 mM; MnSO<sub>4</sub> 2 µM; CuSO<sub>4</sub> 0,3 µM; ZnSO<sub>4</sub> 0,8 µM; NaCl 30 µM; Na<sub>2</sub>MoO<sub>4</sub> 0,1 µM; H<sub>3</sub>BO<sub>3</sub> 10 µM; Fe-EDTA 10 µM.) em pH 3,7 - 4,0, de modo que as raízes fiquem em contato permanente com a solução. Estes recipientes foram colocados em tanque banho-maria em água a temperatura de 25+/-1 °C com iluminação permanente e sistema de aeração, em cada recipiente, para dotação de oxigênio necessário ao desenvolvimento do sistema radicular, por um período de 48 horas.

Após a permanência na solução nutritiva completa por 72 horas, as telas com as plântulas foram transferidas para recipientes com solução tratamento: 10% da solução nutritiva completa, omitindo o fósforo para evitar possível precipitação do  $\text{Al}^{+3}$  e incluindo às soluções o FeCl<sub>3</sub>, associada às doses de 0 e 30 mg L<sup>-1</sup> de  $\text{Al}^{+3}$ , utilizando como fonte o Al<sub>2</sub>(SO<sub>4</sub>)<sub>3</sub>.18H<sub>2</sub>O, na quantidade requerida para atingir a concentração de 30 mg L<sup>-1</sup> de  $\text{Al}^{+3}$ , sendo indicada como dose adequada para classificar linhagens de mamoneira quanto a tolerância ao alumínio tóxico, a partir de avaliações utilizando 7 linhagens de mamoneira e 7 doses de  $\text{Al}^{+3}$ , onde permaneceram por mais 48 horas. Após 48 horas, foram

realizadas medições do crescimento inicial da raiz principal (CI). Depois de completado este período as plântulas foram transferidas para uma nova solução nutritiva completa, por mais 72 horas.

Depois de completado o período de 48 horas as plântulas foram transferidas para uma nova solução nutritiva completa, por mais 72 horas. Após 72 horas, foi medido o comprimento final da raiz principal (CF). Durante o experimento o pH da solução foi mantido a  $4,0 \pm 0,3$  mediante ajustes diários com HCl ou NaOH a  $0,5 \text{ mol L}^{-1}$ , para manter as concentrações de alumínio a níveis de toxidez.

Além dos caracteres comprimento inicial da raiz principal (CI) e o comprimento final da raiz principal (CF), avaliou-se ainda o recrescimento da raiz principal (RECR) a partir do comprimento líquido do sistema radicular que foi calculado como  $CI - CF$  (crescimento inicial – crescimento final), o índice de redução da raiz principal (IRCF) e o índice de redução do recrescimento da raiz principal (IRRECR) com base na expressão matemática (FRANÇA et al, 2000; MOLINA et al, 2001):

$$IR (\%) = \frac{\text{característica sem alumínio} + \text{característica com alumínio}}{\text{característica sem alumínio}} \times 100$$

### **Análise estatística**

Os dados foram submetidos ao teste F da análise de variância para avaliar o comportamento individual das linhagens e doses em cada caráter. As médias das linhagens e das doses que se diferiram foram comparadas pelo teste de Scott-Knott a 5% de significância. As análises foram realizadas com o auxílio do programa estatístico SISVAR (FERREIRA, 2011).

A distância genética entre todos os pares de linhagens foi estimada por meio da distância generalizada de Euclidiana média, o coeficiente de correlação cofenética (r) foi realizada utilizando a metodologia segundo SOKAL e ROHLF, (1962) e o número de grupos, foi obtido com base na matriz de dissimilaridade e o Índice pseudoT2 do Pacote NbCluster (CHARRAD, et al., 2011). As análises foram realizadas com o auxílio do programa estatístico R (RAO, 2013), e o

dendograma foi obtido pelo método de agrupamento da distância média (UPGMA) com auxílio do programa MEGA5 (TAMURA et al., 2011).

### Índice de seleção

Foram avaliados seis caracteres, utilizando o índice baseado na distância euclidiana como critério de seleção, sendo selecionada 21 linhagens mais promissoras quanto a tolerância ao alumínio, com intensidade de seleção de 25%.

Segundo Santos (2005), o problema da escala é contornado por meio da padronização dos dados, ou seja, da divisão de cada observação pelo desvio padrão correspondente:

$$Z_{ij} = \frac{X_{ij}}{s_j}$$

$Z_{ij}$ : observação fenotípica estandardizada do caráter j, medida na linhagem i;

$X_{ij}$ : fenótipo do caráter j na linhagem i;

$s_j$ : desvio padrão do caráter j.

O ideótipo foi formado tomando-se os melhores valores de cada caráter, visando assim unir esses caracteres, a distância euclidiana média padronizada entre a linhagem i e o ideótipo  $\ell$  (melhor valor do caráter no experimento), definida pela expressão:

$$dm_{G_i, \ell} = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{j=1}^n (Z_{ij} - Z_{\ell j})^2}$$

Em que:

$dm_{G_i, \ell}$ : distância euclidiana entre a linhagem  $G_i$  e o ideótipo  $\ell$ ;

$Z_{ij}$ : observação fenotípica estandardizada do caráter j, medido na linhagem i;  $j = 1, 2, \dots, n$ .

$Z_{\ell j}$ : observação fenotípica estandardizada do caráter j, medido no ideótipo  $\ell$ .

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

De acordo a análise de variância (Tabela 1), os resultados demonstram que houve significância ( $p < 0,01$ ) para os fatores independentes (linhagem e dose), assim como para o fator interação (linhagem x dose) para todos os caracteres avaliados: comprimento inicial da raiz principal (CI), comprimento final da raiz principal (CF) e recrescimento do comprimento da raiz principal (RCRP). Foi verificado que, pelo menos uma dentre as demais linhagens, diferiu estatisticamente, indicando haver variabilidade entre as linhagens estudadas.

**Tabela 1.** Resumo da análise de variância para os caracteres comprimento inicial da raiz principal (CI), comprimento final da raiz principal (CF) e recrescimento do comprimento da raiz principal (RCRP) em linhagens de mamoneira submetidas ao alumínio tóxico. UFRB, Cruz das Almas, BA, 2015.

FV	GL	QM		
		CI	CF	RCRP
Linhagem	116	12,53**	19,88**	3,17**
Dose	1	269,66**	968,40**	216,11**
L * D	116	3,15**	4,92**	1,35**
Erro	468	1,99	2,96	0,69
Média	-	8,86	10,42	1,56
CV%	-	15,91	16,52	53,19

FV = Fonte de variação; L = linhagem; D = Dose; GL = Graus de liberdade; QM = Quadrado médio; MG = Média geral; CV = Coeficiente de variação; \*\*Significativo a  $p < 0,01$ .

As médias agrupadas de acordo com o teste de Scott-Knott, para os caracteres comprimento inicial da raiz principal (CI), comprimento final da raiz principal (CF) e recrescimento do comprimento final da raiz principal (RECR) são apresentadas na Tabelas 2.

Observando as médias obtidas nos caracteres avaliados (Tabela 2) as linhagens submetidas ao tratamento controle ( $0 \text{ mg L}^{-1}$ ) mostraram-se superiores àquelas cultivadas em  $30 \text{ mg L}^{-1}$  de alumínio, algumas linhagens apresentaram variação a dose avaliada.

De acordo com a Tabela 2 as médias para o caráter comprimento inicial da raiz principal (CI) submetidas ao tratamento controle ( $0 \text{ mg L}^{-1}$ ) foram classificadas em cinco grupos distintos, enquanto as submetidas ao tratamento ( $\text{Al}^{+3}$ ) foram classificadas em quatro grupos. Para o caráter comprimento final da raiz principal (CF) as médias das linhagens submetidas ao tratamento controle ( $0 \text{ mg L}^{-1}$ ) foram classificadas em quatro grupos e em três grupos as submetidas ao tratamento com  $\text{Al}^{+3}$  ( $30 \text{ mg L}^{-1}$ ). De acordo com Passos et al., (2015) o comprimento da raiz é um caráter altamente influenciado pela toxidez em  $\text{Al}^{+3}$  e variações nas doses demonstraram desempenho diferenciado para o desenvolvimento normal do sistema radicular, impossibilitando um maior volume de raízes a maiores profundidades, restringindo a absorção de água e nutrientes pela planta.

Observando o caráter recrescimento do comprimento final da raiz principal, na Tabela 2, as linhagens quando submetidas a dose tratamento de  $30 \text{ mg L}^{-1}$  houve a formação de dois grupos distintos, onde as linhagens distribuídas no primeiro grupo, destacaram-se das demais por apresentarem maiores médias de recrescimento do comprimento final da raiz principal, quando cultivadas em  $30 \text{ mg L}^{-1}$  de alumínio. Por outro lado, as linhagens distribuídas no segundo grupo apresentaram as menores médias de recrescimento. Estes resultados indicam que as linhagens de mamoneira são afetadas quando submetidas ao alumínio tóxico, causando danos ao seu sistema radicular.

Alguns trabalhos de classificação de genótipos utilizam o caráter retomada do crescimento da raiz como critério de seleção, tal como Passos et al (2015) em solução nutritiva para discriminar genótipos de mamona quanto a tolerância ao alumínio; Hervé et al. (2013) utilizando a medida de recrescimento da raiz em solução nutritiva para discriminar genótipos de aveia; Mazzocato et al. (2002) em genótipos de milho; Silva et al. (2006 e 2007) em aveia; Finatto et al. (2007) em aveia branca; Crestani et al. (2009) em aveia preta; Castilhos et al. (2011) em aveia e Crestani et al. (2011) em aveia branca, dentre outros.

Segundo Hartwing et al. (2007) o alumínio tóxico afeta tanto o sistema radicular como os caracteres da parte aérea, porém sua ação é mais visível e

efetiva no desenvolvimento das raízes. Este comportamento ocorre devido a alterações nas membranas das células da raiz e inibição da síntese de DNA, levando à paralisação da divisão e alongamento das células, engrossamento e menor ramificação das raízes pela desorganização dos meristemas, além da maior sensibilidade de produção de biomassa radicular, prejudicando, por consequência, o desenvolvimento dos tecidos aéreos do vegetal (MACHADO, 1997; TEDESCO e BISSANI, 2004). A recuperação das plantas a serem submetidas ao alumínio requer o reinício do alongamento celular e crescimento da raiz (OVEČKA e TAKÁČ, 2013).

**Tabela 2.** Análise de médias para os caracteres comprimento inicial da raiz principal (CI) em 0 mg L<sup>-1</sup> e 30 mg L<sup>-1</sup>, comprimento final da raiz principal (CF) 0 mg L<sup>-1</sup> e 30 mg L<sup>-1</sup> e recrescimento do comprimento final da raiz principal (RECR) em 0 mg L<sup>-1</sup> e 30 mg L<sup>-1</sup>, de 117 linhagens de mamoneira, cultivadas em solução nutritiva submetida a dois tratamentos com alumínio tóxico (0 mg L<sup>-1</sup> e 30 mg L<sup>-1</sup>). UFRB, Cruz das Almas, BA, 2015.

Linhagens	CI		CF		RECR	
	0 mg L <sup>-1</sup>	30 mg L <sup>-1</sup>	0 mg L <sup>-1</sup>	30 mg L <sup>-1</sup>	0 mg L <sup>-1</sup>	30 mg L <sup>-1</sup>
UFRB 1	8,96 cA	7,01 bA	11,82 cA	7,96 bB	2,86 bA	0,95 bB
UFRB 2	12,85 aA	9,22 aB	14,34 bA	10,00 aB	1,49 cA	0,77 bA
UFRB 3	14,95 aA	8,20 aB	17,03 aA	8,64 bB	2,09 cA	0,43 bB
UFRB 4	9,54 bA	7,55 bA	13,03 bA	9,18 bB	3,49 bA	1,63 aB
UFRB 5	9,41 cA	7,22 bA	13,83 bA	8,29 bB	4,42 aA	1,07 bB
UFRB 6	6,63 dA	8,06 aA	7,74 dA	8,86 bA	1,12 dA	0,80 bA
UFRB 7	9,64 bA	7,89 bA	13,05 bA	8,91 bB	3,41 bA	1,02 bB
UFRB 8	11,74 aA	10,92 aA	14,84 aA	12,18 aA	3,11 bA	1,26 bB
UFRB 9	7,94 cA	7,44 bA	10,15 cA	8,25 bA	2,21 cA	0,81 bB
UFRB 10	7,01 dA	7,56 bA	9,26 dA	8,37 bA	2,25 cA	0,81 bB
UFRB 15	4,07 eA	6,84 bB	9,48 dA	9,23 bA	5,41 aA	2,38 aB
UFRB 16	4,34 eA	5,14 cA	7,47 dA	5,49 cA	3,13 bA	0,34 bB
UFRB 17	6,10 dA	6,72 bA	9,10 dA	7,61 bA	3,00 bA	0,88 bB
UFRB 19	9,73 bA	9,35 aA	13,95 bA	10,85 aB	4,22 aA	1,50 aB
UFRB 20	7,92 cA	6,90 bA	10,55 cA	7,38 bB	2,63 bA	0,48 bB
UFRB 26	8,17 cA	3,56 dB	10,01 cA	3,69 cB	1,83 cA	0,14 bB
UFRB 31	9,31 cA	6,54 bB	11,72 cA	8,71 bB	2,41 bA	2,18 aA
UFRB 33	10,17 bA	8,45 aA	12,46 bA	9,39 aB	2,29 cA	0,94 bB

Continua...

UFRB 34	10,33 bA	7,69 bB	13,87 bA	8,33 bB	3,54 bA	0,64 bB
UFRB 35	7,98 cA	8,57 aA	8,83 dA	9,80 aA	0,85 dA	1,23 bA
UFRB 36	10,20 bA	8,94 aA	12,10 cA	10,05 aA	1,90 cA	1,12 bA
UFRB 38	12,71 aA	10,52 aA	17,07 aA	13,60 aB	4,36 aA	3,08 aA
UFRB 39	7,80 cA	7,44 bA	9,34 dA	8,36 bA	1,53 cA	0,92 bA
UFRB 40	9,75 bA	8,96 aA	11,65 cA	9,53 aA	1,90 cA	0,57 bB
UFRB 41	9,78 bA	7,80 bA	10,67 cA	8,37 bA	0,88 dA	0,57 bA
UFRB 42	8,35 cA	6,28 bA	8,86 dA	6,57 cA	0,51 dA	0,29 bA
UFRB 44	11,51 aA	8,32 aB	13,75 bA	9,95 aB	2,24 cA	1,63 aA
UFRB 45	9,14 cA	7,94 bA	10,09 cA	8,84 bA	0,95 dA	0,89 bA
UFRB 46	11,95 aA	9,49 aB	14,87 aA	10,47 aB	2,91 bA	0,98 bB
UFRB 47	7,85 cA	8,91 aA	10,92 cA	10,48 aA	3,07 bA	1,57 aB
UFRB 48	10,52 bA	8,22 aB	14,03 bA	8,99 bB	3,52 bA	0,77 bB
UFRB 51	10,21 bA	10,07 aA	12,05 cA	11,26 aA	1,84 cA	1,19 bA
UFRB 52	9,80 bA	10,45 aA	13,33 bA	11,06 aA	3,53 bA	0,61 bB
UFRB 53	9,22 cA	10,22 aA	10,63 cA	10,88 aA	1,41 cA	0,67 bA
UFRB 55	8,41 cA	9,35 aA	10,90 cA	11,18 aA	2,49 bA	1,83 aA
UFRB 56	9,78 bA	7,38 bB	11,97 cA	8,02 bB	2,19 cA	0,64 bB
UFRB 57	11,77 aA	9,96 aA	13,51 bA	11,35 aA	1,74 cA	1,38 aA
UFRB 78	10,97 bA	10,10 aA	13,37 bA	10,89 aA	2,40 bA	0,79 bB
UFRB 79	8,64 cA	8,03 bA	9,48 dA	8,67 bA	0,84 dA	0,63 bA
UFRB 80	7,48 cA	6,42 bA	8,38 dA	7,01 bA	0,90 dA	0,59 bA
UFRB 81	10,04 bA	8,85 aA	11,52 cA	9,42 aA	1,48 cA	0,57 bA
UFRB 84	9,16 cA	8,20 aA	10,76 cA	9,22 bA	1,60 cA	1,02 bA
UFRB 85	13,29 aA	9,97 aB	15,24 aA	10,62 aB	1,94 cA	0,65 bA
UFRB 87	9,45 cA	8,94 aA	10,98 cA	9,49 aA	1,52 cA	0,55 bA
UFRB 90	7,56 cA	4,53 cB	8,84 dA	4,98 cB	1,29 dA	0,46 bA
UFRB 91	9,56 bA	8,47 aA	10,59 cA	9,36 aA	1,03 dA	0,90 bA
UFRB 92	7,09 dA	6,30 bA	7,67 dA	6,87 bA	0,57 dA	0,56 bA
UFRB 102	10,04 bA	9,20 aA	11,24 cA	9,57 aA	1,20 dA	0,37 bA
UFRB 119	6,03 dA	2,53 dB	8,10 dA	3,40 cB	2,07 cA	0,87 bA
UFRB 121	9,85 bA	9,18 aA	12,88 bA	10,66 aA	3,03 bA	1,48 aB
UFRB 122	8,40 cA	6,89 bA	8,54 dA	7,16 bA	0,14 dA	0,28 bA
UFRB 123	9,04 cA	8,55 aA	9,64 dA	9,64 aA	0,60 dA	1,10 bA
UFRB 124	12,07 aA	9,14 aB	13,47 bA	10,54 aB	1,40 cA	1,40 aA
UFRB 125	9,01 cA	5,47 cB	10,09 cA	8,38 bA	1,08 dA	2,91 aB
UFRB 126	10,04 bA	7,46 bB	11,69 cA	8,28 bB	1,65 cA	0,82 bA
UFRB 128	9,94 bA	8,97 aA	12,86 bA	10,64 aA	2,92 bA	1,68 aA
UFRB 129	11,47 aA	8,86 aB	15,32 aA	11,27 aB	3,85 aA	2,41 aB
UFRB 151	11,40 aA	10,72 aA	13,90 bA	12,21 aA	2,50 bA	1,49 aA
UFRB 152	9,87 bA	9,70 aA	13,64 bA	11,65 aA	3,76 aA	1,96 aB

Continua...

UFRB 153	8,34 cA	7,72 bA	9,54 dA	8,51 bA	1,21 dA	0,79 bA
UFRB 154	9,59 bA	8,81 aA	10,56 cA	9,54 aA	0,97 dA	0,73 bA
UFRB 159	11,70 aA	10,18 aA	13,25 bA	11,30 aA	1,55 cA	1,12 bA
UFRB 160	12,71 aA	11,47 aA	15,99 aA	12,86 aB	3,29 bA	1,39 aB
UFRB 169	11,33 aA	9,70 aA	12,98 bA	11,33 aA	1,65 cA	1,64 aA
UFRB 170	11,10 aA	10,11 aA	14,61 aA	13,24 aA	3,51 bA	3,13 aA
UFRB 173	7,80 cA	8,08 aA	8,88 dA	8,59 bA	1,08 dA	0,51 bA
UFRB 174	9,14 cA	8,67 aA	10,25 cA	9,35 aA	1,10 dA	0,68 bA
UFRB 175	10,08 bA	9,32 aA	14,35 bA	11,34 aB	4,27 aA	2,02 aB
UFRB 176	9,41 cA	8,74 aA	11,91 cA	9,98 aA	2,50 bA	1,24 bA
UFRB 177	8,49 cA	7,64 bA	9,31 dA	8,28 bA	0,82 dA	0,64 bA
UFRB 178	9,31 cA	8,56 aA	10,31 cA	9,91 aA	1,00 dA	1,35 aA
UFRB 179	9,25 cA	8,32 aA	11,84 cA	9,99 aA	2,58 bA	1,67 aA
UFRB 180	7,80 cA	6,74 bA	8,54 dA	7,37 bA	0,74 dA	0,63 bA
UFRB 181	8,59 cA	8,38 aA	9,67 dA	9,25 bA	1,07 dA	0,87 bA
UFRB 183	10,06 bA	9,22 aA	12,97 bA	10,10 aB	2,91 bA	0,88 bB
UFRB 184	9,06 cA	8,66 aA	11,17 cA	10,06 aA	2,11 cA	1,40 aA
UFRB 185	8,32 cA	8,11 aA	8,97 dA	8,89 bA	0,66 dA	0,78 bA
UFRB 186	8,52 cA	8,15 aA	11,12 cA	8,71 bA	2,60 bA	0,56 bB
UFRB 187	6,33 dA	6,73 bA	6,76 dA	7,11 bA	0,43 dA	0,38 bA
UFRB 188	10,05 bA	10,89 aA	11,72 cA	11,67 aA	1,67 cA	0,78 bA
UFRB 190	9,43 cA	10,59 aA	10,59 cA	11,15 aA	1,16 dA	0,56 bA
UFRB 191	9,01 cA	8,36 aA	10,75 cA	9,18 bA	1,74 cA	0,83 bA
UFRB 193	8,59 cA	8,54 aA	10,10 cA	9,40 aA	1,51 cA	0,87 bA
UFRB 195	9,55 bA	8,32 aA	11,29 cA	8,98 bA	1,74 cA	0,66 bA
UFRB 197	8,44 cA	8,89 aA	9,88 dA	9,59 aA	1,43 cA	0,70 bA
UFRB 209	10,30 bA	9,18 aA	12,01 cA	10,10 aA	1,72 cA	0,92 bA
UFRB 210	8,00 cA	6,44 bA	8,97 dA	7,12 bA	0,96 dA	0,68 bA
UFRB 212	10,53 bA	9,94 aA	13,34 bA	11,01 aA	2,81 bA	1,07 bB
UFRB 214	9,94 bA	7,67 bB	12,27 bA	8,26 bB	2,34 cA	0,59 bB
UFRB 216	10,56 bA	9,06 aA	11,73 cA	9,81 aA	1,17 dA	0,75 bA
UFRB 222	9,24 cA	7,84 bA	10,93 cA	9,19 bA	1,69 cA	1,35 aA
UFRB 223	9,78 bA	9,38 aA	11,95 cA	10,57 aA	2,17 cA	1,19 bA
UFRB 224	9,41 cA	7,84 bA	10,57 cA	8,66 bA	1,16 dA	0,82 bA
UFRB 225	6,88 dA	5,20 cA	7,60 dA	5,65 cA	0,72 dA	0,45 bA
UFRB 233	11,67 aA	6,87 bB	15,35 aA	7,72 bB	3,68 aA	0,85 bB
UFRB 235	10,50 bA	9,25 aA	13,41 bA	10,69 aA	2,90 bA	1,44 aB
UFRB 236	9,45 cA	7,77 bA	10,99 cA	8,38 bA	1,54 cA	0,61 bA
UFRB 237	9,29 cA	7,97 bA	10,56 cA	8,67 bA	1,27 dA	0,70 bA
UFRB 239	9,74 bA	9,56 aA	12,64 bA	10,67 aA	2,90 bA	1,11 bB
UFRB 240	9,14 cA	6,81 bB	10,97 cA	7,39 bB	1,83 cA	0,58 bA

Continua...

UFRB 241	8,27 cA	8,00 bA	10,44 cA	9,24 bA	2,18 cA	1,24 bA
UFRB 243	9,87 bA	8,17 aA	11,64 cA	9,54 aA	1,77 cA	1,37 aA
UFRB 244	8,91 cA	8,21 aA	9,91 dA	8,74 bA	1,00 dA	0,53 bA
UFRB 246	8,56 cA	7,40 bA	10,54 cA	8,32 bA	1,98 cA	0,92 bA
UFRB 248	11,95 aA	6,35 bB	15,20 aA	7,15 bB	3,25 bA	0,80 bB
UFRB 249	12,01 aA	9,71 aB	16,67 aA	11,57 aB	4,66 aA	1,86 aB
UFRB 250	12,42 aA	11,34 aA	16,65 aA	13,44 aB	4,23 aA	2,10 aB
UFRB 251	6,90 dA	6,66 bA	8,98 dA	7,68 bA	2,08 cA	1,02 bA
UFRB 252	10,11 bA	7,78 bB	11,25 cA	8,57 bA	1,14 dA	0,79 bA
UFRB 253	10,29 bA	6,88 bB	11,25 cA	7,26 bB	0,95 dA	0,38 bA
UFRB 254	10,34 bA	5,74 cB	13,46 bA	6,12 cB	3,12 bA	0,38 bB
UFRB 256	11,18 aA	10,07 aA	14,62 aA	10,65 aB	3,44 bA	0,58 bA
UFRB 257	9,35 cA	7,75 bA	11,16 cA	8,62 bA	1,81 cA	0,87 bA
UFRB 259	9,28 cA	7,09 bA	12,60 bA	7,54 bB	3,32 bA	0,45 bB
UFRB 260	7,85 cA	7,85 bA	9,02 dA	8,58 bA	1,17 dA	0,73 bA
UFRB 262	10,40 bA	8,20 aA	14,04 bA	8,86 bB	3,64 aA	0,66 bB
UFRB 265	8,96 cA	9,58 aA	11,93 cA	10,10 aA	2,97 bA	0,52 bB

As médias seguidas pela mesma letra minúscula nas linhas (linhagens) e maiúscula nas colunas (doses) pertencem ao mesmo grupo pelo teste de Scott-Knott, a 5% de probabilidade.

A análise de variância (Tabela 3) demonstra que houve significância ( $p < 0,01$ ) para os fatores índice de redução do comprimento final da raiz principal (IRCF) e índice de redução do recrescimento do comprimento final da raiz principal (IRRECR), evidenciando a existência de diferenças entre as linhagens estudadas.

**Tabela 3.** Resumo da análise de variância para os caracteres índice de redução do comprimento final da raiz principal (IRCF) e índice de redução do recrescimento do comprimento final da raiz principal (IRRECR) em linhagens de mamoneira submetidas aos tratamentos (0 e 30 mg L<sup>-1</sup>) de alumínio tóxico. UFRB, Cruz das Almas, BA, 2015.

FV	GL	QM	
		IRCF	IRRECR
Linhagem	116	372,50**	941,83**
Erro	234	131,87**	437,28**
Média	-	21,21	51,14
CV%	-	54,10	40,89

FV = Fonte de variação; L = linhagem; D = Dose; GL = Graus de liberdade; QM = Quadrado médio; MG = Média geral; CV = Coeficiente de variação; \*\*Significativo a  $p < 0,01$ .

As médias das linhagens avaliadas, referente os índices de redução do comprimento final da raiz principal (IRCF) foram distribuídas em três grupos distintos segundo o teste Skott-Knott a 5% de probabilidade. Os valores do IRCF foram positivos em todas as linhagens, ou seja, não houve aumento das raízes ao utilizar o alumínio tóxico, variando de 4,44% para a linhagem UFRB 260 a 61,96% para a linhagem UFRB 26. Estes resultados indicam que houve diminuição no caráter quando as plântulas foram submetidas à concentração de 30 mg L<sup>-1</sup> de alumínio tóxico (Tabela 4).

Altos índices de redução foram observados por Zeffa et al., (2011) no comprimento máximo de raiz de feijão quando as plantas foram submetidas à altos níveis de concentração de alumínio trocável, os quais podem ser explicados em decorrência da inibição da expansão celular nas raízes seguido pela inibição da divisão celular, provocando o desenvolvimento de raízes anatomicamente anormais.

**Tabela 4.** Análise de médias para o caráter índice de redução do comprimento final da raiz principal (IRCF) de 117 linhagens de mamoneira, cultivadas em solução nutritiva submetida aos tratamentos (0 e 30 mg L<sup>-1</sup>) de alumínio tóxico. UFRB, Cruz das Almas, BA, 2015.

IRCF	Linhagens (UFRB)
a 4,44 - 24,54 cm	8, 9, 10, 19, 33, 35, 36, 38, 39, 40, 41, 45, 47, 51, 52, 53, 55, 57, 78, 79, 80, 81, 84, 87, 91, 92, 102, 121, 122, 123, 124, 125, 128, 151, 152, 153, 154, 159, 160, 169, 170, 173, 174, 175, 176, 177, 178, 179, 180, 181, 183, 184, 185, 186, 187, 188, 190, 191, 193, 195, 197, 209, 210, 212, 216, 222, 223, 224, 225, 235, 236, 237, 239, 241, 243, 244, 246, 250, 251, 252, 257, 260, 265.
b 25,46 - 40,79 cm	1, 2, 4, 5, 6, 7, 15, 16, 17, 20, 31, 34, 42, 44, 46, 48, 56, 85, 126, 129, 214, 240, 249, 253, 256, 259, 262.
c 43,99 - 61,96 cm	3, 26, 90, 119, 233, 248, 254.

As médias alocadas pela mesma letra minúscula pertencem ao mesmo grupo entre si pelo teste de Scott-Knott, a 5% de probabilidade.

Na Tabela 5 estão apresentadas as médias das linhagens avaliadas, referente ao índice de redução do recrescimento do comprimento final da raiz principal (IRRECR), as quais foram distribuídas em dois grupos distintos segundo o teste Skott-Knott a 5% de probabilidade. Os valores do IRRECR foram positivos em todas as linhagens, ou seja, não houve aumento das raízes ao utilizar o alumínio tóxico, variando de 10,77% para a linhagem UFRB 31 a 90,46% para a linhagem UFRB 26. Estes resultados indicam que houve diminuição no caráter quando as plântulas foram submetidas à concentração de 30 mg L<sup>-1</sup> de alumínio tóxico, entretanto, de forma diferenciada para cada linhagem.

As respostas assemelham-se às encontradas por Lima et al., (2013) que o contato da planta com a solução de alumínio contendo concentração que possa causar toxicidade a planta, sem provocar sua morte, é possível selecionar o acesso mais resistente e o mais sensível ao ambiente tóxico.

**Tabela 5.** Análise de médias para o caráter índice de redução do recrescimento do comprimento final da raiz principal (IRRECR) de 117 linhagens de mamoneira, cultivadas em solução nutritiva submetida ao alumínio tóxico (30 mg L<sup>-1</sup>). UFRB, Cruz das Almas, BA, 2015.

IRRECR	Linhagens (UFRB)
a 10,77 - 48,21 cm	6, 31, 35, 36, 38, 39, 41, 42, 45, 47, 51, 55, 57, 79, 80, 84, 91, 92, 122, 123, 126, 129, 151, 152, 153, 154, 159, 169, 170, 174, 177, 178, 179, 180, 187, 193, 209, 210, 216, 222, 223, 224, 225, 237, 243, 250, 252, 257, 260.
b 48,98 - 90,46 cm	1, 2, 3, 4, 5, 7, 8, 9, 10, 15, 16, 17, 19, 20, 26, 33, 34, 40, 44, 46, 48, 52, 53, 56, 78, 81, 85, 87, 90, 102, 119, 121, 124, 125, 128, 160, 173, 175, 176, 181, 183, 184, 185, 186, 188, 190, 191, 195, 197, 212, 214, 233, 235, 236, 239, 240, 241, 244, 246, 248, 249, 251, 253, 254, 256, 259, 262, 265.

As médias alocadas pela mesma letra minúscula pertencem ao mesmo grupo pelo teste de Scott-Knott, a 5% de probabilidade.

Na Figura 3 observa-se o agrupamento obtido a partir das médias dos caracteres comprimento inicial da raiz principal (CI0), comprimento inicial da raiz principal (CI30) comprimento final da raiz principal (CF0), comprimento final da raiz principal (CF30), recrescimento do comprimento final da raiz principal (RECR0), recrescimento do comprimento final da raiz principal (RECR30), índice de redução do comprimento final da raiz principal (IRCF) e índice de redução do recrescimento do comprimento final da raiz principal (IRRECR) estimou-se a distância generalizada por euclidiana média, buscando o estabelecimento de grupos de linhagens similares quanto à toxicidade ao  $Al^{+3}$ , utilizando como base a matriz de dissimilaridade e o Índice pseudoT2 do Pacote NbCluster (CHARRAD, et al., 2011) no Programa R. Foi verificado a formação de cinco grupos distintos, podendo ser observado na Figura 3. O grupo I ficou composto por 10 linhagens, o grupo II por duas linhagens, o grupo III por cinco linhagens, o grupo IV por 38 linhagens e o grupo V com maior número 62 linhagens.

O coeficiente de correlação cofenético (CCC) foi de 0,74, o que reflete uma boa concordância com os valores de dissimilaridade genética. Esse valor pode ser considerado razoável (VAZ PATTO et al., 2004), permitindo fazer inferências sobre o dendograma.

Por meio dos resultados obtidos, observa-se a existência de variabilidade genética entre as linhagens de mamoneira, quanto à tolerância ao  $AL^{+3}$ , demonstrando que, com a dose de  $30 \text{ mg L}^{-1}$  de alumínio, foi possível separar as linhagens em grupos distintos.



índice variou de 0,590 a 4,327 correspondendo às linhagens UFRB 170 e UFRB 19 respectivamente.

**Tabela 6.** Índice para seleção de genótipos de mamoneira baseado na metodologia de distância média euclidiana. UFRB, Cruz das Almas, BA, 2015.

Linhagem	VARIÁVEIS						
	CF0	RECR0	CF30	RECR30	IRCF	IRRECR	dm <sub>Git</sub>
Ideótipo	4,28	2,38	3,18	1,27	-10,84	-21,63	0,000
UFRB 170	2,35	1,01	2,92	1,27	-8,11	-17,05	0,590
UFRB 38	4,28	1,63	3,18	1,24	-0,20	-11,73	0,646
UFRB 250	3,95	1,53	3,06	0,65	-1,52	-2,19	1,747
UFRB 129	2,91	1,25	1,48	0,84	3,47	-6,95	1,981
UFRB 152	1,59	1,19	1,76	0,57	-4,41	-1,57	2,506
UFRB 151	1,80	0,28	2,17	0,29	-5,85	-9,59	2,622
UFRB 175	2,15	1,56	1,53	0,61	-0,10	1,25	2,811
UFRB 160	3,43	0,84	2,64	0,23	-1,25	0,82	3,163
UFRB 55	-0,54	0,27	1,42	0,50	-7,96	-9,86	3,185
UFRB 249	3,96	1,84	1,70	0,51	5,57	4,26	3,395
UFRB 169	1,08	-0,34	1,53	0,38	-5,36	-9,82	3,428
UFRB 57	1,49	-0,27	1,54	0,23	-3,36	-12,77	3,443
UFRB 179	0,19	0,34	0,54	0,40	-3,43	-8,51	3,781
UFRB 128	0,98	0,58	1,02	0,40	-2,16	-0,30	3,851
UFRB 159	1,29	-0,41	1,50	0,07	-4,35	-13,85	3,910
UFRB 121	1,00	0,66	1,03	0,28	-3,26	0,41	4,040
UFRB 51	0,36	-0,20	1,47	0,11	-9,12	-8,91	4,048
UFRB 47	-0,52	0,69	0,90	0,34	-10,53	-1,93	4,088
UFRB 31	0,10	0,21	-0,39	0,70	2,74	-21,63	4,151
UFRB 235	1,42	0,57	1,05	0,26	-0,56	0,59	4,173
UFRB 19	1,84	1,52	1,17	0,30	0,66	6,49	4,327

Comprimento final da raiz principal em 0 mg L<sup>-1</sup>(CF0), comprimento final da raiz principal em 30 mg L<sup>-1</sup>(CF30), recrescimento do comprimento final da raiz principal em 0 mg L<sup>-1</sup> (RECR0), recrescimento do comprimento final da raiz principal em 30 mg L<sup>-1</sup> (RECR30), índice de redução do comprimento final da raiz principal (IRCF), índice de redução do recrescimento do comprimento final da raiz principal (IRRECR) e distância euclidiana entre a linhagem -i e o ideótipo-  $\ell$  (dm<sub>Git</sub>) UFRB, Cruz das Almas, BA, 2015.

A importância da detecção de divergência numa população de linhagens de mamoneira é importante para o programa de melhoramento, pois possibilita selecionar linhagens superiores às diversas características (SANTOS, 2013).

Como também selecionar linhagens contrastantes para futuras hibridações e uso em programas de melhoramento da cultura.

## CONCLUSÕES

A dose de 30 mg L<sup>-1</sup> de Al +3 foi efetiva para discriminar linhagens de mamoneira tolerantes e sensíveis ao alumínio tóxico.

Existe variabilidade genética para tolerância ao alumínio tóxico, em solução nutritiva, entre as linhagens de mamoneira avaliadas.

As linhagens UFRB 19, UFRB 31, UFRB 38, UFRB 47, UFRB 51, UFRB 55, UFRB 57, UFRB 121, UFRB 128, UFRB 129, UFRB 151, UFRB 152, UFRB 159, UFRB 160, UFRB 169, UFRB 170, UFRB 175, UFRB 179, UFRB 235, UFRB 249 e UFRB 250 apresentaram-se como as linhagens mais promissoras quanto à tolerância ao alumínio tóxico.

## REFERÊNCIAS

ABATE, E.; HUSSIEN, S.; LAING, M.; MENGISTU, F. Aluminum toxicity tolerance in cereals: Mechanisms, genetic control and breeding methods. **African Journal of Agricultural Research**, Lagos, v. 8, p. 711-722, 2013.

BERTAN, I.; CARVALHO, F. I. F.; OLIVEIRA, A. C.; SILVA, J. A. G.; BENIN, G.; VIEIRA, E. A.; SILVA G. O.; HARTWIG I.; VALÉRIO, I. P.; FINATTO, T. Dissimilaridade genética entre genótipos de trigo avaliados em cultivo hidropônico sob estresse por alumínio. **Revista Bragantia**, Campinas, v.65, n.1, p.55-63, 2006.

BITENCOURT, G. de A. **Avaliação da tolerância ao alumínio em *Urochloa spp.***. Dissertação (Mestrado Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias). UNESP Jaboticabal – São Paulo – SP, 60 f, 2010.

BRITO NETO, J. F.; BÜLL, L. T.; BELTRÃO, N. E. de M.; RIGON, J. P. G.; SOFIATTI, V. Absorption and critical levels of phosphorus in castor bean shoots grown in diferente soil classes. **Semina**, Londrina, v. 35, n. 1, p. 239-250, 2014.

CASTILHOS, G.; FARIAS, J. G.; SCHNEIDER, A. de B.; OLIVEIRA, P. H. de; NICOLOSO, F.T.; SCHETINGER, M. R. C.; DELATORRE, C. A. Aluminum-stress response in oat genotypes with monogenic tolerance. **Environmental and Experimental Botany**, v. 74, p. 114-121, 2011.

CHARRAD, M.; GHAZZALI, N.; BOITEAU, V.; NIKNAFS, A. NbClust: An examination of indices for determining the number of clusters. **R package version 1.4**. Disponível em: <http://cran.r-project.org/web/packages/NbClust/index.html>, 2011.

CAMARGO, O. C. e OLIVEIRA, O. F. Tolerância de cultivares de trigo a diferentes níveis de alumínio em solução nutritiva e no solo. **Bragantia**, Campinas, v.40, n.1, p. 21-23, 1981.

CRESTANI, M.; CARVALHO, F. I. F.; OLIVEIRA, A. C.; SILVA, J. A. G.; SOUZA, V. Q.; PARACHU, E. A. M.; SILVEIRA, G.; RIBEIRO, G.; LUCHE, H. de S. Estresse por alumínio em genótipos de aveia preta em condição hidropônica. **Bragantia**, Campinas, v.68, n.3, p. 639-649, 2009.

CRESTANI, M.; SILVA, J. A. G.; TESSMANN, E. W.; SILVEIRA, S. F. da S.; NORNBORG, R; RIBEIRO, G.; CARVALHO, F. I. F.; OLIVEIRA, A. C. Protocolos para seleção quanto à tolerância ao alumínio em aveia sob cultivo hidropônico. **Revista Brasileira Agrociência**, Pelotas, v.17, n.3-4, p. 311-320, 2011.

FERREIRA, D. F. Sisvar: a computer statistical analysis system. **Ciência e Agrotecnologia** (UFLA), v. 35, n.6, p. 1039-1042, 2011.

FINATTO, T.; SILVA, J. A. G.; CARVALHO, F. I. F. Reação de tolerância de genótipos de aveia branca a concentrações de alumínio em solução nutritiva. **Magistra**, Cruz das Almas, v.19, n.1, p. 7-15, 2007.

FRANÇA, M. L. C.; THI, A. T. P.; PIMENTEL, C.; O ROSSIELLO, R. P.; ZUILY-FODIL, Y.; LAFFRAY, D. Differences in growth and water relations among *Phaseolus vulgaris* in response to induced drought stress. *Botânica Ambiental e Experimental*, v.43, p. 227-237, 2000.

HARTWIG, I.; OLIVEIRA, A.C.; CARVALHO, F.I.F.; BERTAN, I.; SILVA, J. A. G.; SCHMIDT, D. A. M.; VALÉRIO, I.P.; MAIA, L.C.; FONSECA, D.N.R.; REIS, C.E.S. Mecanismos associados à tolerância ao alumínio em plantas. **Semina Ciências Agrárias**, v.28, p. 219-228, 2007.

HERVÉ, C. B.; ANDRESSA, F.; CRISTIANO, C. I.; DELATORREI, N. C. A. Tolerância ao alumínio tóxico em germoplasma brasileiro elite de aveia. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.43, n.8, p. 1364-1370, 2013.

KOCHIAN, L. V.; PIÑEROS, M. A.; HOEKENGA, O. A. The physiology, genetics and molecular biology of plant aluminum resistance and toxicity. **Plant and Soil**, Berlin, v. 274, n. 1-2, p. 175-195, 2005.

LI, G.; WANB, S.; ZHOUA, J.; YANGA, Z.; QIN, P. Leaf chlorophyll fluorescence, hyper-spectral reflectance, pigments content, malondialdehyde and proline accumulation responses of castor bean (*Ricinus communis* L.) seedlings to salt stress levels. **Industrial Crops and Products**, Amsterdam, v. 31, n. 1, p. 13-19, 2010.

LIMA, F. de; COLOMBO, C. A.; KIIHL, T. A. M.; LAAT, D. M. de Resposta de acessos de mamoneira (*Ricinus communis* L.) ao estresse induzido por alumínio.

**In.:** VII Congresso Interinstitucional de Iniciação Científica – CIIC 2013. Campinas, São Paulo, 2013.

LIMA, R. de L. S.; SEVERINO, L. S.; FERREIRA, G. B.; SILVA, M. I. L.; ALBUQUERQUE, R. C.; BELTRÃO, N. E. DE M. Crescimento da mamoneira em solo com alto teor de alumínio na presença e ausência de matéria orgânica. **Revista Brasileira de Oleaginosas e Fibrosas**, Campina Grande, v. 11, n. 1, p. 15-21, 2007.

LIMA, R. de L. S.; SEVERINO, L. S.; FERREIRA, G. B.; AZEVEDO, C. A. V.; SOFIATTI, V.; ARRIEL, N. H. de C. Soil exchangeable aluminum influencing the growth and leaf tissue macronutrients content of castor plants. **Revista Caatinga**, Mossoró, v. 27, n. 4, p. 10-15, 2014.

MACHADO, E. L.; SANTOS, A. de S.; SILVA, S. A.; AZEVEDO NETO, A. D. Otimização e validação do método analítico gravimétrico e teor de óleo em uma população F3 de mamoneira da UFRB. **Revista Magistra**, v. 26, p. 198-205, 2014.

MACHADO, P. L. O. A. **Considerações gerais sobre a toxicidade do alumínio nas plantas**. Rio de Janeiro: EMBRAPA CNPS, Documentos 2, p. 22, 1997.

MAZZOCATO, A.C.; ROCHA, P. S. G.; SERENO, M. J. C. M.; BOHNEM, H.; GRONGO, V.; BARBOSA NETO, J. F. Tolerância ao alumínio em plântulas de milho. **Ciência Rural**, v.32, p.19-24, 2002.

MOLINA, J. C.; MODA-CIRINO, V.; FONSECA JÚNIOR, N. da S.; FARIA, R. T.; DESTRO, D. Response of common bean cultivars and lines to water stress . **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, v. 1, n. 4, p. 363 - 372, 2001.

MOURA, W. M.; CASALI, V. W. D.; CRUZ, C. D.; LIMA, P. C. Divergência genética em linhagens de pimentão em relação a eficiência nutricional de fósforo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.34, n.2, p.217-224, 1999.

NASCIMENTO, M. S.; CRUSCIOL, C. A. C.; FERNANDES, A. M.; ZANOTTO, M. D. Nutrient extraction and exportation by castor bean hybrid Lyra. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 36, n. 1, p. 113-124, 2012.

NASCIMENTO, A. H. C.; QUEIROZ, A. P.; LIMA, S. de O.; CARVALHO, C. M.; FEITOSA, H. de O.; OLIVEIRA, A. L. Desenvolvimento da mamoneira com diferentes níveis de calagem em um Latossolo Vermelho-Amarelo compactado. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, Recife, v. 5, n. 2, p. 163-169, 2010.

OVEČKA, M e TAKÁC, T. Managing heavy metal toxicity stress in plants: Biological and biotechnological tools. **Biotechnology Advances**, V. 32, p. 73-86. 2013.

PASSOS, A. R. **Estudo genético e agrônômico da mamoneira em baixas altitudes do Recôncavo Baiano**. Tese (Doutorado) - Universidade Federal do Recôncavo da Bahia - UFRB, Cruz das Almas - BA, 109 f, 2009.

PASSOS; A. R.; SILVA; S. A.; HARTWIG; I.; HAWERROTH; M. C.; SANTOS; K. S.; SOUZA; C. M. M. Avaliação de cultivares de mamoneira para tolerância ao alumínio tóxico e insensibilidade ao ácido giberélico. **Magistra**, Cruz das Almas, v. 27, N.1, p. 73-81, 2015.

RAO, R. C. *Advanced statistical methods in biometric research* J. Wiley. 1952. R Development Core Team (2013). R: A language and environment for statistical computing. **R Foundation for Statistical Computing**, Vienna, Austria. ISBN 3-900051-07-0, URL <http://www.R-project.org/>, 2013.

SANTOS, L. A. **Caracterização e seleção de linhagens elites de mamoneira (*Ricinus communis* L.) por meio do desempenho morfoagronômico e molecular no Estado da Bahia.** Tese (Doutorado) - Universidade Federal do Recôncavo da Bahia - UFRB, Cruz das Almas - BA, 85 f, 2013.

SANTOS, V. S. **Seleção de pré-cultivares de soja baseada em índices.** Tese (Doutorado) - Universidade de São Paulo - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Piracicaba - SP, 104f, 2005.

SCOTT, A.; KNOTT, M. Cluster-analysis method for grouping means in analysis of variance. **Biometrics**, Washington D.C., v.30, n.3, p. 507 - 512, 1974.

SEVERINO, L. S e AULD, D. L. Study on the effect of air temperature on seed development and determination of the base temperature for seed growth in castor (*Ricinus communis* L.). [online]. **jornal australiano de Crop Science** , v. 8, p. 290-295, 2014.

SEVERINO, L. S.; LIMA, R. L. S.; CASTILLO, N.; LUCENA, A. M.; AULD, D. L.; UDEIGWE, T. K. Calcium and magnesium do not alleviate the toxic effect of sodium on the emergence and initial growth of castor, cotton, and safflower. **Industrial Crops and Products**, Amsterdam, v. 57, p. 90-97, 2014.

SILVA, G. O. da; CARVALHO, F. I. F. de; OLIVEIRA, A. C. de; SILVA, J. A. G. da; BENIN, G.; VIEIRA, E. A.; BERTAN, I.; HARTWIG, I.; FINATTO, T. . Parâmetros de avaliação da tolerância ao alumínio tóxico em diferentes cultivares de aveia (*Avena sativa* L.). **Revista Brasileira de Agrociência**, Pelotas, v.12, n.4, p. 401-404, 2006.

SILVA, J. A. G.; CARVALHO, F. I. F.; COIMBRA, J. L. M.; VIEIRA, E. A.; BENIN, G.; OLIVEIRA, A. C.; FINATTO, T.; BERTAN, I.; SILVA, G. O.; CORREA, M. R. Tolerância ao alumínio em cultivares de aveia branca sob cultivo hidropônico. **Bragantia**, Campinas, v.66, n.4, p. 587-593, 2007.

SOKAL, R. R. e ROHLF, F. J. The comparison of dendrograms by objective methods. **Taxon**, v. 11, n. 01, p. 30-40, 1962.

TAMURA, K.; PETERSON, D.; PETERSON, N.; STECHER, G.; NEI, M. S.; KUMAR, E. (2011) MEGA5: Molecular Evolutionary Análise Genética usando máxima verossimilhança, Evolutionary Distância, e Máximo Métodos parcimônia. *Biologia Molecular e Evolução* 28: p. 2731-2739, 2011.

TEDESCO, M. J. e BISSANI, C. A. **Acidez do solo e seus efeitos nas plantas**. In: BISSANI, C. A.; GIANELLO, C.; TEDESCO, M. J.; CAMARGO, F. A. O. Fertilidade dos solos e manejo da adubação de culturas. Porto Alegre: Gênese, p. 75-92, 2004.

VAZ PATTO, M. C.; SATOVIC, Z.; PÊGO, S.; FEVEREIRO, P. Assessing the genetic diversity of Portuguese maize germplasm using microsatellite markers. **Euphytica**, v.137, n.1, p. 63-72, 2004.

ZEFFA, D. M.; SANDOLI FILHO, R.; MODA-CIRINO, V.; PAVAN, M. A. Variabilidade Genética Para Tolerância à Toxidez de Alumínio em Cultivares e Linhagens Promissoras de Feijão. **UNOPAR Científica Exatas e Tecnológicas**, Londrina, v. 10, n. 1, p. 21-28, 2011.

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

O trabalho constou de uma avaliação preliminar de diversas doses de alumínio na forma trivalente, à fim de determinar aquela que melhor discrimine as linhagens de mamoneira tolerantes e sensíveis ao alumínio tóxico. Desta forma, a avaliação do desenvolvimento das linhagens de mamoneira em solução nutritiva sob sistema hidropônico identificou a dose de 30 mg L<sup>-1</sup> de Al<sup>+3</sup> como mais adequada para diferenciar as linhagens quanto a tolerância ao alumínio tóxico.

A comparação de médias por Scott-Knott a 5% de probabilidade possibilitou agrupar as 117 linhagens avaliadas, para cada caráter independente, quanto a tolerância ao alumínio tóxico em sistema hidropônico, utilizando a dose de 30 mg L<sup>-1</sup>.

Enquanto a análise multivariada de dissimilaridade, a partir dos oito caracteres avaliados: comprimento inicial da raiz principal (CI0), comprimento inicial da raiz principal (CI30), comprimento final da raiz principal (CF0), comprimento final da raiz principal (CF30), recrescimento do comprimento final da raiz principal (RECR0), recrescimento do comprimento final da raiz principal (RECR30), índice de redução do comprimento final da raiz principal (IRCF) e índice de redução do recrescimento do comprimento final da raiz principal (IRRECR), com base no Índice pseudoT2 do pacote NbCluster do Programa R, permitiu a formação de cinco grupos distintos, podendo os mesmos serem utilizados em programas de melhoramento da cultura.

Para seleção das linhagens superiores dos oito caracteres, foram utilizados os seis caracteres mais divergentes, possibilitando a seleção de 21 linhagens com melhor desempenho, sendo elas UFRB 19, UFRB 31, UFRB 38, UFRB 47, UFRB 51, UFRB 55, UFRB 57, UFRB 121, UFRB 128, UFRB 129,

UFRB 151, UFRB 152, UFRB 159, UFRB 160, UFRB 169, UFRB 170, UFRB 175, UFRB 179, UFRB 235, UFRB 249 e UFRB 250.

Desta forma, as informações obtidas neste trabalho permitiram identificar a dose de alumínio e selecionar linhagens tolerantes ao elemento tóxico para a cultura da mamoneira, de forma a contribuir para alavancar o programa de melhoramento da cultura, visando alcançar novos patamares de produtividade com a sua melhor adaptação a solos ácidos.