

INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA
GOIANO – IF GOIANO - CAMPUS RIO VERDE PROGRAMA DE PÓS-
GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS AGRÁRIAS- AGRONOMIA

TOXIDEZ DO ALUMÍNIO EM *Eugenia dysenterica* DC. E
Hancornia speciosa GOMES

Autor: Arthur Almeida Rodrigues
Orientador: Prof. Dr. Sebastião Carvalho Vasconcelos Filho

RIO VERDE - GO
Julho – 2015

INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA
GOIANO – IF GOIANO - CAMPUS RIO VERDE PROGRAMA DE PÓS-
GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS AGRÁRIAS- AGRONOMIA

TOXIDEZ DO ALUMÍNIO EM *Eugenia dysenterica* DC. E
Hancornia speciosa GOMES

Autor: Arthur Almeida Rodrigues
Orientador: Prof. Dr. Sebastião Carvalho Vasconcelos Filho

Dissertação apresentada, como parte das exigências para obtenção do título de MESTRE EM CIÊNCIAS AGRÁRIAS – AGRONOMIA, no Programa de Pós-Graduação em Ciências Agrárias - Agronomia do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano. – Campus Rio Verde - Área de concentração Ciências Agrárias - Agronomia.

Rio Verde - GO
Julho – 2015

Rodrigues, Arthur Almeida

R696t Toxidez do Alumínio em *Eugenia dysenterica* DC. e *Hancornia speciosa* Gomes / Arthur Almeida Rodrigues. - Rio Verde. - 2015.

113 f.: il.

Dissertação (Mestrado em Ciências Agrárias – Agronomia) -
Instituto Federal Goiano – Campus Rio Verde, 2015.

Orientador: Doutor em Fitotecnia. Sebastião Carvalho
Vasconcelos Filho.

Bibliografia

Cerrado. 2. Solos ácidos. Toxidez de plantas. I. Título. II. Instituto Federal
Goiano – Campus Rio Verde.

CDD: 631.8

**INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA
GOIANO – CÂMPUS RIO VERDE
DIRETORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS
AGRÁRIAS-AGRONOMIA**

**TOXIDEZ DO ALUMÍNIO EM *Eugenia dysenterica* DC. e
Hancornia speciosa Gomes**

Autor: Arthur Almeida Rodrigues
Orientador: Dr. Sebastião Carvalho V. Filho

TITULAÇÃO: Mestre em Ciências Agrárias-Agronomia - Área de
Concentração em Produção Vegetal Sustentável no Cerrado

APROVADA em 29 de julho de 2015.

Dra. Zanderluce Gomes Luis
Avaliadora externa
Embrapa-Brasília/DF

Prof^a. Dra. Valdneá Casagrande Dalvi
Avaliadora interna
IF Goiano/RV

Prof. Dr. Sebastião Carvalho V. Filho
Presidente da banca
IF Goiano/RV

AGRADECIMENTOS

A Deus e a Nossa Senhora Aparecida, por serem os pilares fundamentais na minha vida. Aos meus pais, Odailton e Vilma, por terem contribuído imensamente em todos os momentos da minha vida para que eu pudesse chegar aqui.

A meu irmão Douglas Almeida Rodrigues pela amizade e apoio na realização desse projeto.

À minha namorada Cássia Lino Rodrigues pelo apoio nos momentos difíceis e contribuições na realização desse projeto.

Ao professor Sebastião Carvalho Vasconcelos Filho, pelas orientações e dedicação durante toda a execução desse projeto.

À Coorientadora, professora Juliana de Fátima Sales, pelo empenho e grandes contribuições na execução desse projeto.

Às colegas Daniele, Glicélia e Karine, do laboratório de anatomia vegetal e do laboratório de sementes.

Ao laboratório de cultura de tecidos em nome do professor Fabiano Guimarães Silva pelo apoio operacional.

Ao Instituto Federal Goiano – Campus Rio Verde e ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Agrárias – Agronomia, pela oportunidade deste trabalho.

BIOGRAFIA DO AUTOR

Arthur Almeida Rodrigues, filho de Odailton Rodrigues Ferreira e Vilma de Almeida Couto Rodrigues, nasceu em Rio Verde, Estado de Goiás, em 29 de Agosto de 1991.

Em agosto de 2009, iniciou Graduação de Engenharia Ambiental na UniRV- Universidade de Rio Verde-GO, graduando-se em agosto de 2013.

Em agosto de 2013, ingressou no Programa de Pós-Graduação em Ciências Agrárias - Agronomia, em nível de Mestrado, na área de tolerância de espécies nativas do cerrado ao alumínio, em cultivo hidropônico, submetendo-se à defesa da dissertação, requisito indispensável para a obtenção do título de Mestre em Ciências Agrárias - Agronomia, em julho de 2015.

SUMÁRIO

LISTA DE SIMBOLOS, SIGLAS, ABREVIACÕES E UNIDADES.....	XI
1. INTRODUÇÃO	1
2. REVISÃO DE LITERATURA.....	3
2.1. ESPÉCIES ESTUDADAS.....	3
2.1.1. <i>EUGENIA DYSENTERICA</i> DC (CAGAITA)	3
2.1.2. <i>HANCORNIA SPECIOSA</i> GOMES (MANGABA)	4
2.2. DESENVOLVIMENTO DAS PLÂNTULAS NO PROCESSO DE GERMINAÇÃO E EMERGÊNCIA.....	5
2.3. EFEITOS DO ALUMÍNIO NA ABSORÇÃO DE NUTRIENTES.....	6
2.4. TOLERÂNCIA E TOXIDEZ DO ALUMÍNIO EM PLANTAS DO CERRADO BRASILEIRO.....	6
3. OBJETIVO	9
3.1. OBJETIVO GERAL	9
3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS	9
4. MATERIAL E MÉTODOS	10
4.1. GERMINAÇÃO E EMERGÊNCIA DA CAGAITA E MANGABA CULTIVADAS EM PAPEL GERMITEST E SUBSTRATO AREIA COM DIFERENTES CONCENTRAÇÕES DE ALUMÍNIO.	10
4.2. CRESCIMENTO DE PLÂNTULAS EM CULTIVO HIDROPÔNICO EM SOLUÇÃO NUTRITIVA COMPLETA E SIMPLES COM DIFERENTES CONCENTRAÇÕES DE ALUMÍNIO.	12
4.3. ANÁLISE DOS ASPECTOS MORFOLÓGICOS DAS RAÍZES E FOLHAS.....	14
4.4. TEOR DE MACRO E MICRONUTRIENTES EM CAGAITA E MANGABA CULTIVADAS EM SOLUÇÃO NUTRITIVA COMPLETA.....	15
4.5. ANATOMIA DOS ÁPICES RADICULARES DE <i>EUGENIA DYSENTERICA</i> E <i>HANCORNIA SPECIOSA</i> MANTIDAS EM SOLUÇÃO NUTRITIVA COMPLETA E SIMPLES.....	15
5. RESULTADOS	17
5.1 GERMINAÇÃO E EMERGÊNCIA DA CAGAITA E MANGABA CULTIVADAS EM PAPEL GERMITEST E SUBSTRATO AREIA COM DIFERENTES CONCENTRAÇÕES DE ALUMÍNIO.	17
5.1.1. GERMINAÇÃO CAGAITA	17
5.1.2 EMERGÊNCIA CAGAITA	18
5.1.3 GERMINAÇÃO MANGABA.....	19
5.1.4 EMERGÊNCIA MANGABA.....	21

5.2. CRESCIMENTO DE PLÂNTULAS EM CULTIVO HIDROPÔNICO EM SOLUÇÃO NUTRITIVA COMPLETA E SIMPLES COM DIFERENTES CONCENTRAÇÕES DE ALUMÍNIO.	24
5.2.1 SOLUÇÃO NUTRITIVA COMPLETA PARA CAGAITA.....	24
5.2.2 SOLUÇÃO SIMPLES CAGAITA	29
5.2.3 SOLUÇÃO NUTRITIVA COMPLETA MANGABA.....	32
5.2.4 SOLUÇÃO SIMPLES PARA MANGABA.....	35
5.3. TEOR DE MACRO E MICRONUTRIENTES EM CAGAITA E MANGABA CULTIVADAS EM SOLUÇÃO NUTRITIVA COMPLETA.....	38
5.3.1. CAGAITA	38
5.3.2. MANGABA.....	46
5.4. ANATOMIA DOS ÁPICES RADICULARES DE <i>EUGENIA DYSENTERICA</i> E <i>HANCORNIA SPECIOSA</i> MANTIDAS EM SOLUÇÃO NUTRITIVA COMPLETA E SIMPLES.	53
5.4.1. CAGAITA SOLUÇÃO COMPLETA	53
5.4.2. CAGAITA SOLUÇÃO SIMPLES	57
5.4.3. MANGABA SOLUÇÃO COMPLETA	61
5.4.4. MANGABA SOLUÇÃO SIMPLES	65
6. DISCUSSÃO	69
6.1. GERMINAÇÃO E EMERGÊNCIA DA CAGAITA E MANGABA CULTIVADAS EM PAPEL GERMITEST E SUBSTRATO AREIA COM DIFERENTES CONCENTRAÇÕES DE ALUMÍNIO.	69
6.2. CRESCIMENTO DE PLÂNTULAS EM CULTIVO HIDROPÔNICO EM SOLUÇÃO NUTRITIVA COMPLETA E SIMPLES COM DIFERENTES CONCENTRAÇÕES DE ALUMÍNIO.	71
6.2.1. CAGAITA	71
6.2.2. MANGABA.....	73
6.3. TEOR DE MACRO E MICRONUTRIENTES EM CAGAITA E MANGABA CULTIVADAS EM SOLUÇÃO NUTRITIVA COMPLETA.....	74
6.4. ANATOMIA DOS ÁPICES RADICULARES DE <i>EUGENIA DYSENTERICA</i> E <i>HANCORNIA SPECIOSA</i> MANTIDAS EM SOLUÇÃO NUTRITIVA COMPLETA E SIMPLES.	78
7. CONCLUSÃO	81
8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	82

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Emergência e instalação do sistema hidropônico para avaliação do crescimento radicular em solução nutritiva completa e simples das plântulas de <i>Eugenia dysenterica</i> (cagaita) e <i>Hancornia speciosa</i> (mangaba). A – semeadura da cagaita; B – semeadura da mangaba; C – cagaita fixada com algodão nos vasos de 3 litros; D – mangaba fixada com algodão em vasos de 3 litros; E – Sistema hidropônico instalado com 5 tratamentos, 4 repetições e 2 espécies.....	13
Figura 2. Análise de regressão do comprimento da raiz de plântulas de cagaita (<i>Eugenia dysenterica</i> DC.), germinadas em substrato com solução simples com diferentes concentrações de alumínio. *Significativo ao nível de 5% de probabilidade. CV (%) = 10,72.....	17
Figura 3. Análise de regressão do comprimento da raiz, de plântulas de cagaita (<i>Eugenia dysenterica</i> DC.) emergidas de substrato com solução simples com diferentes concentrações de alumínio. *Significativo ao nível de 5% de probabilidade. CV (%) = 6,65.....	18
Figura 4. Análise de regressão do diâmetro da raiz (mm), de plântulas de cagaita (<i>Eugenia dysenterica</i> DC.), emergidas de substrato com solução simples com diferentes concentrações de alumínio. *Significativo ao nível de 5% de probabilidade. CV (%) = 4,26.....	19
Figura 5 Aspecto visual das plântulas de cagaita (<i>Eugenia dysenterica</i> DC.), crescidas em substrato areia com aplicação de diferentes concentrações de alumínio. Barra de escala: 5cm..	19
Figura 6: Análise de regressão do comprimento da raiz (cm) de plântulas de mangaba (<i>Hancornia speciosa</i> Gomes) germinadas de substrato com solução simples com diferentes concentrações de alumínio. **Significativo ao nível de 1% de probabilidade. CV (%) = 8,55.....	20
Figura 7: Análise de regressão do diâmetro da raiz (mm) de plântulas de mangaba (<i>Hancornia speciosa</i> Gomes), germinadas em substrato com solução simples com diferentes concentrações de alumínio. *Significativo ao nível de 5% de probabilidade. CV (%) = 6,14.....	20
Figura 8: Análise de regressão do comprimento da raiz (cm) de plântulas de mangaba (<i>Hancornia speciosa</i> Gomes), emergidas de substrato com solução simples com diferentes concentrações de alumínio. **Significativo ao nível de 5% de probabilidade. CV (%) = 5,82.....	21
Figura 9: Análise de regressão do diâmetro da raiz (mm) de plântulas de mangaba (<i>Hancornia speciosa</i> Gomes), emergidas de substrato com solução simples com diferentes concentrações de alumínio. *Significativo ao nível de 5% de probabilidade. CV (%) = 5,17.....	22
Figura 10. Aspecto visual das plântulas de mangaba (<i>Hancornia speciosa</i> Gomes) crescidas em substrato areia com aplicação de diferentes concentrações de alumínio. Barra de escala 5cm.....	22
Figura 11 Análise de regressão de plântulas normais e anormais de mangaba (<i>Hancornia speciosa</i> Gomes), emergidas de substrato com solução simples com diferentes concentrações de alumínio. **Significativo ao nível de 1% de probabilidade. CV (%) = 24,58 e CV (%) 42,59.....	23

Figura 12. Análise de regressão da porcentagem de emergência de mangaba (<i>Hancornia speciosa</i> Gomes), emergidas de substrato com solução simples com diferentes concentrações de alumínio. **Significativo ao nível de 1% de probabilidade. CV (%) = 16,23.....	23
Figura 13 Análise de regressão do índice de velocidade de emergência (IVE), de plântulas de mangaba (<i>Hancornia speciosa</i> Gomes), emergidas de substrato com solução simples com diferentes concentrações de alumínio. **Significativo ao nível de 1% de probabilidade. CV (%)= 11,72.....	24
Figura 14. Análise de regressão das taxas de crescimento radicular de plântulas de cagaita (<i>Eugenia dysenterica</i> DC.), crescidas em solução nutritiva completa com diferentes concentrações de alumínio. Significativo ao nível de 1% de probabilidade. CV (%) = 13,66.....	25
Figura 15. Comprimento médio das raízes (Cm) das plântulas de cagaita (<i>Eugenia dysenterica</i> DC.), mantidas em solução nutritiva completa com diferentes concentrações de alumínio. Significativo ao nível de 1% de probabilidade. CV (%) = 9,47.....	25
Figura 16. Elongação radicular relativa (ERR %) das plântulas de cagaita (<i>Eugenia dysenterica</i> DC.) em solução nutritiva completa com diferentes concentrações de alumínio. Significativo ao nível de 1% de probabilidade. CV (%) = 6,24.....	26
Figura 17. Aspecto das plântulas de cagaita (<i>Eugenia dysenterica</i> DC.), crescidas em solução nutritiva completa com diferentes concentrações de alumínio. Barra de escala 5cm.....	27
Figura 18. Área foliar (cm ²) das plântulas de cagaita (<i>Eugenia dysenterica</i> DC.) em solução nutritiva completa com diferentes concentrações de alumínio. Significativo ao nível de 1% de probabilidade. CV (%) = 15,29.....	28
Figura 19. Massa seca da parte aérea (mg) das plântulas de cagaita (<i>Eugenia dysenterica</i> DC.) em solução nutritiva completa com diferentes concentrações de alumínio. Significativo ao nível de 5% de probabilidade. CV (%) = 17,98.....	28
Figura 20. Análise de regressão das taxas de crescimento radicular (%) de plântulas cagaita (<i>Eugenia dysenterica</i> DC.), crescidas em solução nutritiva simples com diferentes concentrações de alumínio. Significativo ao nível de 1% de probabilidade. CV (%) = 14,07.....	29
Figura 21. Elongação radicular relativa (ERR %) de plântulas de cagaita (<i>Eugenia dysenterica</i> DC.) em solução nutritiva simples com concentrações diferentes de alumínio. *Significativo ao nível de 1% de probabilidade. CV (%) = 19,95.....	30
Figura 22. Comprimento médio das raízes (cm) das plântulas de cagaita (<i>Eugenia dysenterica</i> DC.), mantidas em solução nutritiva simples com diferentes concentrações de alumínio. Significativo ao nível de 1% de probabilidade. CV (%) = 13,49.....	30
Figura 23. Aspecto visual das plântulas de cagaita (<i>Eugenia dysenterica</i> DC.), crescidas em solução nutritiva simples com diferentes concentrações de alumínio. Barra de escala 5cm.....	31
Figura 24. Massa seca da raiz/parte aérea (Mg) de plântulas de cagaita (<i>Eugenia dysenterica</i> DC.), submetidas a diferentes concentrações de alumínio em solução nutritiva simples. **Significativo ao nível de 1% de probabilidade e *Significativo ao nível de 5% de probabilidade CV (%) = 13,55 (raiz) e 16,31 (parte aérea).....	32
Figura 25. Análise de regressão das taxas de crescimento radicular (%) de plântulas mangaba (<i>Hancornia speciosa</i> Gomes), crescidas em solução nutritiva completa com diferentes concentrações de alumínio. Significativo ao nível de 1% de probabilidade. CV (%) = 12,25.....	32
Figura 26. Comprimento médio da raiz (cm) das plântulas de mangaba (<i>Hancornia speciosa</i> Gomes), mantidas em solução nutritiva completa com diferentes concentrações de alumínio. Significativo ao nível de 1% de probabilidade. CV (%) = 13,93.....	33
Figura 27. Elongação radicular relativa (ERR %) de plântulas de mangaba (<i>Hancornia speciosa</i> Gomes) em solução nutritiva completa com diferentes concentrações de alumínio. *Significativo ao nível de 1% de probabilidade. CV (%) = 8,07.....	34

- Figura 28.** Aspecto das plântulas de mangaba (*Hancornia speciosa* Gomes), crescidas em solução nutritiva completa com diferentes concentrações de alumínio. Barra de escala 5cm.....34
- Figura 29.** Regressão das taxas de crescimento radicular (%) de plântulas de mangaba (*Hancornia speciosa* Gomes), crescidas em solução nutritiva simples. Significativo ao nível de 1% de probabilidade. CV (%) = 15,44.....35
- Figura 30.** Elongação radicular relativa (ERR%) das plântulas de mangaba (*Hancornia speciosa* Gomes) em solução nutritiva simples com diferentes concentrações de alumínio. Significativo ao nível de 1% de probabilidade. CV (%) = 7,21.....36
- Figura 31.** Comprimento médio da raiz (Cm) das plântulas de mangaba (*Hancornia speciosa* Gomes), mantidas em solução nutritiva simples com diferentes concentrações de alumínio. Significativo ao nível de 1% de probabilidade. CV (%) = 13,47.....36
- Figura 32.** Aspecto visual das plântulas de mangaba (*Hancornia speciosa* Gomes), crescidas em solução nutritiva simples com diferentes concentrações de alumínio. Barra de escala 5cm.....37
- Figura 33.** Massa seca da raiz/parte aérea (Mg) de plântulas de mangaba (*Hancornia speciosa* Gomes), submetidas a diferentes concentrações de alumínio em solução nutritiva simples. **Significativo ao nível de 1% de probabilidade CV (%) = 6,17 (raiz) e 5,52 (parte aérea).....38
- Figura 34.** Análise de regressão dos teores de cálcio nas raízes, caules e folhas de plântulas de cagaita (*Eugenia dysenterica* DC.), submetidas a diferentes concentrações de alumínio em solução nutritiva completa. **Significativo ao nível de 1% de probabilidade e *Significativo ao nível de 5% de probabilidade. CV (%) = 13, 18 (raiz), 5,88 (caule) e 4,55 (folha).....39
- Figura 35.** Análise de regressão dos teores de nitrogênio nas raízes, caules e folhas de plântulas de cagaita (*Eugenia dysenterica* DC.), submetidas a diferentes concentrações de alumínio em solução nutritiva completa. **Significativo ao nível de 1% de probabilidade, *Significativo ao nível de 5% de probabilidade e ns – não significativo. CV (%) = 9,65 (raiz), 16,82 (caule) e 6,28 (folha).....40
- Figura 36.** Análise de regressão dos teores de fósforo nas raízes, caules e folhas de plântulas de cagaita (*Eugenia dysenterica* DC.), submetidas a diferentes concentrações de alumínio em solução nutritiva completa. **Significativo ao nível de 1% de probabilidade. CV (%) = 7,58 (raiz), 17,52 (caule) e 13,08 (folha).....40
- Figura 37.** Análise de regressão dos teores de magnésio nas raízes, caules e folhas de plântulas de cagaita (*Eugenia dysenterica* DC.), submetidas a diferentes concentrações de alumínio em solução nutritiva completa. **Significativo ao nível de 1% de probabilidade. CV (%) = 12,11 (raiz), 9,80 (caule) e 6,17 (folha).....41
- Figura 38.** Análise de regressão dos teores de potássio nas raízes, caules e folhas de plântulas de cagaita (*Eugenia dysenterica* DC.), submetidas a diferentes concentrações de alumínio em solução nutritiva completa. **Significativo ao nível de 1% de probabilidade. CV (%) = 8,02 (raiz), 2,51 (caule) e 6,69 (folha).....42
- Figura 39.** Análise de regressão dos teores de enxofre nas raízes, caules e folhas de plântulas de cagaita (*Eugenia dysenterica* DC.), submetidas a diferentes concentrações de alumínio em solução nutritiva completa. **Significativo ao nível de 1% de probabilidade. CV (%) = 15,42 (raiz), 14,42 (caule) e 18,52 (folha).....43
- Figura 40.** Análise de regressão dos teores de ferro nas raízes, caules e folhas de plântulas de cagaita (*Eugenia dysenterica* DC.), submetidas a diferentes concentrações de alumínio em solução nutritiva completa. **Significativo ao nível de 1% de probabilidade. CV (%) = 4,25 (raiz), 12,12 (caule) e 9,53 (folha).....43
- Figura 41.** Análise de regressão dos teores de cobre nas raízes, caules e folhas de plântulas de cagaita (*Eugenia dysenterica* DC.), submetidas a diferentes concentrações de alumínio em solução nutritiva completa. **Significativo ao nível de 1% de probabilidade. CV (%) = 9,58 (raiz), 29,81 (caule) e 14,29 (folha).....44
- Figura 42.** Análise de regressão dos teores de manganês nas raízes, caules e folhas de plântulas de cagaita (*Eugenia dysenterica* DC.), submetidas a diferentes concentrações de alumínio em

- solução nutritiva completa. **Significativo ao nível de 1% de probabilidade e *Significativo ao nível de 5% de probabilidade. CV (%) = 22,8 (raiz), 49,97 (caule) e 6,85 (folha).....45
- Figura 43.** Análise de regressão dos teores de zinco nas raízes, caules e folhas de plântulas de cagaita (*Eugenia dysenterica* DC.), submetidas a diferentes concentrações de alumínio em solução nutritiva completa. **Significativo ao nível de 1% de probabilidade e *Significativo ao nível de 5% de probabilidade. CV (%) = 16,33 (raiz), 11,14 (caule) e 5,56 (folha).....45
- Figura 44.** Análise de regressão dos teores de cálcio nas raízes, caules e folhas de plântulas de mangaba (*Hancornia speciosa* Gomes), submetidas a diferentes concentrações de alumínio em solução nutritiva completa. **Significativo ao nível de 1% de probabilidade e *Significativo ao nível de 5% de probabilidade. CV (%) = 3,76 (raiz), 2,84 (caule) e 1,46 (folha).....46
- Figura 45.** Análise de regressão dos teores de nitrogênio nas raízes, caules e folhas de plântulas de mangaba (*Hancornia speciosa* Gomes), submetidas a diferentes concentrações de alumínio em solução nutritiva completa. **Significativo ao nível de 1% de probabilidade e *Significativo ao nível de 5% de probabilidade. CV (%) = 5,55 (raiz), 12,53 (caule) e 4,29 (folha).....47
- Figura 46.** Análise de regressão dos teores de fósforo nas raízes, caules e folhas de plântulas de mangaba (*Hancornia speciosa* Gomes), submetidas a diferentes concentrações de alumínio em solução nutritiva completa. **Significativo ao nível de 1% de probabilidade. CV (%) = 2,04 (raiz), 1,64 (caule) e 6,68 (folha).....48
- Figura 47.** Análise de regressão dos teores de potássio nas raízes, caules e folhas de plântulas de mangaba (*Hancornia speciosa* Gomes), submetidas a diferentes concentrações de alumínio em solução nutritiva completa. **Significativo ao nível de 1% de probabilidade. CV (%) = 2,97 (raiz), 3,01 (caule) e 9,79 (folha).....49
- Figura 48.** Análise de regressão dos teores de magnésio nas raízes, caules e folhas de plântulas de mangaba (*Hancornia speciosa* Gomes), submetidas a diferentes concentrações de alumínio em solução nutritiva completa. **Significativo ao nível de 1% de probabilidade. CV (%) = 16,06 (raiz), 5,49 (caule) e 9,96 (folha).....49
- Figura 49.** Análise de regressão dos teores de enxofre nas raízes, caules e folhas de plântulas de mangaba (*Hancornia speciosa* Gomes), submetidas a diferentes concentrações de alumínio em solução nutritiva completa. **Significativo ao nível de 1% de probabilidade. CV (%) = 3,59 (raiz), 6,28 (caule) e 8,7 (folha).....50
- Figura 50.** Análise de regressão dos teores de cobre nas raízes, caules e folhas de plântulas de mangaba (*Hancornia speciosa* Gomes), submetidas a diferentes concentrações de alumínio em solução nutritiva completa. **Significativo ao nível de 1% de probabilidade e NS – não significativo. CV (%) = 5,95 (raiz), 9,03 (caule) e 14,40 (folha).....51
- Figura 51.** Análise de regressão dos teores de ferro nas raízes, caules e folhas de plântulas de mangaba (*Hancornia speciosa* Gomes), submetidas a diferentes concentrações de alumínio em solução nutritiva completa. **Significativo ao nível de 1% de probabilidade. CV (%) = 1,43 (raiz), 0,88 (caule) e 2,59 (folha).....51
- Figura 52.** Análise de regressão dos teores de manganês nas raízes, caules e folhas de plântulas de mangaba (*Hancornia speciosa* Gomes), submetidas a diferentes concentrações de alumínio em solução nutritiva completa. **Significativo ao nível de 1% de probabilidade e *Significativo ao nível de 5% de probabilidade CV (%) = 9,80 (raiz), 25,28 (caule) e 4,94 (folha).....52
- Figura 53.** Análise de regressão dos teores de zinco nas raízes, caules e folhas de plântulas de mangaba (*Hancornia speciosa* Gomes), submetidas a diferentes concentrações de alumínio em solução nutritiva completa. **Significativo ao nível de 1% de probabilidade e *Significativo ao nível de 5% de probabilidade CV (%) = 3,05 (raiz), 2,23 (caule) e 21,3 (folha).....53
- Figura 54.** Micrografias óticas de cortes longitudinais de raízes de plântulas de cagaita (*Eugenia dysenterica* DC.), coradas com azul de toluidina após terem sido mantidas em solução nutritiva completa com diferentes concentrações de alumínio por 37 dias. A – sem Al; B – 150 μ M de Al; C – 300 μ M de Al; D – 600 μ M de Al e E - 1200 μ M de Al. A, C, E, G e I Barras = 200 μ m; B, D, F, H e J Barras = 50 μ m54
- Figura 55.** Diâmetro da ponta das raízes (μ m) das plântulas de cagaita (*Eugenia dysenterica* DC.), mantidas em solução nutritiva completa com diferentes concentrações de alumínio. Significativo ao nível de 1% de probabilidade. CV (%) = 16,97.....55

- Figura 56.** Micrografias de fluorescência de cortes longitudinais de raízes de plântulas de cagaita (*Eugenia dysenterica* DC.), tratadas com o fluorocromo morin (fotos à esquerda) e fluorocromo DAPI (fotos à direita) após terem sido mantidas em solução nutritiva completa com diferentes concentrações de alumínio por 37 dias, sendo: A e B – Sem Al; C e D - dose 150 μM de Al; E e F - dose 300 μM de Al; G e H – dose 600 μM de Al; I e J – dose 1200 μM de Al. A fluorescência verde indica presença de alumínio e a azul, presença de DNA. Barras de 50 μm56
- Figura 57.** Micrografias óticas de cortes longitudinais de raízes de plântulas de cagaita (*Eugenia dysenterica* DC.), coradas com azul de toluidina após terem sido mantidas em solução nutritiva simples com diferentes concentrações de alumínio por 37 dias. Círculo representa a desorganização do meristema apical e e asterisco, os espaços intercelulares. Sendo: A – sem Al; B – 150 μM de Al; C – 300 μM de Al; D – 600 μM de Al e E - 1200 μM de Al. A, C, E, G e I Barras = 200 μm ; B, D, F, H e J Barras = 50 μm58
- Figura 58.** Diâmetro da ponta das raízes (μm) das plântulas de cagaita (*Eugenia dysenterica* DC.), mantidas em solução nutritiva simples com diferentes concentrações de alumínio. Significativo ao nível de 5% de probabilidade. CV (%) = 3,84.....59
- Figura 59.** Micrografias de fluorescência de cortes transversais de raízes de plântulas de cagaita (*Eugenia dysenterica* DC.) tratadas com o fluorocromo morin (fotos à esquerda) e fluorocromo DAPI (fotos à direita) após terem sido mantidas em solução nutritiva simples com diferentes concentrações de alumínio por 37 dias, sendo: A e B – Sem Al; C e D - dose 150 μM de Al; E e F - dose 300 μM de Al; G e H – dose 600 μM de Al; I e J – dose 1200 μM de Al. A fluorescência verde indica presença de alumínio e a azul, presença de DNA. com barras de 50 μm60
- Figura 60.** Micrografias óticas de cortes longitudinais de raízes de plântulas de mangaba (*Hancornia speciosa* Gomes) coradas com azul de toluidina após terem sido mantidas em solução nutritiva completa com diferentes concentrações de alumínio por 37 dias. Círculo representa a desorganização do meristema apical e asterisco, os espaços intercelulares. A – sem Al; B – 150 μM de Al; C – 300 μM de Al; D – 600 μM de Al e E - 1200 μM de Al. A, C, E, G e I Barras = 100 μm ; B, D, F, H e J Barras = 50 μm62
- Figura 61.** Micrografias de fluorescência de cortes transversais de raízes de plântulas de mangaba (*Hancornia speciosa* Gomes) tratadas com o fluorocromo morin (fotos à esquerda) e fluorocromo DAPI (fotos a direita) após terem sido mantidas em solução nutritiva completa com diferentes concentrações de alumínio por 37 dias, sendo: A e B – Sem Al; C e D - dose 150 μM de Al; E e F – dose de 300 μM de Al; G e H – dose de 600 μM de Al; I e J – dose de 1200 μM de Al. Barras de 50 μm64
- Figura 62.** Micrografias óticas de cortes longitudinais de raízes de plântulas de mangaba (*Hancornia speciosa* Gomes) coradas com azul de toluidina após terem sido mantidas em solução nutritiva simples com diferentes concentrações de alumínio por 37 dias. Linhas representam o alongamento do meristema apical em relação às doses de alumínio. A – sem Al; B – 150 μM de Al; C – 300 μM de Al; D – 600 μM de Al e E - 1200 μM de Al. A, C, E, G e I Barras = 200 μm ; B, D, F, H e J Barras = 50 μm66
- Figura 63.** Diâmetro da ponta das raízes (μm) das plântulas de mangaba (*Hancornia speciosa* Gomes), mantidas em solução nutritiva simples com diferentes concentrações de alumínio. Significativo ao nível de 5% de probabilidade. CV (%) = 3,28.....67
- Figura 64.** Micrografias de fluorescência de cortes transversais de raízes de plântulas de mangaba (*Hancornia speciosa* Gomes), tratadas com o fluorocromo morin (fotos à esquerda) e fluorocromo DAPI (fotos à direita) após terem sido mantidas em solução simples com diferentes concentrações de alumínio por 37 dias, sendo: A e B – Sem Al; C e D - dose 150 μM de Al; E e F. barras de 50 μm68

LISTA DE SIMBOLOS, SIGLAS, ABREVIACOES E UNIDADES

Al.....	Alumínio
Ca.....	Cálcio
Cu.....	Cobre
Fe.....	Ferro
K.....	Potássio
Mg.....	Magnésio
Mn.....	Manganês
N.....	Nitrogênio
P.....	Fósforo
S.....	Enxofre
Zn.....	Zinco
M.....	Molar
pH.....	Potencial Hidrogeniônico
DAPI.....	4',6 – Diamidino-2-Phenylindole
DNA.....	cido Desoxirribonucléico
UV.....	Ultra Violeta
Al ³⁺	Alumínio trivalente (Al livre) na forma mais tóxica
H ₂ O.....	gua
HCl.....	cido clorídrico
NaOH.....	Hidróxido de Sódio
C.....	Graus Celsius
µM.....	Micromolar
%.....	Porcentagem
RAS.....	Regras para a Análise de Sementes
IVG.....	ndice de Velocidade de Germinação
IVE.....	ndice de Velocidade de Emergência

Cm.....	Centímetro
EDTA.....	Ácido Etilenodiamino Tetra – Acético
(Al ₂ (SO ₄) ₃ 18H ₂ O).....	Sulfato de alumínio
CaCl ₂ .2H ₂ O.....	Cloreto de Cálcio
NH ₄ NO ₃	Nitrato de Amônia
MgSO ₄ .7H ₂ O.....	Sulfato de Magnésio Heptahidratado
K ₂ SO ₄	Sulfato de Potássio
NaH ₂ PO ₄ .2H ₂ O.....	Fosfato de Sódio Monobásico mono-hidrato
MnSO ₄ .H ₂ O.....	Sulfato de Manganês mono-hidratado
ZnSO ₄	Sulfato de Zinco
CV.....	Coefficiente de Variação
CuSO ₄	Sulfato de Cobre
MoO ₃	Trióxido de Molibdênio
CoSO ₄ .7H ₂ O.....	Sulfato de Cobalto heptahidratado
TCR.....	Taxa de Crescimento Radicular
ERR%.....	Elongação Radicular Relativa
CiAl _x .Comprimento radicular inicial medido antes da exposição à solução nutritiva no nível de “x” de Al	
CfAl _x .Comprimento radicular final medido após n dias de exposição à solução nutritiva no nível “x” de Al	
CiAl ₀	Comprimento radicular inicial antes da exposição à solução sem Al
CfAl ₀ .Comprimento radicular final medido após n dias de exposição à solução nutritiva sem Al	

RESUMO

RODRIGUES, ARTHUR. ALMEIDA. Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano – Campus Rio Verde, Julho de 2015. **Toxidez do Alumínio em *Eugenia dysenterica* DC. e *Hancornia speciosa* Gomes.** Orientador: Dr. Sebastião Carvalho Vasconcelos Filho. Coorientador: Dr.^a Juliana de Fátima Sales.

O estudo de plantas tolerantes ao alumínio (Al) vem sendo considerado a melhor alternativa no aumento da produção agrícola em solos ácidos com concentrações altas desse cátion. Para isso, torna-se fundamental o estudo de plantas que ocorrem naturalmente em solos com alumínio. A mangaba (*Hancornia speciosa* Gomes) e a cagaita (*Eugenia dysenterica* DC.) são exemplos de espécies nativas do Brasil, com distribuição diversificada no cerrado, típicas de solos arenosos, ácidos e pobres em nutrientes. O presente estudo objetivou avaliar o efeito do alumínio na germinação, emergência, crescimento radicular, estrutura anatômica da raiz e absorção de minerais de *Hancornia speciosa* e *Eugenia dysenterica* sob condições de estresse com alumínio na fase de plântula cultivada em solução nutritiva completa e simples. Para isso, plântulas recém-germinadas foram cultivadas em solução nutritiva simples composta de 0,1 mM de $\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ e solução nutritiva completa com macro e micronutrientes e baixa força iônica, ambas com cinco concentrações de alumínio (0, 150, 300, 600 e 1200 μM). Posteriormente, as plântulas foram avaliadas quanto ao crescimento radicular, alongação radicular relativa, massa seca, absorção de nutrientes, além de estudos anatômicos utilizando técnicas de microscopia de campo claro e fluorescência. Foram avaliadas a germinação e a emergência, com as análises de comprimento radicular, diâmetro da raiz, plântulas normais e anormais, porcentagem de emergência e germinação, índice de velocidade de emergência e índice de velocidade de germinação. Os resultados mostraram maior fitotoxidez na mangaba, com decréscimo no comprimento da raiz, alongação radicular relativa e comprimento médio da raiz. Nos

testes anatômicos, observou-se maior presença do alumínio através da fluorescência, utilizando o reagente morin nos tratamentos de 600 e 1200 μM de Al e diminuição dos núcleos marcados com DAPI, indicando ação fitotóxica do Al para mangaba. A cagaita apresentou tolerância aos tratamentos com estímulo no crescimento radicular nas doses de 150, 300 e 600 μM de Al, com maior divisão celular dos núcleos e baixa fluorescência. Em solução completa, a absorção de P, Ca e Mg apresentou decréscimo para a cagaita e aumento para mangaba, principalmente no tratamento de 300 μM de Al, que proporcionou estímulo no crescimento das plântulas. As duas espécies mostraram tolerância nos testes com alumínio, principalmente, em doses mais baixas. Porém, ao comparar o desempenho das duas espécies, observou-se que em doses mais altas a mangaba apresentou menor crescimento radicular, mostrando maior sensibilidade. Tais resultados podem estar inteiramente ligados à maior distribuição da cagaita no domínio cerrado, evidenciando tratar-se de uma espécie adaptada a solos com maior concentração de Al.

Palavras-chave: cerrado, solos ácidos, toxicidade de plantas.

ABSTRACT

RODRIGUES, ARTHUR ALMEIDA. Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano (Federal Institute of Education, Science, and Technology of Goiás), Rio Verde Campus, Goiás State, Brazil, July 2015. **Aluminum toxicity in *Eugenia dysenterica* DC. and *Hancornia speciosa* Gomes.** Advisor: Dr. Vasconcelos Filho, Sebastião Carvalho. Co-Advisor: Dr. Sales, Juliana de Fátima.

The study of aluminum tolerance in plants (Al) has been considered the best alternative in increasing agricultural production in acid soils with high concentrations of this cation. For this situation, the study of plants that occur naturally in soils with aluminum is fundamental. The mangaba (*Hancornia speciosa* Gomes) and cagaita (*Eugenia dysenterica* DC) are examples of native species in Brazil with diversified distribution in cerrado (Brazilian Savannah), typical of sandy and acid soils that present low nutrients. This study aimed to evaluate the aluminum effect on germination, emergence, root growth, root anatomical structure, and absorption of mangaba (*Hancornia speciosa*) and cagaita (*Eugenia dysenterica*) minerals under stress conditions with aluminum in the seedling stage cultivated in complete and simple nutrient solution. For this condition, newly germinated seedlings were grown in simple nutrient solution composed by 0.1 μM $\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ and complete nutrient solution with macro and micronutrients and low ionic strength, both with five aluminum concentrations (0; 150; 300; 600; and 1,200 μM). Thereafter, the seedlings were evaluated for root growth, relative root elongation, dry matter, nutrient absorption, and anatomical studies using light and fluorescence microscopy techniques. The germination and emergence were evaluated by analyzes of root length, root diameter, normal and abnormal seedlings, germination and emergence percentage, speed of emergence index, and germination speed index. Results showed greater phytotoxicity in mangaba with a decrease in the root length, relative root elongation, and average root length. Anatomical tests by fluorescence showed a higher

presence of aluminum using the morin reagent in treatments of 600 and 1,200 μM of Al and nuclei's decrease marked with 4',6-diamidino-2-fenilindol (DAPI) indicating phytotoxic action of Al on mangaba. The cagaita was tolerant to treatments with stimulating root growth at doses of 150, 300, and 600 μM of Al with higher cell division of nuclei and low fluorescence. In complete solution, the P, Ca, and Mg absorption showed a decrease for cagaita and increase in mangaba mainly in the treatment of 300 μM of Al which provided stimulus to seedlings growth. The two species showed tolerance in tests with aluminum particularly at lower doses. However, when comparing the two species performance, it was observed that mangaba at higher doses presented lower root growth showing greater sensitivity. These results may be entirely linked to greater cagaita distribution in the cerrado area, showing that it is a species adapted to soils with higher Al concentration.

Keywords: cerrado (Brazilian Savannah), acid soils, plant toxicity.

1. INTRODUÇÃO

O alumínio (Al) é o terceiro elemento mais abundante na litosfera, após o oxigênio e o silício, participando com 8% na composição da crosta terrestre (KISS, 1995; MOSSOR- PIETRASZEWSKA, 2001). Mesmo em baixas concentrações, o Al solúvel é tóxico para a maioria das espécies vegetais. Estudos mostram que o Al afeta o desenvolvimento normal das raízes, bloqueando os mecanismos de aquisição e transporte de água e nutrientes, além de causar alterações citológicas (SIVAGURU et al., 1999; VASCONCELOS FILHO, 2014).

A toxidez do alumínio em plantas do cerrado brasileiro é um fator limitante de grande importância no desenvolvimento de culturas. Os solos cultivados no cerrado ocupam quase um quarto do território nacional, concentrando-se nos estados de Goiás, Mato Grosso, Mato Grosso do Sul, Minas Gerais, Tocantins e Piauí. No Cerrado, predominam os Latossolos, que são caracterizados como ácidos, com baixa capacidade de troca catiônica (CTC), alta saturação por alumínio trocável e teores muito baixos de fósforo disponível às plantas (FERREIRA, MOREIRA e RASSINI, 2006).

Em solos ácidos, altos níveis de alumínio e deficiência de cálcio são frequentemente considerados os principais fatores limitantes do crescimento das plantas. Esse fato está relacionado à forte afinidade do alumínio por compostos doadores de oxigênio, desde moléculas estruturalmente simples, até bastante complexas, como antocianinas e flavonoides (TOLRA et al., 2005).

Plantas afetadas pelo Al apresentam sintomas de deficiência de fósforo, Cálcio, magnésio, potássio e molibdênio (P, Ca, Mg, K e Mo), em decorrência da interferência do Al nos processos de absorção, transporte e uso destes nutrientes. Além disso, níveis tóxicos de alumínio afetam a divisão e expansão celular e causam desorganização da membrana plasmática, que, conseqüentemente, inibe a absorção de

íons. Alguns destes efeitos são visualizados pelo menor crescimento e engrossamento do sistema radicular (FREITAS et al., 2006 e KOCHIAN et al., 1992), resultando em menor volume de solo explorado pelas raízes, prejudicando a absorção de água e nutrientes.

Entretanto, algumas espécies nativas do cerrado vêm mostrando tolerância ao Al, explicada por dois principais mecanismos. No primeiro mecanismo, denominado mecanismo de exclusão, as plantas liberam em suas raízes ácidos orgânicos como malato, citrato e oxalato, formando complexos estáveis (quelatos), impedindo que o alumínio chegue aos sítios de toxicidade. Isto impede a absorção, evitando a interação com componentes celulares ou até a penetração no simplasto radicular. O segundo é conhecido como mecanismo interno ou de reparo e possibilita a penetração do elemento na célula, tendo sua ação fitotóxica neutralizada por enzimas ou ainda isolada no interior do vacúolo, local onde ocorre a complexação dos cátions (MARIANO et al., 2005; FERNANDES, 2006).

Ainda não existem estudos específicos sobre as características fisiológicas responsáveis pela tolerância à toxidez de alumínio, de forma que suas características não foram esclarecidas, podendo variar entre espécies e cultivares. Obviamente, plantas tolerantes devem ser capazes de prevenir a absorção de alumínio ou de complexá-lo após sua absorção (PARENTONI et al., 2001).

A toxicidade do alumínio é um tópico de pesquisa importante, pois muitas espécies cultivadas são suscetíveis a solos ácidos, e seu crescimento e produção são prejudicados pelos altos níveis de Al disponíveis no solo. No entanto, pouca atenção tem sido dada às comunidades de espécies nativas que toleram condições de solo ácido, sobre grandes áreas em diferentes biomas (HARTWIG et al., 2007).

Entre as diversas espécies nativas do cerrado, podem ser citadas *Hancornia speciosa* (Mangaba), pertencente à família Apocynaceae, e *Eugenia dysenterica* (DC) (Cagaita), pertencente à família Myrtaceae, típicas de solos arenosos, ácidos e pobres em nutrientes. Elas são encontradas na ampla vegetação do bioma do Cerrado, principalmente nas regiões Norte, Sudeste e Centro-Oeste e na região dos Tabuleiros Costeiros e da Baixada Litorânea (VIEIRA NETO et al., 2009). Apresentam frutos aromáticos, saborosos e nutritivos, com ampla aceitação no mercado para o consumo *in natura* ou empregados na fabricação de doces, geleias, sorvetes, sucos e licores (SILVA et al., 2001). Estas espécies fornecem cortiça e madeira para a construção civil e têm aproveitamento ornamental (SILVA et al., 2001; ALMEIDA et al., 1998).

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1. Espécies estudadas

2.1.1. *Eugenia dysenterica* DC (Cagaita)

Nativa do Cerrado brasileiro, a cagaita (*Eugenia dysenterica*), espécie frutífera, pertencente à classe das Magnoliopsida, ordem Myrtales, família Myrtaceae, pode ser encontrada em quase todo o domínio Cerrado, principalmente em sua área central. Apresenta comportamento bem peculiar quanto à ocorrência, pois aparece com alta frequência em algumas regiões, formando aglomerações. As cagaiteiras podem atingir mais de 10 m de altura, embora a maioria apresente porte entre 4 e 8 m. Suas folhas são decíduas e seu tronco é sulcado, com forte presença de cortiça. Apresenta grande adaptação a ambientes de solos pobres em nutrientes, com elevada acidez, presença de alumínio tóxico e com grande déficit hídrico em alguns meses do ano (NAVES et al., 2002).

As cagaiteiras têm flores axilares, solitárias ou organizadas em arranjos de três. São hermafroditas e completas, tendo 1,5 a 2 cm de diâmetro, actinomorfas, diclamídeas, tetrâmeras, dialipétalas e dialissépalas, dotadas de pétalas de coloração branca (LORENZI, 2000). Florescem em meados de julho a início de agosto, no meio da estação seca, sendo simultâneo ao surgimento de folhas novas, com coloração cúprea (BRITO et al., 2003).

Os frutos têm formato globoso, bagáceo, cor amarelo-clara, levemente ácidos, epicarpo membranoso, com peso entre 14 a 20 g, comprimento de 3 a 4 cm e diâmetro de 3 a 5 cm, podendo ser consumidos *in natura* e na elaboração de doces, geleias, licores, refrescos, sorvetes e sucos (SILVA, CHAVES e NAVES, 2001; SOUZA et al.,

2002). A cagaita é uma espécie adaptada a solos relativamente pobres em nutrientes, com elevada acidez, típicos do Cerrado (SILVA, 1999).

2.1.2. *Hancornia speciosa* Gomes (Mangaba)

Pertencente à classe das Dicotyledoneae, ordem Gentianales, família Apocynaceae, a espécie *Hancornia speciosa* é a mais importante do gênero como fonte de matéria-prima para a indústria alimentícia. Nativa do Brasil, é encontrada em várias regiões do país, desde os tabuleiros costeiros e baixadas litorâneas do Nordeste, local em que é mais abundante, até os cerrados das regiões Centro-Oeste, Norte e Sudeste, com menor distribuição (SOARES et al., 2001; VIEIRA NETO et al., 2009).

As folhas da mangabeira são opostas, simples, pecioladas, glabras, brilhantes e coriáceas, de formato elíptico (SILVA JÚNIOR e LÉDO, 2006). As flores são hermafroditas, perfumadas, de coloração branca e apresentam um longo e estreito tubo floral, com anteras localizadas na região apical; não são fundidas e são polinizadas por várias espécies de lepidópteros (DARRAULT e SCHLINDWEIN, 2005). O fruto, quando maduro, tem coloração amarelada, com forma do tipo baga, elipsoide ou arredondado. Sua polpa é bastante apreciada, apresentando acidez elevada, doce e com aroma agradável (SOARES et al, 2001). As sementes não podem ser armazenadas, por um longo período, por serem recalcitrantes, devendo ser semeadas até quatro dias após sua extração, pois logo diminuem sua viabilidade ao sofrerem desidratação em torno de 30% (SOARES et al., 2007).

A ampla dispersão desta espécie comprova a eficiência reprodutiva natural e a capacidade de adaptação da espécie a diversos ambientes, em regiões de clima frio no Sul do país e, no Norte, com temperaturas mais elevadas (MARENGO, 2007). Sua capacidade de adaptação é extremamente importante, podendo ocorrer em solos marginais para fins agrícolas, acidentados, pedregosos, arenosos ou areno-argilosos, pobres e ácidos, sujeitos a longos períodos de estiagem. No cerrado, estas frutíferas ocorrem principalmente nas encostas pedregosas, em formações abertas, com padrão de distribuição agregado (AGUIAR FILHO et al., 1998; BUSTAMANTE e OLIVEIRA, 2008).

2.2. Desenvolvimento das plântulas no processo de germinação e emergência

O primeiro estágio de desenvolvimento das plântulas é a germinação das sementes, que é influenciada diretamente pelas condições ambientais. Muitas destas condições estão relacionadas com as propriedades do substrato no qual a semente é disposta (YAMASHITA e GUIMARÃES, 2011).

De acordo com Lorenzi (2002), geralmente a porcentagem de germinação de sementes de mangaba é baixa, e a emergência e o crescimento das plântulas são lentos. Suas sementes têm elevado grau de recalcitrância, perdendo rapidamente o poder germinativo assim que são retiradas dos frutos (SANTOS et al., 2010). Desta forma, para obter, aproximadamente 90% de germinação, as sementes da mangabeira devem ser semeadas imediatamente ou até 48 horas depois de retiradas dos frutos, uma vez que, a partir do terceiro dia, o poder germinativo cai rapidamente (VIEIRA NETO et al., 2007).

A cagaita tem germinação é hipógea, que ocorre entre 23 e 40 dias, com vigoroso desenvolvimento inicial do sistema radicular. Um quilo de sementes contém cerca de 700 a 1600 unidades (DONADIO et al., 2002).

Sementes de cagaita podem apresentar taxa de germinação de até 95% em condições favoráveis, porém são sementes recalcitrantes e, após a colheita, perdem o vigor rapidamente, devendo ser semeada o mais rápido possível. Quando o teor de água das sementes de cagaita é reduzido, elas perdem a viabilidade e o seu percentual de germinação diminui (BORGES et al., 2006).

A toxicidade do alumínio pode reduzir a germinação e a emergência das sementes, exercendo influência decisiva sobre o metabolismo das sementes, pois as membranas celulares se alteram quando expostas a concentrações de alumínio, aumentando sua permeabilidade, culminando com o efluxo dos solutos do interior. Dessa forma, ocorre a peroxidação lipídica, como sendo um dos primeiros efeitos sobre a bicamada. Em decorrência disso, o potencial elétrico da parede é alterado e o alumínio atua degenerando os canais das proteínas de membrana (MACEDO et al., 2011).

2.3. Efeitos do alumínio na absorção de nutrientes

Os efeitos do alumínio na absorção de nutrientes das plantas já são bastante conhecidos. Embora a maior parte da literatura mencione os efeitos do Al no P, Ca, Mg e N (RENGEL, 1990; SANTOS et al., 1999; FORTUNATO e NICOLOSO, 2004), há evidências que outros nutrientes como o Fe e Mo também sejam afetados pela toxidez causada por esse íon (WANG et al., 2006). O Al induz formação de calose nos canais plasmodesmáticos, inibindo fisicamente o transporte simplástico desses nutrientes entre as células (ECHART e CAVALIMOLINA, 2001). Os efeitos do Al na nutrição das plantas variam com a espécie vegetal, a cultivar, as condições experimentais (pH, temperatura, concentrações de cátions e ânions na solução) e as concentrações de Al (WANG et al., 2006). Mesmo que as deficiências minerais induzidas pelo Al não expliquem os efeitos rápidos que são observados em plantas, os exames acurados da influência do Al no metabolismo mineral têm revelado que tais efeitos podem se originar de alterações no metabolismo iônico, sem que eles estejam ligados à indução de deficiência mineral (FORTUNATO e NICOLOSO, 2004).

Todas estas alterações acarretam menor crescimento das raízes, o que é explicado pelos problemas de alongamento e divisão celular. Sendo assim, além de impedir o crescimento do sistema radicular, quando aliado a períodos de veranico, o Al reduz de forma drástica a produtividade dos vegetais em solos ácidos, inviabilizando o cultivo (HARTWIG et al., 2007).

2.4 Tolerância e toxidez do alumínio em plantas do cerrado brasileiro

O cerrado brasileiro tem a segunda maior formação vegetal, perdendo em extensão apenas para a floresta Amazônica, cobrindo cerca de 25% do território nacional, em uma área de dois milhões de quilômetros quadrados. Os solos são bastante diversos, com variações de formação geológica, tendem à acidez, com baixa concentração de minerais utilizados pelas plantas e alta concentração de metais ferrosos e alumínio (ROQUE, 2006).

Os solos em condições de acidez vão apresentar toxidez por alumínio quando os valores de pH forem iguais ou inferiores a 5,0, em que a forma trivalente Al^{+3} ,

considerada a mais tóxica, torna-se solúvel, podendo causar inibição do crescimento e alterações negativas no metabolismo das plantas (ALVES et al., 2004).

O alumínio é geralmente abundante nos solos do cerrado, sendo tóxico para muitas espécies de vegetais, por afetar diretamente o crescimento radicular e inibir indiretamente a retirada de cálcio e fósforo do solo. No entanto, muitas espécies, pertencentes a diversas famílias, se tornaram tolerantes a esse composto, conseguindo se estabelecer e sobreviver em solos com grandes concentrações de Al (FURLEY e RATTER, 1988; MOSSOR- PIETRASZEWSKA, 2001)

Diversas espécies nativas do cerrado apresentam mecanismos para contornar os efeitos tóxicos deste elemento, entre os quais, estão os mecanismos apoplásticos, que exercem função de exclusão do alumínio pela exsudação de ácidos orgânicos externamente à célula, e mecanismos simplásticos, que permitem acumulação e detoxificação do alumínio no interior da célula (ITAMAR, 2005).

Muitas dessas espécies são tolerantes aos efeitos tóxicos do alumínio, conseguindo desenvolver características próprias, tornando-as resistentes a concentrações mais elevadas deste metal, podendo se estabelecer e sobreviver em solos mais acidificados (FURLEY e RATTER, 1988). Como exemplo de plantas resistentes a altas concentrações de alumínio no solo, podem citadas: *Qualea multiflora*, pau terra liso; *Qualea grandiflora*, pau terra; *Vochysia thyrsoidea*, açoita cavalo; e *Salvertia convallariaeodora*, colher de vaqueiro (HARIDASAN, 1982). Algumas dessas espécies detêm a capacidade de elevar o pH ao redor do ápice radicular mediante influxo de íons H^+ . Desta forma, com a elevação do pH ao redor da raiz, o efeito tóxico do Al seria reduzido (DODGE e HIATT, 1992). Algumas ainda chegaram ao ponto de serem alumínio-dependentes, como as plantas da família Vochysiaceae, que sobrevivem apenas em solos com presença desse metal (FURLEY e RATTER, 1988)

De acordo com Lopes (2010), os mecanismos de tolerância estão relacionados às diferenças na estrutura e no funcionamento das membranas celulares, na remoção de íons do metabolismo por armazenamento em formas fixas ou insolúveis em vários órgãos e organelas e alteração em padrões metabólicos, entre outros.

O potencial de tolerância das espécies é caracterizado segundo a capacidade relativa em absorver, translocar e concentrar os metais na planta, pois estas espécies são consideradas acumuladoras, indicadoras ou excludoras de acordo com a presença dos metais nas raízes e folhas (MARQUES et al., 2000).

A redução do crescimento radicular é normalmente apresentada em genótipos sensíveis ao alumínio, acontecendo entre 30 minutos e 2 horas após a exposição em solução (BARCELO e POSCHENRIEDER, 2002). Esses efeitos foram verificados por Mendonça et al. (1999), quando avaliaram o comportamento do maracujazeiro em solução nutritiva com diferentes concentrações de alumínio e observaram que os tecidos da região do ápice radicular acumularam mais Al que os tecidos diferenciados, sítio primário da ação inibitória do Al no crescimento radicular.

Segundo Sivaguru et al. (2000), o aumento dos níveis de Ca^{2+} citosólico, resultante da presença do Al, pode afetar diretamente processos metabólicos que dependem desse cátion, como, por exemplo, na regulação da divisão e alongamento celular. Além disso, o aumento do Ca^{2+} citosólico é condição para síntese de calose; e o aumento das concentrações de calose na célula pode acarretar fechamento dos plasmodesmas, o que afetaria a comunicação entre as células.

Para espécies sensíveis, o Al induz enrijecimento da parede celular. A expansão da parede requer tanto afrouxamento da parede como síntese de novos componentes da matriz. A ligação do Al a componentes recém-formados da matriz durante o processo de alongamento pode diminuir as propriedades mecânicas da parede, dificultando o alongamento celular (BARCELO et al., 1996; MA et al., 2004; JONES et al., 2006).

O estudo de plantas tolerantes a várias concentrações de alumínio é considerado a melhor alternativa no aumento da produção agrícola em solos ácidos, com concentrações altas deste cátion (SANCHEZ-CHACÓN et al., 2002; ECHART; CAVALLI-MOLINA, 2001). Estratégias de tolerância ao alumínio são indispensáveis em programas de melhoramento genético que têm como objetivo selecionar plantas mais produtivas que apresentam maior adaptabilidade em condições de estresse, podendo amenizar problemas de produtividade em solos ácidos, ocasionados por altos níveis de Al (FREITAS et al., 2006).

Sistemas hidropônicos, por terem suas condições controladas, são altamente eficientes na avaliação de progênies resistentes e tolerantes ao Al, proporcionando vantagens como o pronto acesso ao sistema radicular, monitoramento do pH e das concentrações de alumínio, apresentando maior rapidez e menor custo operacional nas avaliações experimentais. Os resultados em solução nutritiva ainda podem ser correlacionados aos estudos de campo (PATERNIANI e FURLANI 2002; FERNANDES, 2006).

3.OBJETIVO

3.1. Objetivo geral

Avaliar o efeito do alumínio na germinação, emergência, crescimento radicular, estrutura anatômica da raiz e absorção de minerais em *Eugenia dysenterica* (Cagaita) e *Hancornia speciosa* (Mangaba) sob condições de estresse com alumínio, na fase de plântulas, cultivadas em solução nutritiva completa e simples.

3.2. Objetivos específicos

Analisar os efeitos do alumínio no processo de germinação e emergência de plântulas;

Avaliar o crescimento radicular;

Examinar os sintomas visuais de deficiência nutricional;

Avaliar o efeito do alumínio na absorção de elementos minerais e

Verificar as alterações na estrutura anatômica das raízes sob condições de estresse com alumínio.

4. MATERIAL E MÉTODOS

Os experimentos foram conduzidos na casa de vegetação do laboratório de Cultura de Tecidos Vegetais, laboratório de anatomia vegetal e laboratório de sementes do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano (IFGoiano/Campus Rio Verde).

Os frutos de cagaita e mangaba foram coletados na fazenda Gameleira, localizada no município de Montes Claros, Goiás, cujas coordenadas geográficas são 16° 06'20" S – 51° 17' 11" W a 592 m de altitude.

4.1. Germinação e emergência da cagaita e mangaba cultivadas em papel germitest e substrato areia com diferentes concentrações de alumínio.

Sementes de cagaita e mangaba foram imersas em fungicida Vitavax Tiran® a 30% e, posteriormente, colocadas sobre papel toalha para retirar o excesso de produto, conforme as recomendações do fabricante.

Para avaliar o efeito do alumínio, foram adotadas as concentrações de 0, 150, 300, 600 e 1200 μM de alumínio, na forma de sulfato de alumínio ($\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 18\text{H}_2\text{O}$), em solução simples (JACOB NETO, 1993) constituída de 0,1 mM de Ca. L^{-1} , na forma de $\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$. O pH da solução foi ajustado para 4,0 a 4,15 com uso de solução de 1 M de HCl e 0,1 M de NaOH.

Para a germinação, a semeadura foi feita em papel germitest umedecido com solução simples e as cinco concentrações de alumínio, na quantidade de 2,5 vezes o peso seco do papel, tendo sido utilizadas três folhas do papel como substrato, onde se fez uma semeadura uniforme. Para o teste, foram utilizadas quatro repetições por tratamento, cada repetição composta por 25 sementes para cada espécie. Em seguida,

foram colocadas em germinador a 25° C. A avaliação da germinação das sementes foi feita diariamente até sua estabilização.

A metodologia empregada para o teste de germinação seguiu as regras para a análise de sementes (RAS) de Brasil (2009).

Após a instalação do experimento, foram feitas contagens de sementes germinadas diariamente. No final do experimento, foram realizadas avaliações de plântulas normais e anormais, a mensuração das raízes, do diâmetro do caule, da porcentagem de germinação e do IVG (Índice de Velocidade de Germinação).

Para plântulas normais, foram avaliadas as seguintes características: apresentar todas as suas estruturas intactas; raiz primária longa, com mínimo de 3 cm e formação de raízes secundárias; comprimento das plântulas igual ou superior a cinco centímetros; hipocótilo e epicótilo alongados; presença dos dois cotilédones; e presença da gema apical.

Para as plântulas anormais, foram avaliados os seguintes tipos de deformação: plântulas que tivessem qualquer uma das estruturas ausentes; sinais de deterioração provocados por microrganismos; atrofiamento ou qualquer outro tipo de dano aparente da raiz primária; epicótilo e hipocótilo ausentes ou que apresentassem qualquer anormalidade; cotilédones ausentes ou deformados; e cotilédones e folhas primárias ausentes, necrosadas ou danificadas. O índice de velocidade de germinação (IVG) foi calculado de acordo com a fórmula de Maguire (1962). $IVG = G1/N1 + G2/N2 + Gn/Nn$, em que G1, G2, Gn é o número de plântulas germinadas da primeira, segunda até a última contagem e N1, N2, Nn é o número de dias do primeiro até a última contagem.

Emergência: a emergência foi feita em bandejas plásticas contendo areia lavada como substrato. Para o teste, foram utilizadas quatro repetições de 25 sementes, por tratamento, para cada espécie. As sementes de cada repetição foram semeadas a 1 cm de profundidade e 2 cm de distância. O índice de velocidade de emergência (IVE) foi calculado diariamente a partir do segundo dia até sua estabilização, utilizando a fórmula de Maguire (1962). Após a estabilização da emergência das plântulas, foram feitas avaliações do comprimento da raiz. Para considerar as plantas jovens como normais, elas estavam com todas as estruturas intactas, com comprimento mínimo de 5 cm, cotilédones inteiros totalmente expandidos (verdes) e formação de pelo menos um par de folhas. As plantas que apresentaram ausência de raízes secundárias e gema apical seccionada foram consideradas anormais.

4.2. Crescimento de plântulas em cultivo hidropônico em solução nutritiva completa e simples com diferentes concentrações de alumínio.

As sementes de mangaba e cagaita foram tratadas conforme descrito anteriormente

A semeadura ocorreu em canteiros, usando areia lavada como substrato. Após o período de emergência de 10 dias para mangaba e de 18 dias para cagaita e padronização do tamanho das plântulas (40 dias), as sementes foram fixadas com algodão em tampas plásticas e colocadas em vasos com 3 litros de solução, Figura 1, preparados de acordo com a metodologia proposta por Jacob Neto (1993). Para solução nutritiva completa, foram utilizados 0,5 mM de N (NH_4NO_3); 0,2 mM de ($\text{CaCl}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$); 0,2 mM de Mg ($\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$); 0,5 mM de K (K_2SO_4); 0,1 mM de P ($\text{NaH}_2\text{PO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$); 10 μM de Fe (FeNa) EDTA; 0,4 μM de Mn ($\text{MnSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$); 0,16 μM de Zn forma ZnSO_4 ; 0,04 μM de Cu forma CuSO_4 ; 0,5 μM de Mo (MoO_3); 0,04 μM de Co ($\text{CoSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$). Para o experimento com solução simples, foram utilizados 0,1 mM de Ca na forma de $\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ e cinco concentrações de Al na forma de $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 18\text{H}_2\text{O}$.

Para o estudo da tolerância ao alumínio, foram utilizadas as concentrações de 0, 150, 300, 600 e 1200 μM de alumínio, na forma de sulfato de alumínio ($\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 18\text{H}_2\text{O}$). O pH da solução foi ajustado para 4,0 a 4,15 com uso de solução de 0,1 M de HCl e 0,1 M de NaOH.

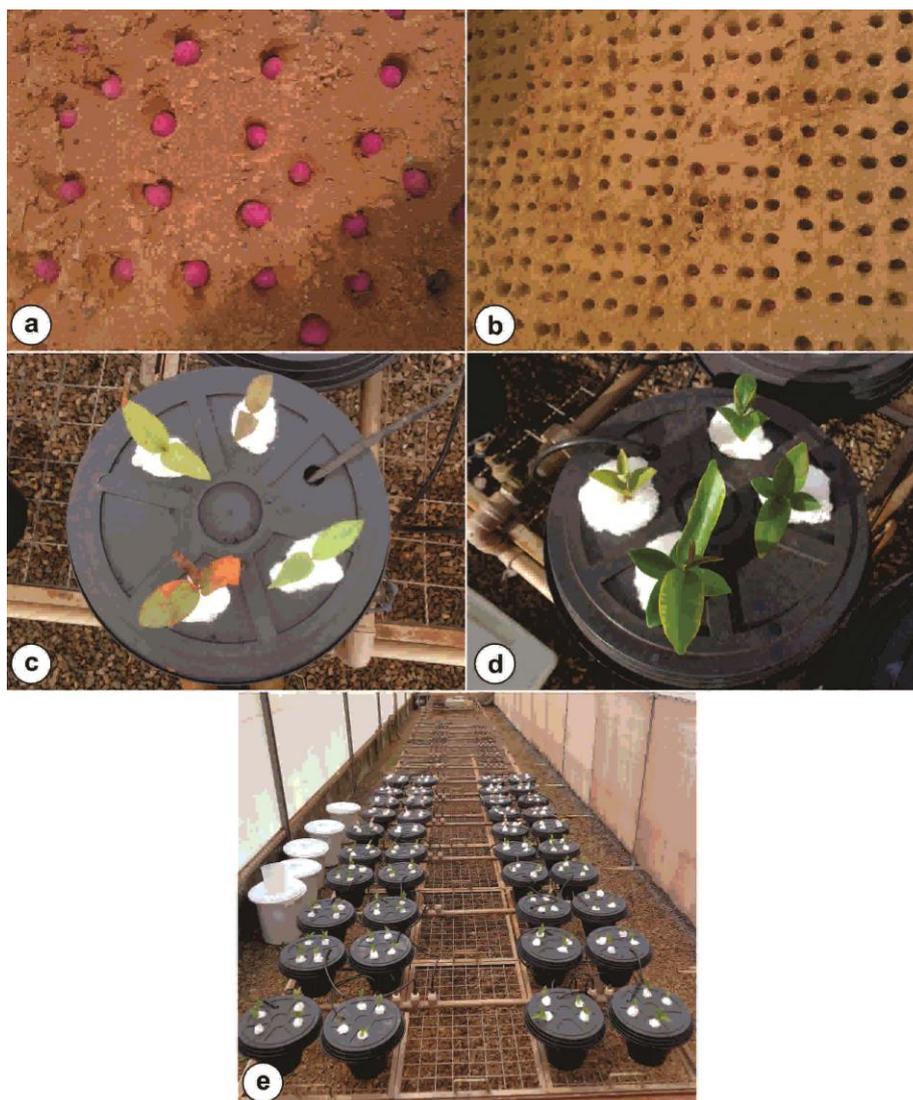


Figura 1. Emergência e instalação do sistema hidropônico para avaliação do crescimento radicular em solução nutritiva completa e simples das plântulas de *Eugenia dysenterica* (cagaita) e *Hancornia speciosa* (mangaba). A – semeadura da cagaita; B – semeadura da mangaba; C – cagaita fixada com algodão nos vasos de 3 litros; D – mangaba fixada com algodão em vasos de 3 litros; E – Sistema hidropônico instalado com 5 tratamentos, 4 repetições e 2 espécies.

Antes da imersão das raízes em solução, foi avaliado o comprimento da raiz principal e verificados a presença e o estágio visual das folhas (cotiledonares e as emitidas até este período). Após a transferência para a solução nutritiva, seguiram-se as mesmas avaliações, acrescidas da taxa de crescimento radicular e alongação radicular relativa (ERR%), calculada de acordo com a equação proposta por Vasconcelos et al. (2002), e da massa seca da parte aérea e da raiz.

Parâmetros Avaliados:

- Taxa de crescimento radicular (TCR), pela equação $TCR = ((Cf/Ci) * 100) - 100$.

Cf. – comprimento radicular final;

Ci - comprimento radicular inicial;

- Elongação radicular relativa: (ERR%) calculada de acordo com a equação proposta por Vasconcelos et al. (2002).

$$\text{ERR} = \frac{(\text{CfAl}_x - \text{CiAl}_x)}{(\text{CfAl}_0 - \text{CiAl}_0)} \times 100$$

Em que:

ERR: elongação radicular relativa

CiAl_x: comprimento radicular inicial medido antes da exposição à solução nutritiva no nível de “x” de Al;

CfAl_x: comprimento radicular final medido após n dias de exposição à solução nutritiva no nível “x” de Al;

CiAl₀: Comprimento radicular inicial antes da exposição à solução sem Al; e

CfAl₀: Comprimento radicular final medido após n dias de exposição à solução nutritiva sem Al.

O delineamento experimental utilizado foi o inteiramente casualizado, com 4 repetições por tratamento, sendo cada repetição composta por 4 plantas por vaso para cada espécie, totalizando 40 unidades experimentais, 20 para cada espécie.

A partir da instalação do experimento, as raízes das plântulas foram mantidas em solução nutritiva completa, medidas a cada 02 dias, durante 37 dias. A solução nutritiva foi trocada a cada três dias e aerada constantemente através de um compressor.

Todos os dados foram submetidos à análise de variância pelo teste F e análise de regressão.

4.3. Análise dos aspectos morfológicos das raízes e folhas

A presença e o estágio de desenvolvimento das folhas (cotiledonares e emitidas) foram verificados durante todo experimento. Os sintomas de toxidez e os sinais de deficiência nutricional também foram avaliados.

Todos os dados foram submetidos à análise de variância pelo teste F e análise de regressão.

4.4. Teor de macro e micronutrientes em cagaita e mangaba cultivadas em solução nutritiva completa.

Para determinação dos teores de macronutrientes e micronutrientes nas folhas, caules e raízes de *Eugenia dysenterica* e *Hancornia speciosa*, as amostras foram acondicionadas em sacos de papel Kraft e transferidas para estufa de circulação forçada a uma temperatura de 60 °C até atingir peso seco constante. Posteriormente, as amostras foram pesadas e trituradas em moinho Willey, com peneira de 20 meshes, armazenadas em frascos de vidro e encaminhadas ao Laboratório Terra – Análises para Agropecuária, localizado no município de Goiânia – GO.

Foram analisados os seguintes elementos: nitrogênio (N), fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg), enxofre (S), cobre (Cu), ferro (Fe), manganês (Mn), zinco (Zn), conforme metodologia proposta pela Embrapa (1999).

Todos os dados foram submetidos à análise de variância pelo teste F e análise de regressão.

4.5. Anatomia dos ápices radiculares de *Eugenia dysenterica* e *Hancornia speciosa* mantidas em solução nutritiva completa e simples.

Foram avaliados os efeitos do alumínio na estrutura anatômica dos ápices radiculares de *Eugenia dysenterica* e *Hancornia speciosa*, cultivadas em solução nutritiva completa e simples com diferentes concentrações de Al. Amostras de 0,3 cm dos ápices radiculares foram coletadas com auxílio de uma navalha descartável, de uma plântula por vaso, após 37 dias de cultivo hidropônico, e fixadas em solução de Karnovsky, (KARNOVSKY, 1965), por 24 horas, desidratadas em série etílica crescente, pré-infiltradas e infiltradas em historesina (Historesin Leica), de acordo com as recomendações do fabricante.

Os ápices radiculares foram seccionados longitudinalmente a 5 µm de espessura, em micrótomo rotativo (Modelo 1508R). Posteriormente, os cortes foram corados com azul de toluidina – coloração policromática, a 0,05% em tampão fosfato 0,1 M, pH 6,8 (O'BRIEN, FEDER e MCCULLY, 1964), para a análise estrutural e micromorfométricas.

Os dados foram obtidos com auxílio do software ImageJ – Image Processing and Analysis in Java, versão 1.47, perfazendo um total de 4 observações/repetição.

As imagens foram obtidas em microscópio da marca Olympus, modelo BX61, com câmera DP-72. Posteriormente, as imagens foram descritas e submetidas a mensuração do diâmetro apical da raiz.

Para avaliar a localização de alumínio nos ápices radiculares das plântulas de *Eugenia dysenterica* e *Hancornia speciosa*, foi utilizado MORIN (ETICHA et al., 2005). Foi também empregado 4',6 – diamidino-2-phenylindole (DAPI) $1 \mu\text{g mL}^{-1}$ por 20 minutos, um fluorocromo que se liga fortemente a regiões ricas em DNA, a fim de avaliar o efeito do alumínio no DNA das células meristemáticas.

As observações foram feitas no microscópio de fluorescência Olympus, modelo BX61, com câmera DP-72. Para análise de fluorescência, utilizou-se cubo de excitação UV (DAPI) 330-385.

Os dados foram submetidos à análise de variância pelo teste F e análise de regressão.

5. RESULTADOS

5.1 Germinação e emergência da cagaita e mangaba cultivadas em papel germitest e substrato areia com diferentes concentrações de alumínio.

5.1.1. Germinação Cagaita

Para o comprimento da raiz de cagaita, o modelo de regressão cúbico foi o que melhor se ajustou aos resultados (Figura 2). O comprimento da raiz não apresentou um padrão de crescimento. Nas concentrações de 150 e 1200 μM de Al, houve decréscimo de 22,83 e 15,27%, quando comparado ao controle, mostrando que, com a utilização do método do papel-solução, essas concentrações de alumínio afetam o desenvolvimento da raiz primária de plântulas de cagaita.

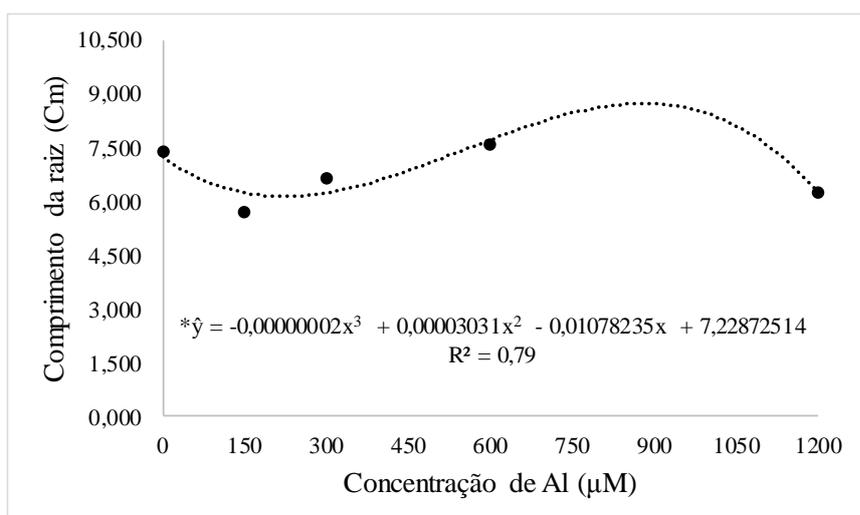


Figura 2. Análise de regressão do comprimento da raiz de plântulas de cagaita (*Eugenia dysenterica* DC.), germinadas em substrato com solução simples com diferentes concentrações de alumínio. *Significativo ao nível de 5% de probabilidade. CV (%) = 10,72.

Os efeitos do alumínio para diâmetro da raiz, plântulas normais e anormais, percentual de plântulas germinadas e índice de velocidade de germinação não mostraram diferenças entre os tratamentos.

5.1.2 Emergência cagaita

No comprimento da raiz, o efeito do Al nas doses de 150, 300, 600 e 1200 μM foi altamente favorável para o desenvolvimento radicular, visto que todas as doses apresentaram média de crescimento superior ao controle, chegando a 14,26% a mais que a doses sem Al (Figura 3).

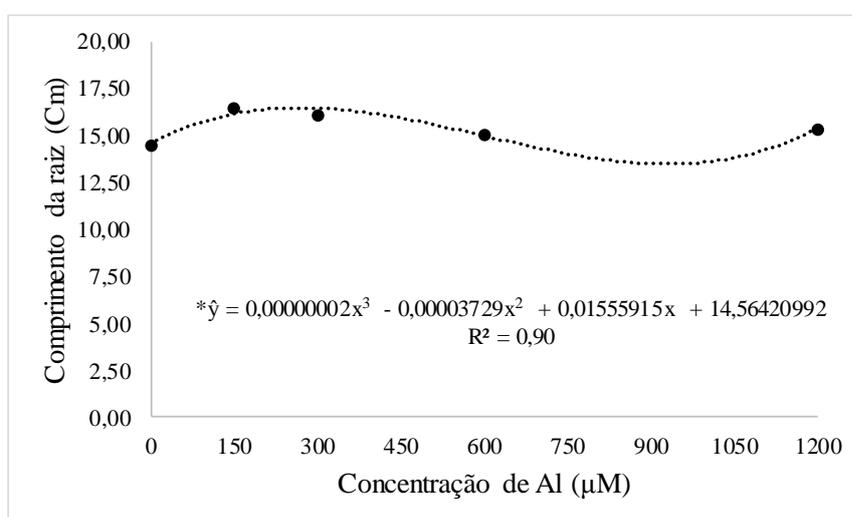


Figura 3. Análise de regressão do comprimento da raiz, de plântulas de cagaita (*Eugenia dysenterica* DC.), emergidas de substrato com solução simples com diferentes concentrações de alumínio. *Significativo ao nível de 5% de probabilidade. CV (%) = 6,65.

Para diâmetro da raiz de cagaita, ocorreu ajuste quadrático de 1,08 inicialmente, no nível zero, com acréscimo de 0,03; 0,01 e 0,10 para as doses de 150, 300 e 600 μM de Al; já para a dose de 1200 μM de Al, houve decréscimo de 2,77% (Figura 4). Os tratamentos apresentaram efeito estimulante no desenvolvimento da raiz, e apenas a dose de 1200 μM de Al mostrou efeito tóxico para diâmetro do sistema radicular.

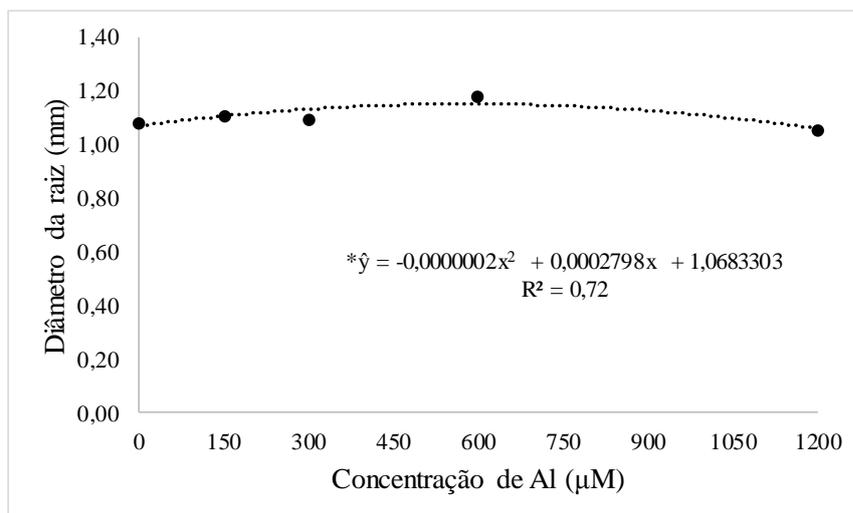


Figura 4. Análise de regressão do diâmetro da raiz (mm), de plântulas de cagaita (*Eugenia dysenterica* DC.), emergidas de substrato com solução simples, com diferentes concentrações de alumínio. *Significativo ao nível de 5% de probabilidade. CV (%) = 4,26.

Para os aspectos visuais das plântulas de cagaita, um dos principais efeitos do Al foi a estimulação do crescimento radicular com o maior desenvolvimento das raízes secundárias, principalmente nas doses de 150 e 600 µM de Al; já para os demais tratamentos, as raízes primárias e secundárias ficaram curtas e grossas, com coloração bastante escura (Figura 5).

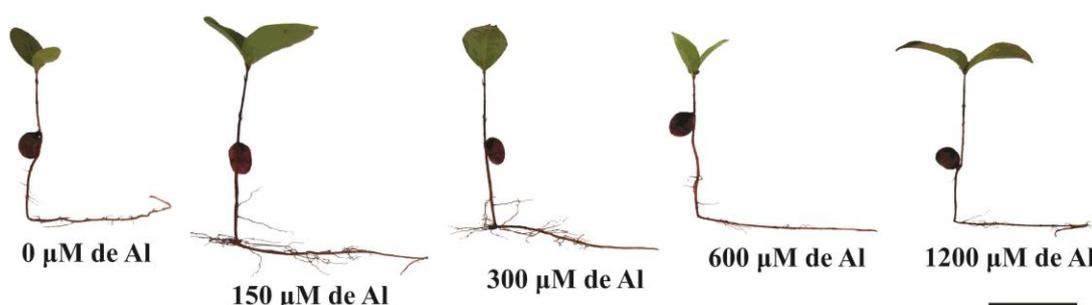


Figura 5 Aspecto visual das plântulas de cagaita (*Eugenia dysenterica* DC.), crescidas em substrato areia com aplicação de diferentes concentrações de alumínio. Barra de escala: 5cm.

Os resultados de plântulas normais e anormais, percentual de emergência e índice de velocidade de emergência não mostraram diferenças entre os tratamentos.

5.1.3 Germinação mangaba

Para comprimento de raiz, observou-se que as taxas de crescimento decaíram conforme o aumento das doses de alumínio, diferentemente dos demais tratamentos: concentração de 300 µM de Al apresentou crescimento de 2,52%, quando comparado ao

controle (sem Al). As demais concentrações, como a de 1200 μM de Al, mostraram efeito fitotóxico no crescimento da raiz, com decréscimo de 34% (Figura 6).

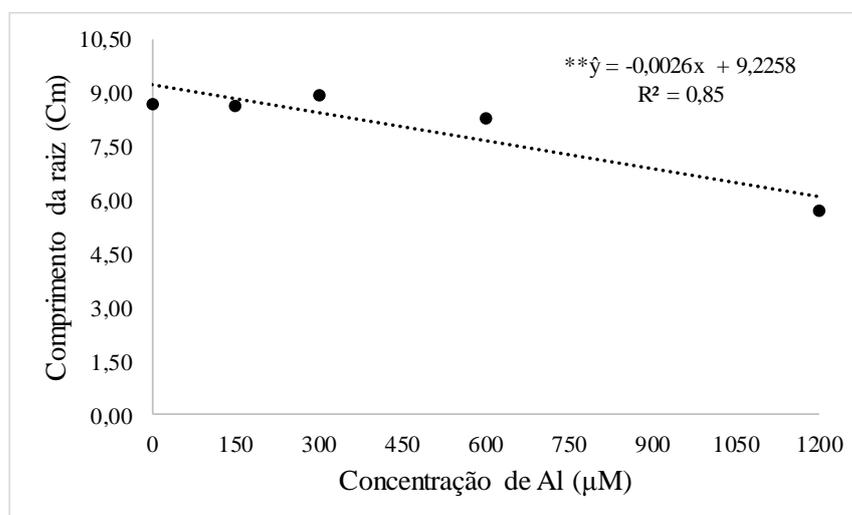


Figura 6: Análise de regressão do comprimento da raiz (cm) de plântulas de mangaba (*Hancornia speciosa* Gomes), germinadas de substrato com solução simples com diferentes concentrações de alumínio. **Significativo ao nível de 1% de probabilidade. CV (%) = 8,55.

Plântulas de mangaba cultivadas em solução simples apresentaram decréscimo contínuo no diâmetro da raiz, conforme aumento das concentrações de alumínio (Figura 7). O tratamento de 1200 μM de Al apresentou maior toxidez, com redução de 6,01% no diâmetro da raiz, quando comparado ao controle. Para o tratamento com 300 μM de Al, observou-se decréscimo de apenas 0,93%, quando comparado ao controle.

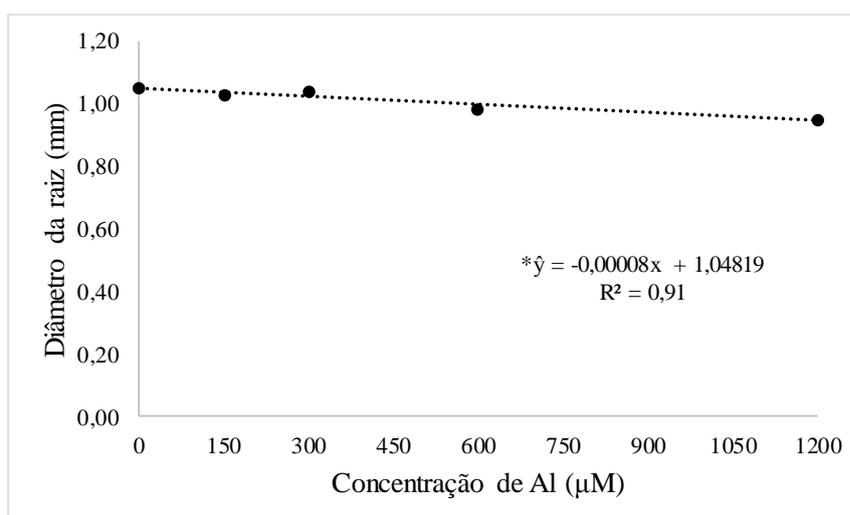


Figura 7: Análise de regressão do diâmetro da raiz (mm) de plântulas de mangaba (*Hancornia speciosa* Gomes), germinadas em substrato com solução simples com diferentes concentrações de alumínio. *Significativo ao nível de 5% de probabilidade. CV (%) = 6,14.

Para a avaliação de plântulas normais e anormais, porcentagem de germinação e índice de velocidade de germinação os tratamentos não demonstraram diferenças entre si.

5.1.4 Emergência mangaba

Para o comprimento da raiz, o modelo de regressão que melhor se adequou aos resultados foi o cúbico. Os tratamentos nas doses de 150 e 600 μM de Al mostraram os maiores comprimentos de raiz, cerca de 10,61 e 20,11% a mais que o controle (Figura 8). Para os demais tratamentos, as médias foram inferiores ao controle, decaindo conforme o aumento das doses de alumínio.

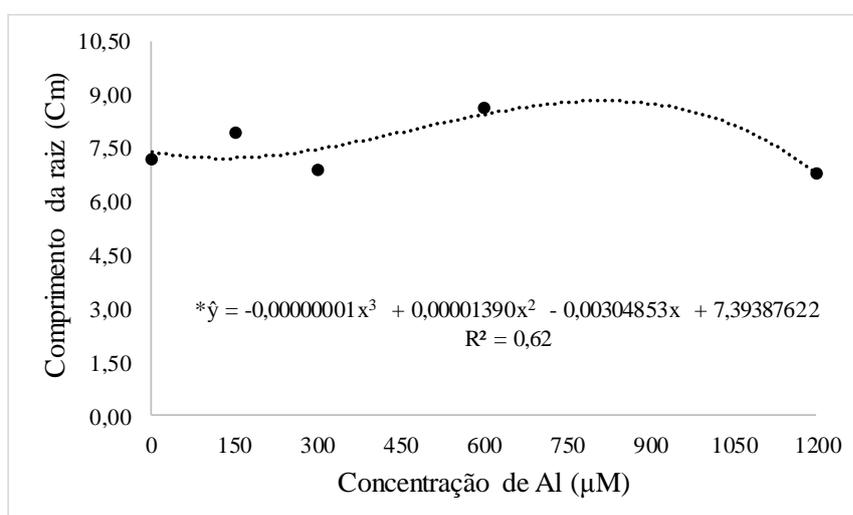


Figura 8: Análise de regressão do comprimento da raiz (cm) de plântulas de mangaba (*Hancornia speciosa* Gomes), emergidas de substrato com solução simples com diferentes concentrações de alumínio. **Significativo ao nível de 5% de probabilidade. CV (%) = 5,82.

Plântulas cultivadas em substrato sem Al apresentaram maior diâmetro da raiz 1,73 mm, enquanto as menores médias foram observadas nos tratamentos com 600 e 1200 μM de Al, com decréscimo de 18,49 e 3,87%, respectivamente (Figura 9). Na análise de regressão, o modelo que melhor se ajustou à distribuição dos dados foi o quadrático.

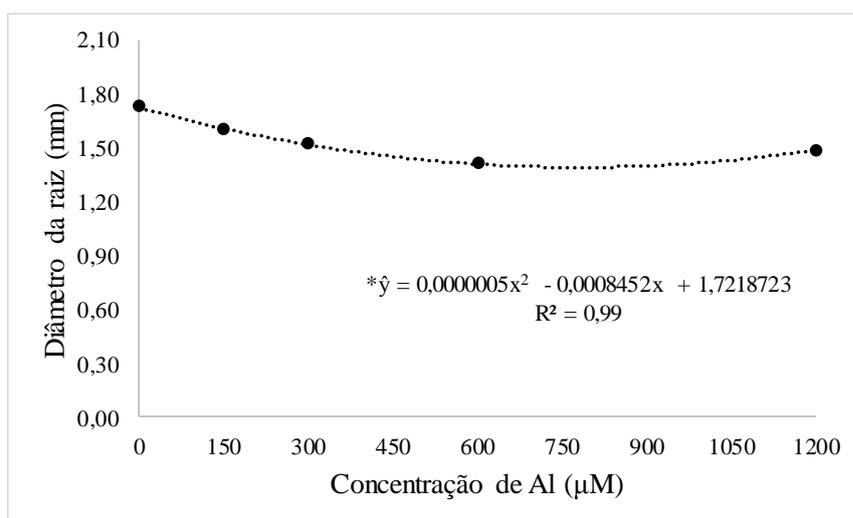


Figura 9: Análise de regressão do diâmetro da raiz (mm) de plântulas de mangaba (*Hancornia speciosa* Gomes), emergidas de substrato com solução simples com diferentes concentrações de alumínio. *Significativo ao nível de 5% de probabilidade. CV (%) = 5,17.

As análises visuais mostraram diminuição no volume das raízes de mangaba decorrente da menor produção de raízes secundárias, em função do aumento da atividade de Al (Figura 10). Foram notados também decréscimo no comprimento da raiz seminal e amarelecimento nas folhas, principalmente na dose de 1200 µM de Al.

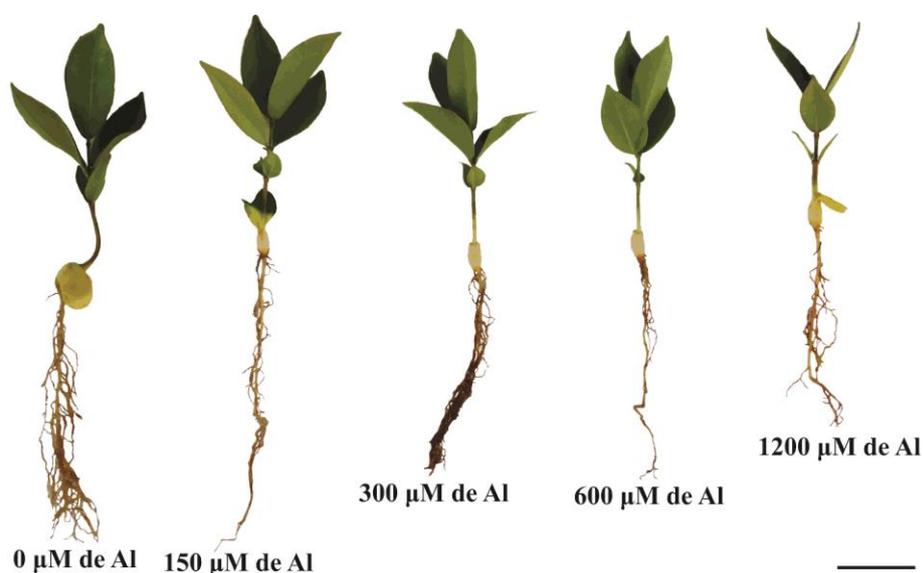


Figura 10. Aspecto visual das plântulas de mangaba (*Hancornia speciosa* Gomes), crescidas em substrato areia, com aplicação de diferentes concentrações de alumínio. Barra de escala 5cm.

As concentrações de alumínio influenciaram o processo de emergência da mangaba, doses acima de 150 µM de Al reduziram significativamente o número de

plântulas normais e, conseqüentemente, aumentaram o índice de plântulas anormais (Figura 11). O modelo de regressão que melhor se ajustou à distribuição dos dados foi o linear.

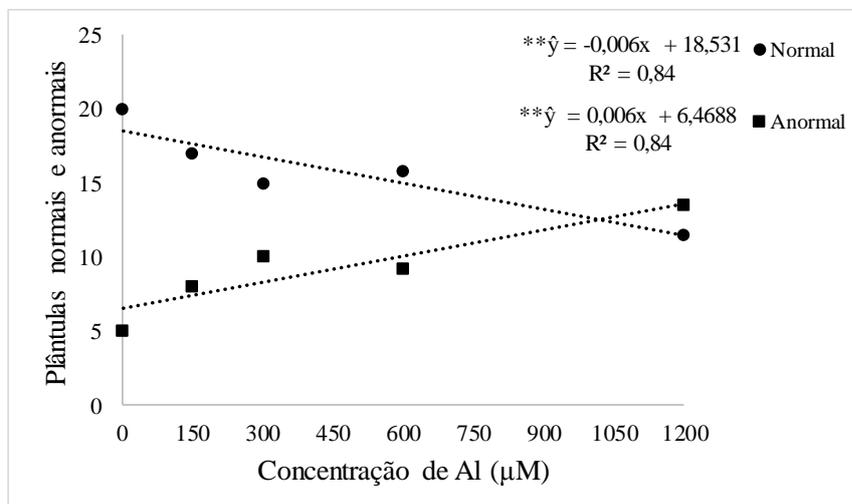


Figura 11 Análise de regressão de plântulas normais e anormais de mangaba (*Hancornia speciosa* Gomes), emergidas de substrato com solução simples, com diferentes concentrações de alumínio. **Significativo ao nível de 1% de probabilidade. CV (%) = 24,58 e CV (%) 42,59.

Os tratamentos com alumínio influenciaram o percentual de emergência da mangaba, doses acima de 150 μM de Al reduziram significativamente o número de plântulas emergidas (Figura 12). O modelo de regressão que melhor se ajustou à distribuição dos dados foi o linear.

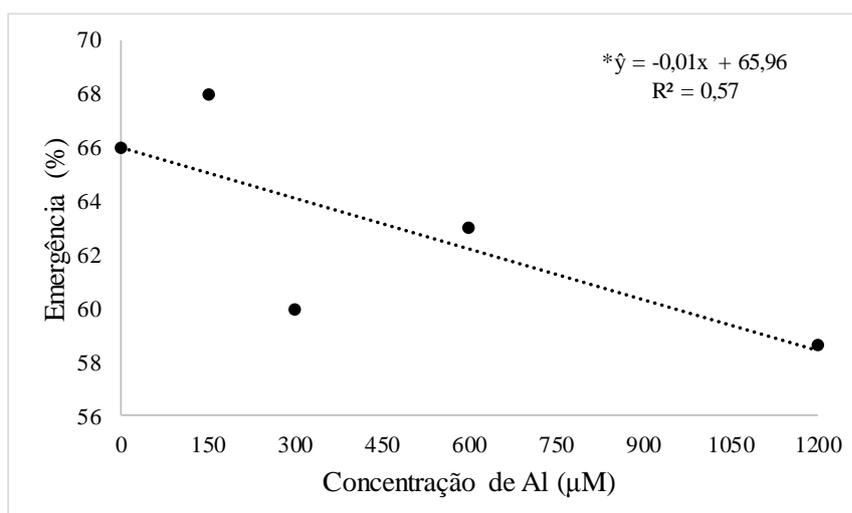


Figura 12. Análise de regressão da porcentagem de emergência de mangaba (*Hancornia speciosa* Gomes), emergidas de substrato com solução simples com diferentes concentrações de alumínio. **Significativo ao nível de 1% de probabilidade. CV (%) = 16,23.

Os tratamentos influenciaram o índice de velocidade de emergência. O aumento das doses apresentou os menores índices, com decréscimo de 41,96% no tratamento de 1200 μM de Al, quando comparado ao controle (Figura 13).

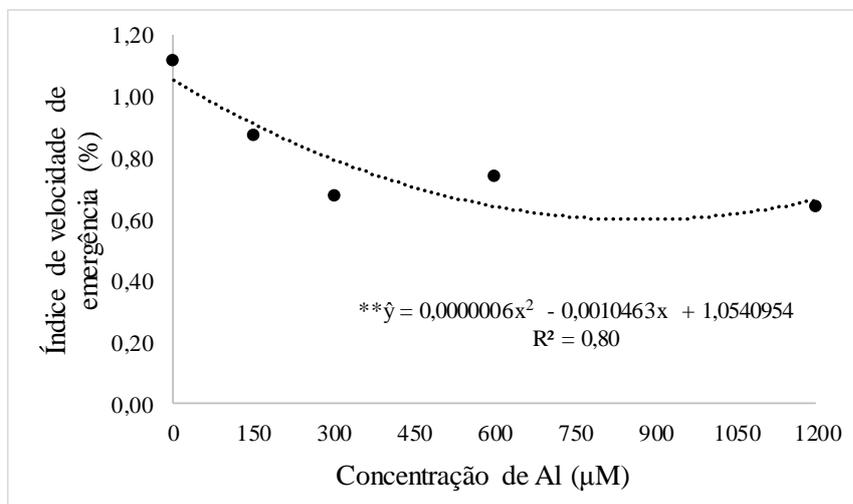


Figura 13 Análise de regressão do índice de velocidade de emergência (IVE) de plântulas de mangaba (*Hancornia speciosa* Gomes), emergidas de substrato com solução simples com diferentes concentrações de alumínio. **Significativo ao nível de 1% de probabilidade. CV (%)= 11,72.

5.2. Crescimento de plântulas em cultivo hidropônico em solução nutritiva completa e simples com diferentes concentrações de alumínio.

5.2.1 Solução nutritiva completa para cagaita

Comparando as taxas de crescimento radicular nos diferentes tratamentos, a equação que melhor se adequou à distribuição dos dados foi o modelo de regressão quadrático, indicando decréscimo no desenvolvimento das plantas com doses de alumínio mais elevadas (Figura 14). A dose de 300 μM de Al permitiu maior sensibilidade da espécie, com média de 17,19%; as demais doses 150, 600 e 1200 μM de Al tiveram maior taxa de crescimento, com médias de 29,40; 20,32 e 21,91%, respectivamente, entretanto, nem uma das doses obteve taxa de crescimento superior ao controle, de 36,81%. O crescimento radicular das plântulas apresentou baixa taxa de desenvolvimento, dando indícios de sensibilidade da espécie aos tratamentos com alumínio estudados neste trabalho.

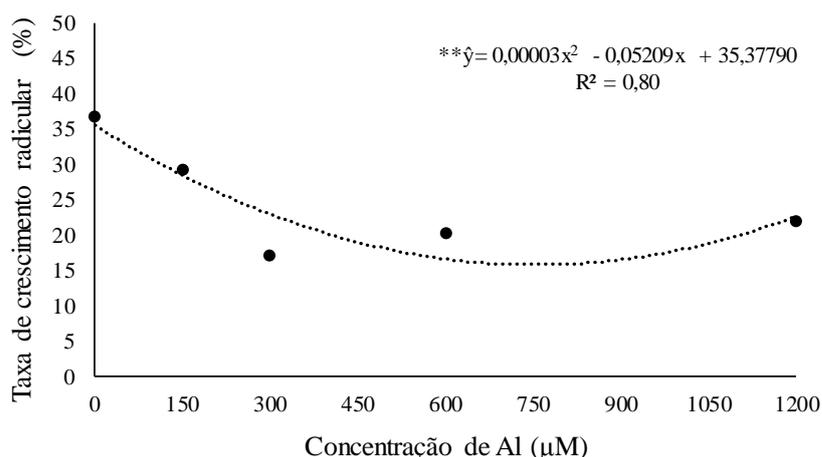


Figura 14. Análise de regressão das taxas de crescimento radicular de plântulas de cagaita (*Eugenia dysenterica* DC.), crescidas em solução nutritiva completa com diferentes concentrações de alumínio. Significativo ao nível de 1% de probabilidade. CV (%) = 13,66.

A Figura 15 mostra o modelo de regressão quadrática relativo ao comprimento médio das raízes de *Eugenia dysenterica* DC. nos diferentes tratamentos com alumínio. A cagaita mostrou maior sensibilidade ao tratamento com 300 µM Al, com média de crescimento de 2,07cm. Os tratamentos 0 e 150 µM de Al apresentaram as maiores médias, 4,35 e 3,62cm, respectivamente. Os resultados observados mostram efeito negativo no desenvolvimento da plântula quando submetida aos tratamentos com alumínio, principalmente, para a dose de 300 µM.

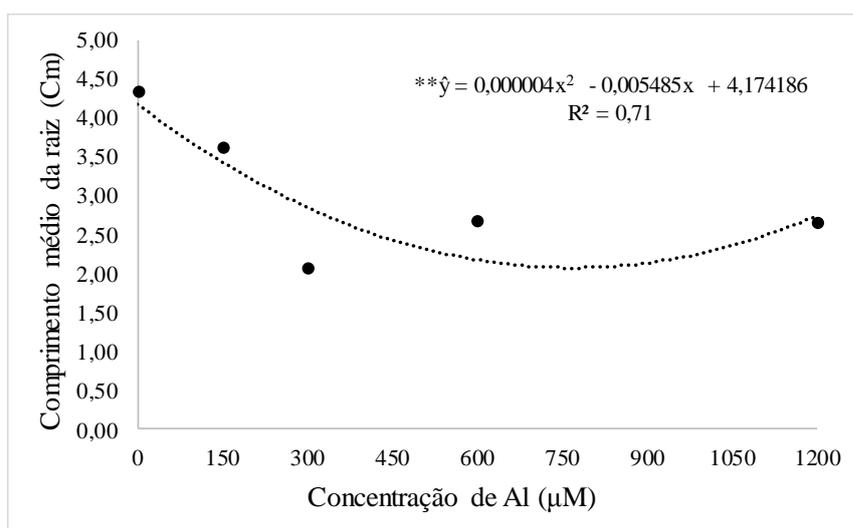


Figura 15. Comprimento médio das raízes (Cm) das plântulas de cagaita (*Eugenia dysenterica* DC.), mantidas em solução nutritiva completa com diferentes concentrações de alumínio. Significativo ao nível de 1% de probabilidade. CV (%) = 9,47.

A elongação radicular relativa (ERR%) mostrou efeitos de toxidez do alumínio pela sua interação com o sistema radicular das plântulas em contato com os tratamentos com alumínio. As doses com 0, 150 e 600 μM de Al obtiveram as maiores médias de porcentagens 100, 74 e 61,54%, respectivamente; por sua vez, os tratamentos de 300 e 1200 μM de Al apresentaram decréscimo no percentual de ERR%, de 48,41 e 58,61%, destacando a sensibilidade dessa espécie a esses tratamentos, conforme revelou a análise de regressão modelo quadrático (Figura 16). Comparando os resultados de elongação radicular relativa com a taxa de crescimento radicular, Figura 14, e o comprimento médio da raiz, Figura 15, observou-se que para os três parâmetros de avaliação o tratamento de 300 e 1200 μM de Al foi o que apresentou a maior sensibilidade, com taxas de desenvolvimento abaixo do controle, portanto, para esta espécie, a fitotoxicidade do alumínio, nas doses de 300 e 1200 μM Al, foi a mais prejudicial para o crescimento da raiz.

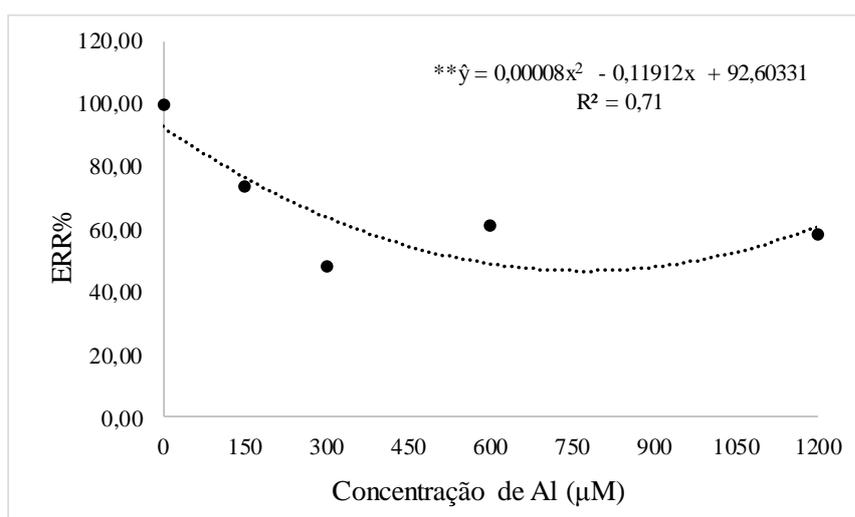


Figura 16. Elongação radicular relativa (ERR %) das plântulas de cagaíta (*Eugenia dysenterica* DC.) em solução nutritiva completa com diferentes concentrações de alumínio. Significativo ao nível de 1% de probabilidade. CV (%) = 6,24.

Quanto ao aspecto visual das plantas de *Eugenia dysenterica*, mantidas em solução nutritiva completa por 37 dias, Figura 17, observou-se maior comprimento das raízes no tratamento sem Al, quando comparado aos demais tratamentos com concentrações crescentes do metal. Além disso, constatou-se que, nos tratamentos com Al, as plântulas apresentaram raízes mais grossas, com poucas raízes laterais curtas e grossas, além de os tratamentos de 300 e 1200 μM de Al terem apresentado folhas amareladas com presença de necroses.

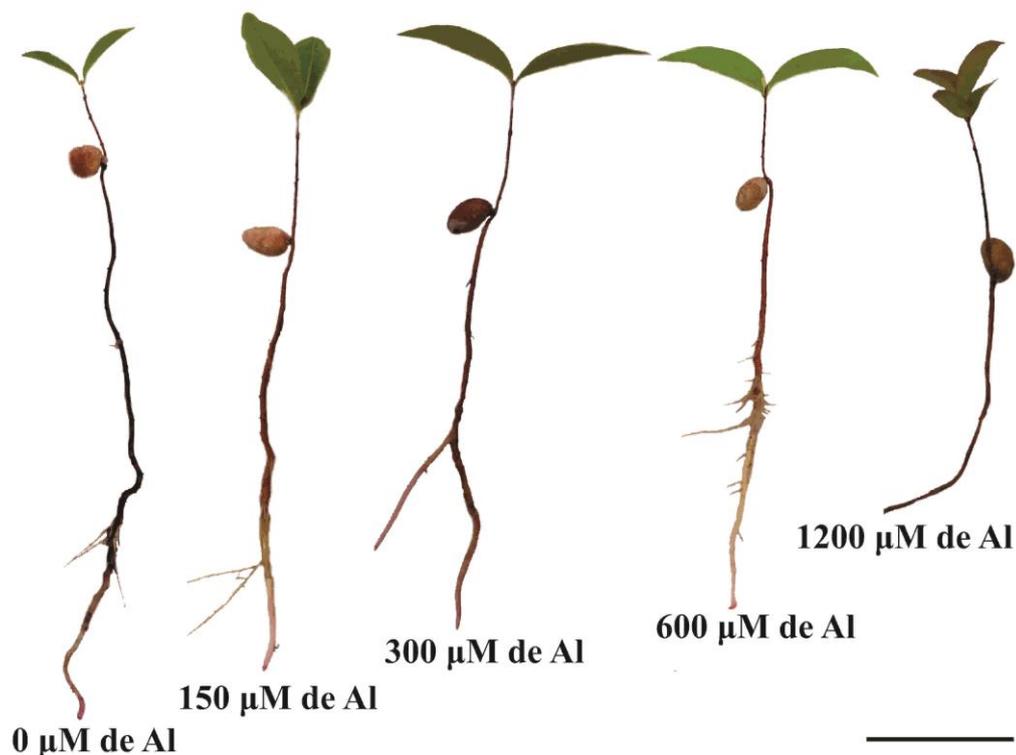


Figura 17. Aspecto das plântulas de cagaita (*Eugenia dysenterica* DC.), crescidas em solução nutritiva completa com diferentes concentrações de alumínio. Barra de escala 5cm.

Na Figura 18, a área foliar representada pela análise de regressão cúbica mostrou que os maiores percentuais foram para os tratamentos 0 e 300 µM de Al com médias de 14,16 e 10,24 cm². Correlacionando as Figuras 25, 26 e 27 com a Figura 18, observou-se que a dose de 300 µM de Al obteve menor desenvolvimento do sistema radicular, entretanto, teve o melhor percentual de desenvolvimento de área foliar, quando comparado com os tratamentos de 150, 600 e 1200 µM de Al.

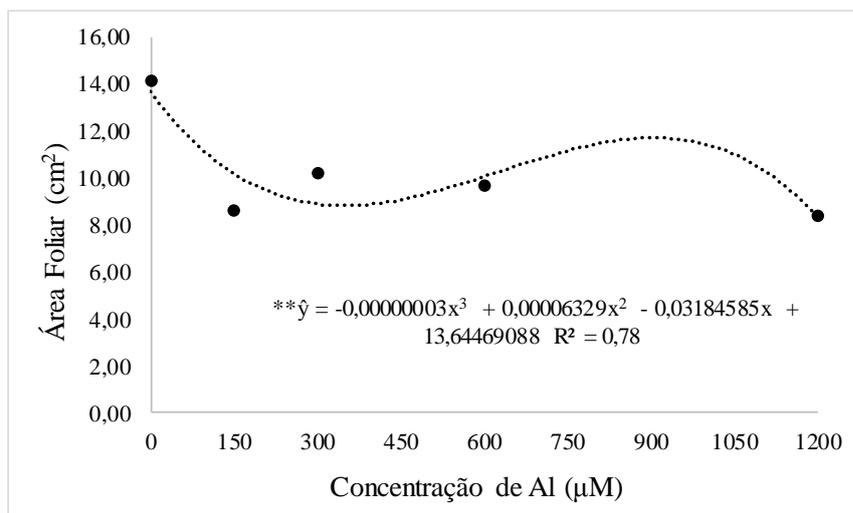


Figura 18. Área foliar (cm²) das plântulas de cagaita (*Eugenia dysenterica* DC.) em solução nutritiva completa com diferentes concentrações de alumínio. Significativo ao nível de 1% de probabilidade. CV (%) = 15,29.

Para a análise da massa seca das raízes, foram constatados resultados estatisticamente iguais. A massa seca da parte aérea apresentou decréscimo das médias de 0,70, 0,73, 0,73, 0,53 mg conforme o aumento das doses para os tratamentos com 0, 150, 600 e 1200 µM de Al; entretanto, para o tratamento com 300 µM de Al, a média foi superior às demais, com 15,71% a mais que o controle (Figura 19). Provavelmente o tratamento com 300 µM de Al tenha estimulado o desenvolvimento da parte aérea com maior produção de folhas, ocasionando maior peso seco, quando comparado com os demais tratamentos.

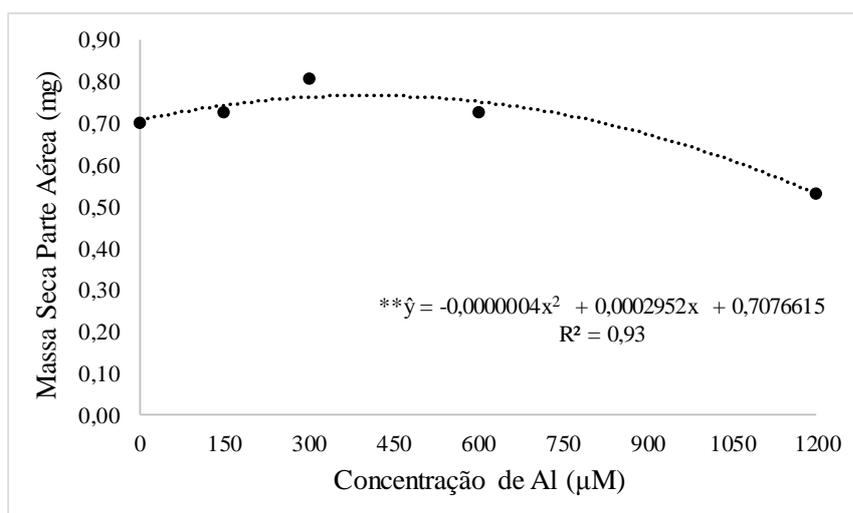


Figura 19. Massa seca da parte aérea (mg) das plântulas de cagaita (*Eugenia dysenterica* DC.) em solução nutritiva completa com diferentes concentrações de alumínio. Significativo ao nível de 5% de probabilidade. CV (%) = 17,98.

5.2.2 Solução simples cagaita

A taxa de crescimento radicular foi contínua até a dose de 600 μM de Al, quando apresentou maior média, 70,10%, decaindo no tratamento com 1200 μM de Al, com média de 33,79%, dose que mostrou ter maior efeito fitotóxico na planta (Figura 20). Os resultados indicam que a solução simples induz o melhor desenvolvimento radicular com a aplicação de alumínio em doses de 150, 300 e 600 μM com taxa de crescimento superior ao controle. A equação que melhor representou aos resultados foi a quadrática.

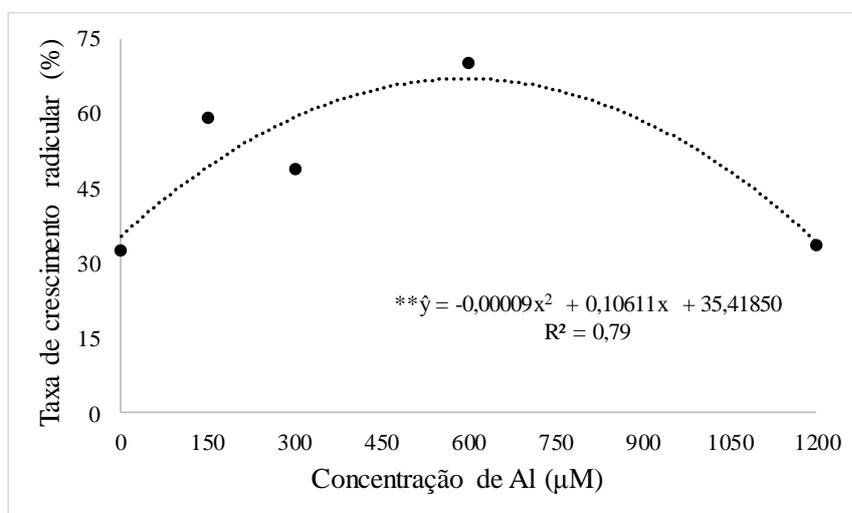


Figura 20. Análise de regressão das taxas de crescimento radicular (%) de plântulas cagaita (*Eugenia dysenterica* DC.), crescidas em solução nutritiva simples com diferentes concentrações de alumínio. Significativo ao nível de 1% de probabilidade. CV (%) = 14,07.

A taxa de alongação radicular da raiz aumentou nos tratamentos com 150, 300 e 600 μM de Al, dando indícios da tolerância dessa espécie ao alumínio, uma vez que tais concentrações estimulam o crescimento radicular (Figura 21). Após a dose de 600 μM de Al, as plântulas apresentaram decréscimo nos padrões de crescimento radicular.

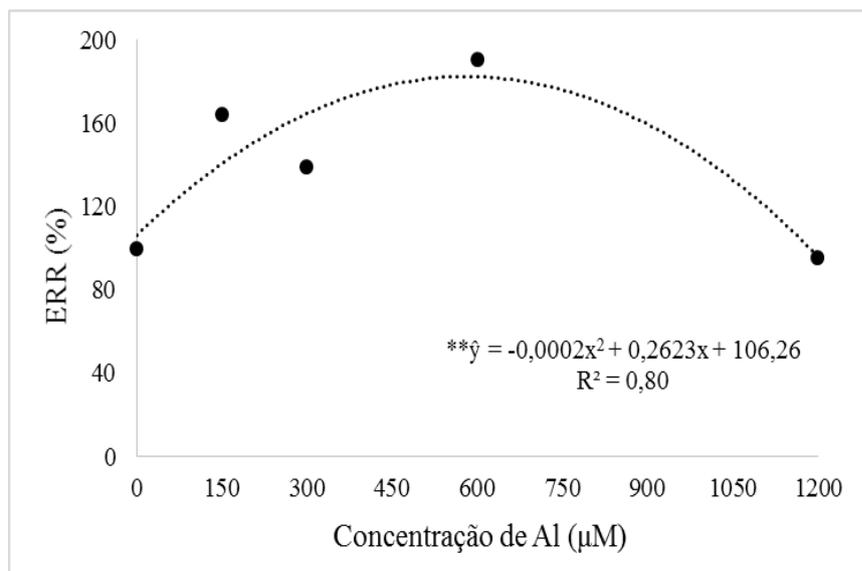


Figura 21. Elongação radicular relativa (ERR %) de plântulas de cagaita (*Eugenia dysenterica* DC.) em solução nutritiva simples com concentrações diferentes de alumínio. *Significativo ao nível de 1% de probabilidade. CV (%) = 19,95.

No comprimento médio das raízes de cagaita expostas aos tratamentos com alumínio, observou-se efeito significativo no crescimento do sistema radicular nas concentrações de 150, 300 e 600 µM de Al (Figura 22). Comparando esses resultados com as Figuras 20 e 21, nota-se que o desenvolvimento da raiz foi bastante similar nas análises empregadas. O alumínio estimula o desenvolvimento radicular nas concentrações abaixo de 600 µM, com médias superiores ao tratamento controle sem o alumínio, indicando que a espécie cultivada nessas condições mostra tolerância ao alumínio e pode necessitar de doses mais baixas desse elemento para seu desenvolvimento.

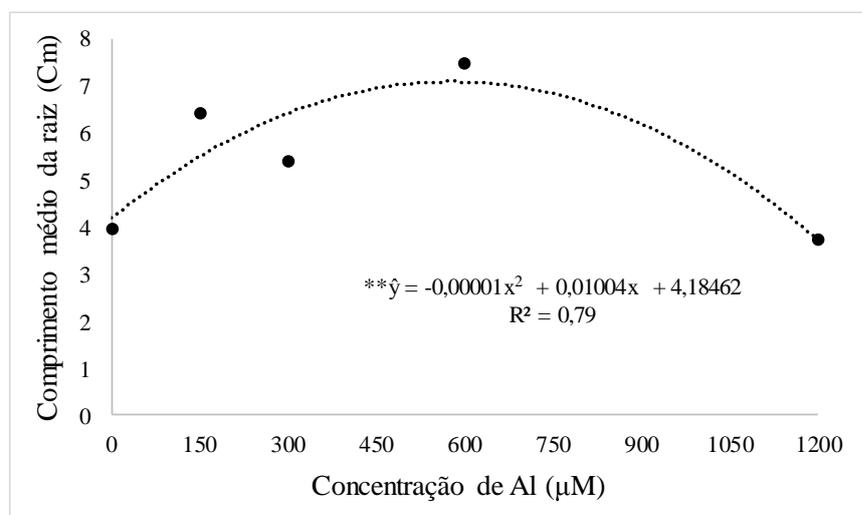


Figura 22. Comprimento médio das raízes (cm) das plântulas de cagaita (*Eugenia dysenterica* DC.), mantidas em solução nutritiva simples com diferentes concentrações de alumínio. Significativo ao nível de 1% de probabilidade. CV (%) = 13,49.

As análises visuais das plântulas de cagaita cultivadas em solução simples com aplicação de doses de alumínio mostraram crescimento radicular para os tratamentos com 150, 300 e 600 μM de Al (Figura 23). O crescimento da região apical foi estimulado até a dose de 600 μM de Al; já para a dose de 1200 μM de Al, foram observados redução no crescimento radicular e surgimento de um pequeno amarelecimento iniciado nas margens das folhas, seguido de sua queda precoce.

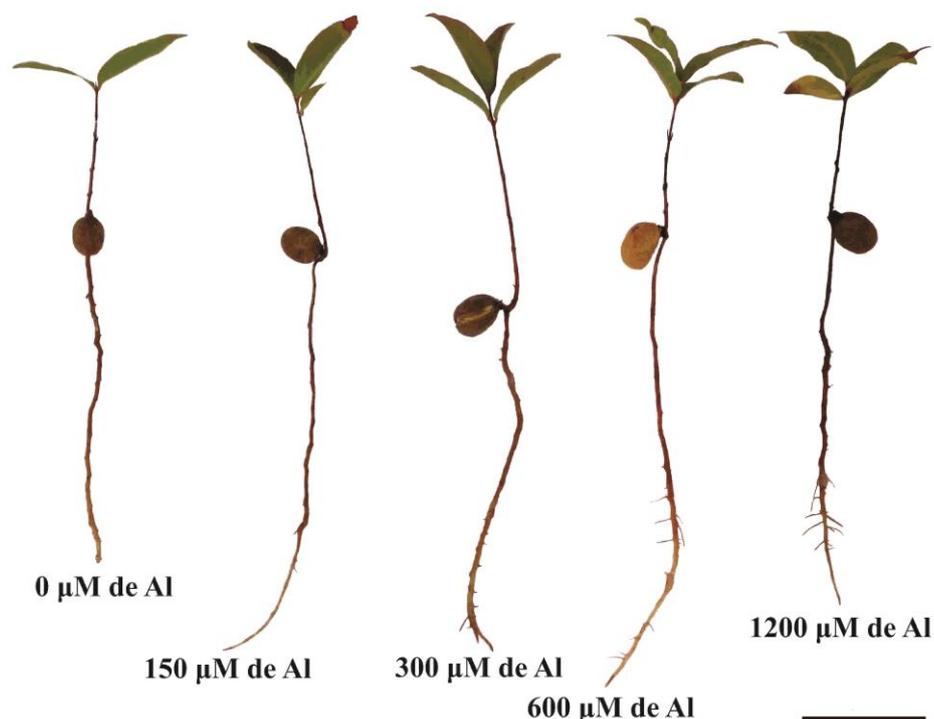


Figura 23. Aspecto visual das plântulas de cagaita (*Eugenia dysenterica* DC.), crescidas em solução nutritiva simples com diferentes concentrações de alumínio. Barra de escala 5cm.

A análise de regressão que melhor se ajustou aos resultados de matéria seca das plântulas de cagaita foi a cúbica para raiz e a quadrática para a parte aérea (Figura 24). Houve aumento de 2,83% e 6,53% no peso da massa seca da raiz nas doses de 300 e 600 μM Al e decréscimo de 26,98% na dose de 1200 μM Al, quando comparadas ao controle. Para peso da matéria seca da parte aérea, apenas a dose 300 μM Al foi 6,02% a mais que o tratamento sem alumínio; os demais apresentaram redução nas médias, conforme o aumento das doses, provavelmente doses maiores de alumínio promovem efeito tóxico no desenvolvimento da parte aérea.

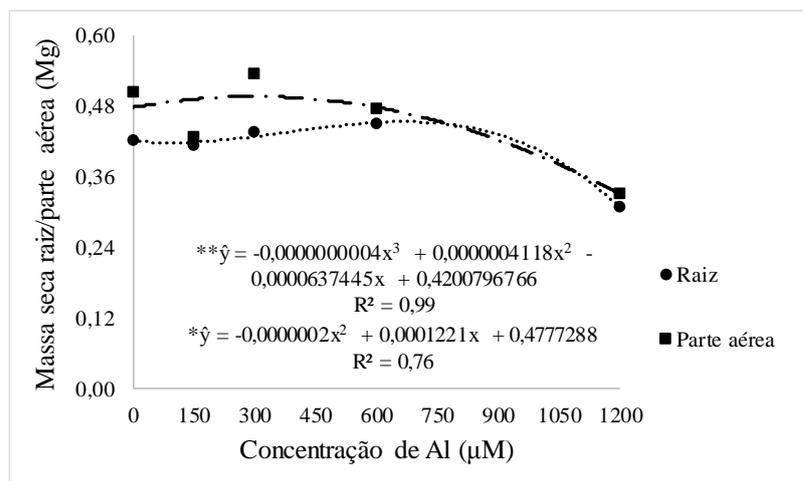


Figura 24. Massa seca da raiz/parte aérea (Mg) de plântulas de cagaita (*Eugenia dysenterica* DC.), submetidas a diferentes concentrações de alumínio em solução nutritiva simples. **Significativo ao nível de 1% de probabilidade e *Significativo ao nível de 5% de probabilidade CV (%) = 13,55 (raiz) e 16,31 (parte aérea).

5.2.3 Solução nutritiva completa Mangaba

Os tratamentos com 0, 150, 600 e 1200 μM Al mostraram redução progressiva das taxas de crescimento radicular conforme aumento das doses, obtendo médias de 71,78; 59,33; 53,92 e 33,66 %, destacando o tratamento com 1200 μM Al com o maior efeito inibidor do desenvolvimento do sistema radicular das plântulas (Figura 25). A dose de 300 μM de Al apresentou resultado contrário em relação às demais doses, estimulando o crescimento radicular, com média de 81,27%, superior ao tratamento controle. A análise de regressão que melhor expressou os resultados foi o modelo de regressão linear.

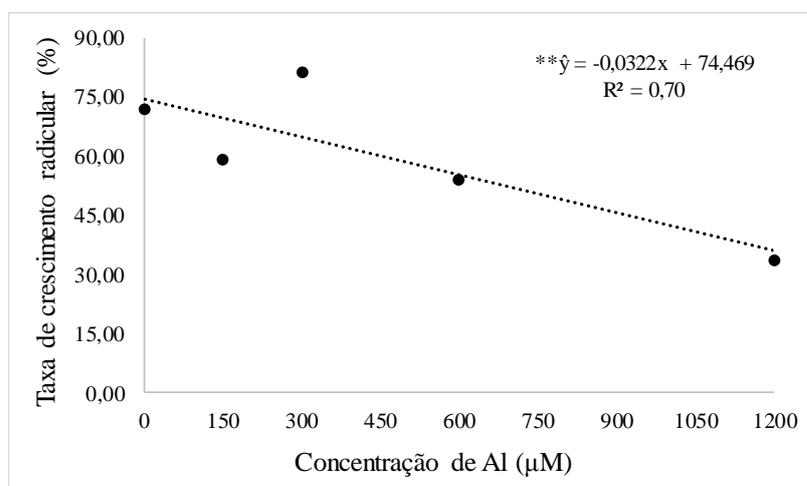


Figura 25. Análise de regressão das taxas de crescimento radicular (%) de plântulas mangaba (*Hancornia speciosa* Gomes), crescidas em solução nutritiva completa com diferentes concentrações de alumínio. Significativo ao nível de 1% de probabilidade. CV (%) = 12,25.

A Figura 26 mostra o comprimento médio das raízes sob diferentes tratamentos. Analisando as médias dos tratamentos, observou-se que a dose de 300 μM de Al não afetou o comprimento das plântulas e estimulou o desenvolvimento em 12,01%, sendo provável que esta espécie tenha um mecanismo de tolerância ao Al em doses baixas. O gráfico em regressão linear mostra queda para os demais tratamentos com alumínio (Figura 26).

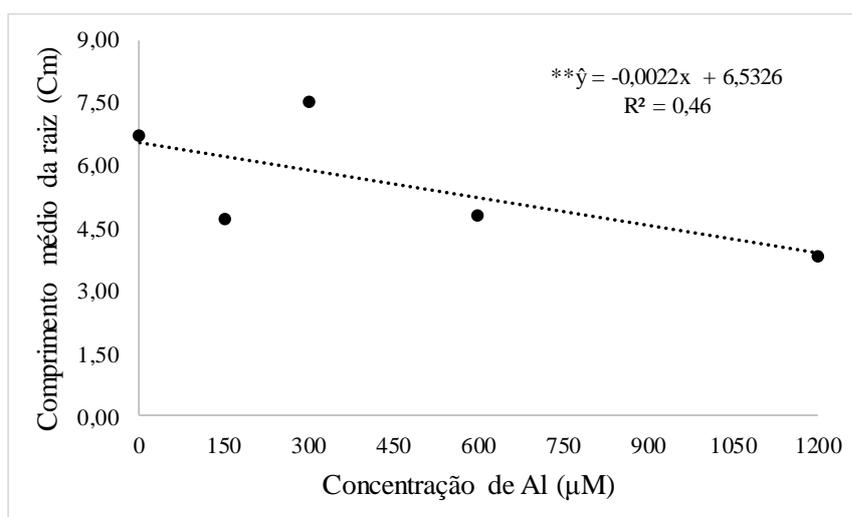


Figura 26. Comprimento médio da raiz (cm) das plântulas de mangaba (*Hancornia speciosa* Gomes), mantidas em solução nutritiva completa com diferentes concentrações de alumínio. Significativo ao nível de 1% de probabilidade. CV (%) = 13,93.

A alongação radicular relativa (ERR%) destacou o efeito estimulante da dose de 300 μM de Al, com média de 110,71%, superando o tratamento controle, com média de 100% (Figura 27). Analisando as Figuras 25 e 26, os resultados dos tratamentos com 300 μM de Al também foram favoráveis ao melhor desenvolvimento da plântula, evidenciando que a dose de 1200 μM de Al promoveu o menor crescimento radicular. As doses com 150 e 600 μM de Al obtiveram baixo decréscimo em seu crescimento, quando comparadas com os demais tratamentos.

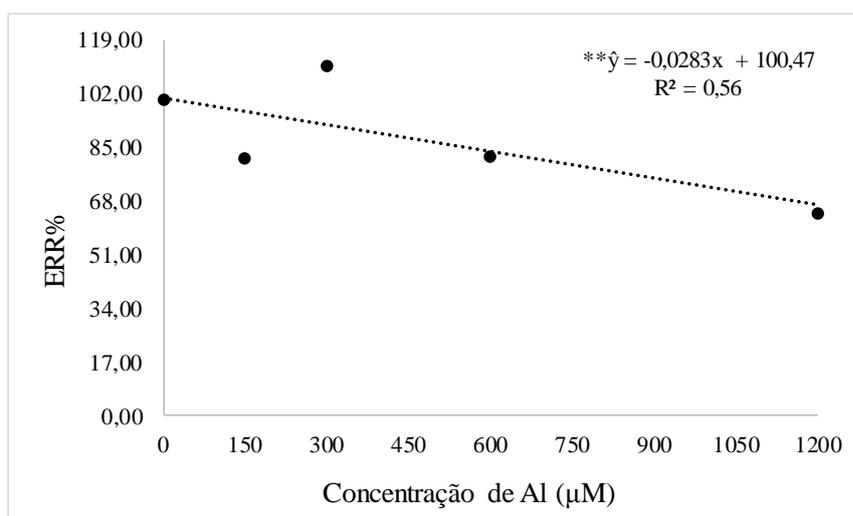


Figura 27. Elongação radicular relativa (ERR %) de plântulas de mangaba (*Hancornia speciosa* Gomes) em solução nutritiva completa com diferentes concentrações de alumínio. *Significativo ao nível de 1% de probabilidade. CV (%) = 8,07.

Nas plantas de *Hancornia speciosa*, observou-se maior comprimento das raízes no tratamento de 0 e 300 µM de Al; para a dose de 300 µM de Al, houve efeito estimulante do alumínio no desenvolvimento radicular (Figura 28). As doses de 150, 600 e 1200 µM de Al provocaram efeito tóxico do Al, uma vez que para esses tratamentos as plantas mostraram redução no desenvolvimento radicular.

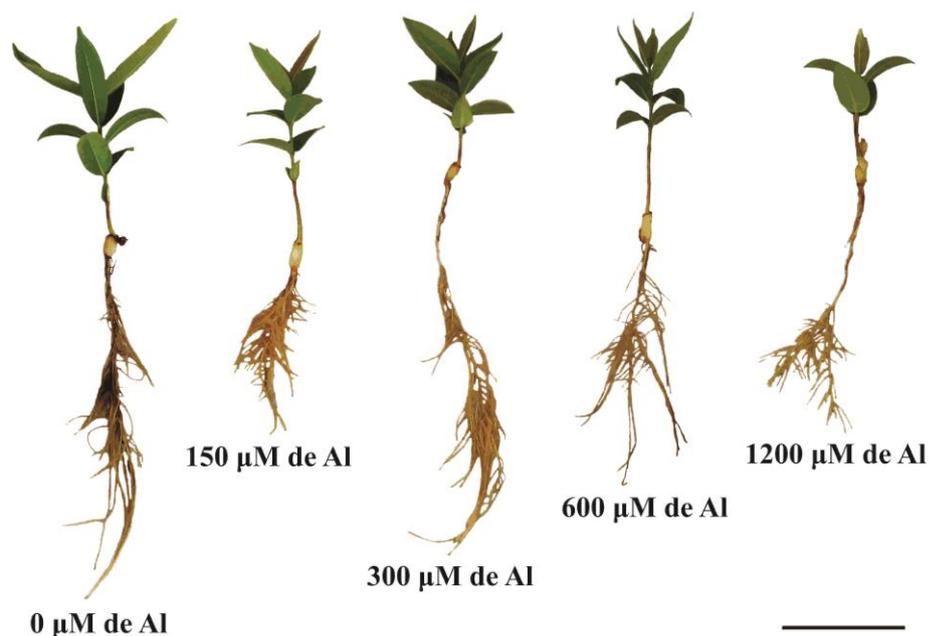


Figura 28. Aspecto das plântulas de mangaba (*Hancornia speciosa* Gomes), crescidas em solução nutritiva completa com diferentes concentrações de alumínio. Barra de escala 5cm.

Para a variável massa seca da raiz e parte aérea, não houve diferença entre os tratamentos.

5.2.4 Solução simples para Mangaba

A Figura 29 mostra as taxas de crescimento radicular. O modelo que melhor se adequou à distribuição dos dados foi o modelo de regressão linear, que indicou decréscimo das taxas de crescimento, conforme o aumento das doses de alumínio: maior taxa de 119,25% para o tratamento 0 sem Al e taxa de 58,69% para a dose de 1200 μM Al.

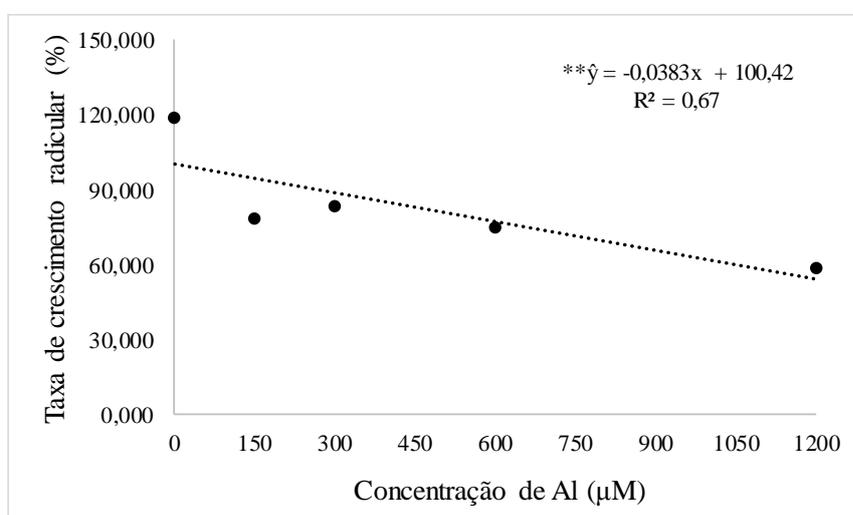


Figura 29. Regressão das taxas de crescimento radicular (%) de plântulas de mangaba (*Hancornia speciosa* Gomes), crescidas em solução nutritiva simples. Significativo ao nível de 1% de probabilidade. CV (%) = 15,44.

A alongação radicular relativa mostrou decréscimo nas médias conforme aumento das concentrações de alumínio (Figura 30). Analisando a equação linear dos tratamentos, observou-se que as médias obtiveram diferenças estatísticas nos tratamentos com Al, variando de 100 a 52%.

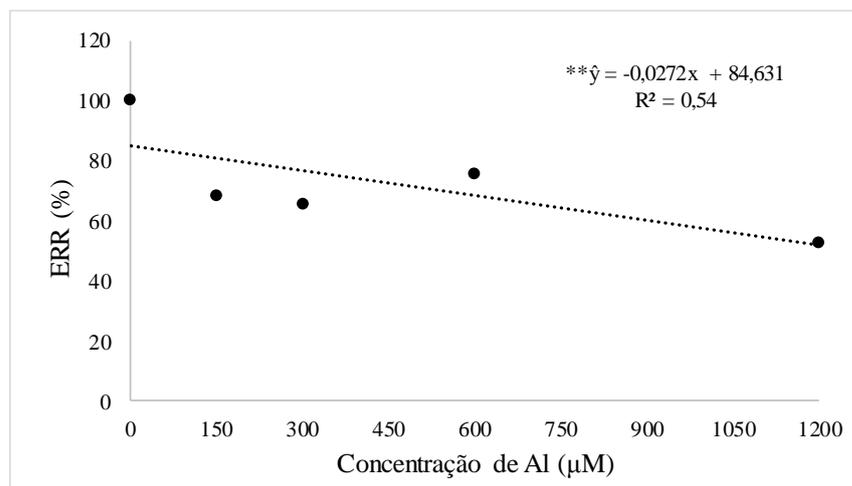


Figura 30. Elongação radicular relativa (ERR%) das plântulas de mangaba (*Hancornia speciosa* Gomes) em solução nutritiva simples com diferentes concentrações de alumínio. Significativo ao nível de 1% de probabilidade. CV (%) = 7,21.

A Figura 31 mostra o comprimento médio do sistema radicular das plântulas submetidas aos tratamentos com Al em solução simples. Observou-se decréscimo linear, quando comparado às doses de 0, 150 e 1200 µM de Al, podendo ser verificado menor desenvolvimento das plântulas, de 13,5, 8,81 e 6,99cm, respectivamente. Os dados revelam que, quanto maior a dosagem com Al, menor o comprimento da raiz, revelando o efeito tóxico desse metal para as plântulas.

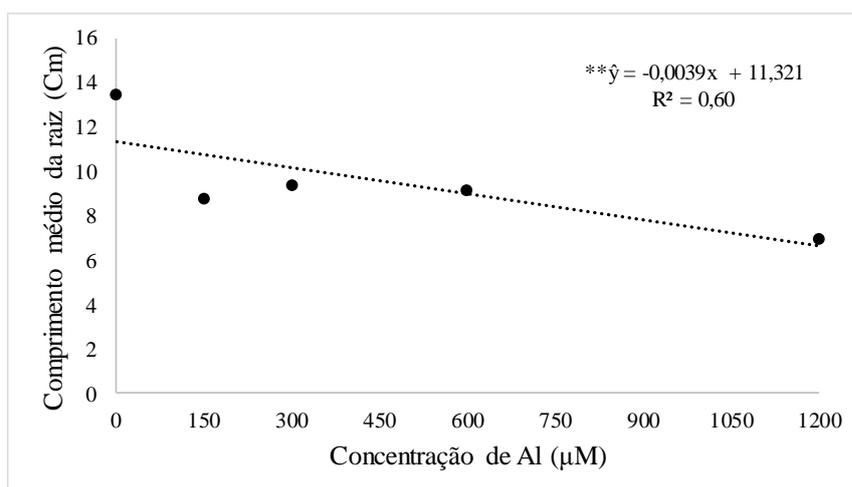


Figura 31. Comprimento médio da raiz (Cm) das plântulas de mangaba (*Hancornia speciosa* Gomes), mantidas em solução nutritiva simples com diferentes concentrações de alumínio. Significativo ao nível de 1% de probabilidade. CV (%) = 13,47.

Foram observadas diferenças no aspecto visual das plantas de mangaba cultivadas sem e com Al, após cultivo em solução simples (Figura 32). Esta diferença foi observada na parte aérea e nas raízes das plântulas avaliadas. Embora o efeito do Al

seja mais visível no sistema radicular, deve ser considerado importante o aparecimento de manchas necróticas nas folhas, que, provavelmente, são um indicativo de toxicidade ao alumínio. Um dos principais efeitos foi a inibição do desenvolvimento radicular dos tratamentos com os tratamentos 150 e 1200 μM de Al.

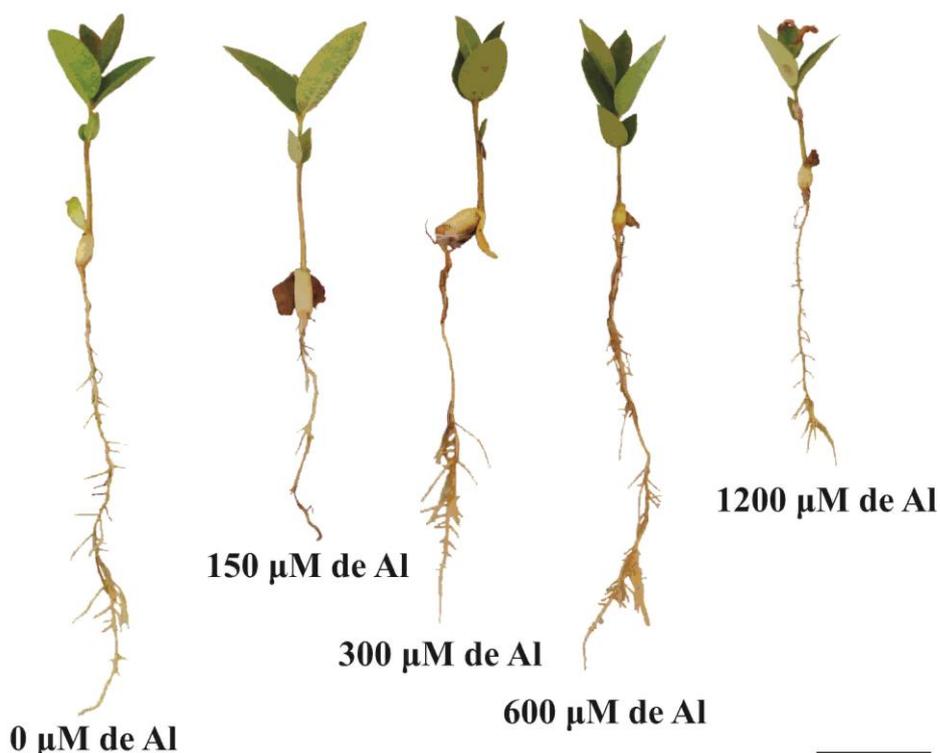


Figura 32. Aspecto visual das plântulas de mangaba (*Hancornia speciosa* Gomes), crescidas em solução nutritiva simples com diferentes concentrações de alumínio. Barra de escala 5cm.

A análise de regressão que melhor se ajustou aos resultados de matéria seca das plântulas de mangaba foi a cúbica para raiz e parte aérea (Figura 33). Observou-se decréscimo no peso da matéria seca tanto da raiz, como da parte aérea, em todas as doses, quando comparadas ao controle; entretanto, a dose de 600 μM Al obteve resultados bem similares ao controle, com perda de apenas 5,88% para raiz e de 7,82% na parte aérea. Já para a maior dose empregada, houve perda de 29,41% para raiz e 37,83% para parte aérea. As doses de 600 e 1200 μM de alumínio promovem efeito tóxico no desenvolvimento da raiz e da parte aérea.

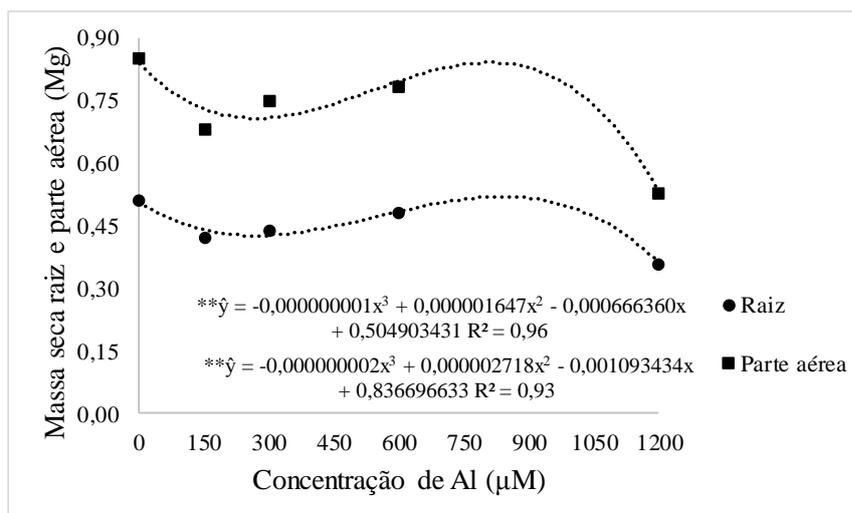


Figura 33. Massa seca da raiz/parte aérea (Mg) de plântulas de mangaba (*Hancornia speciosa* Gomes), submetidas a diferentes concentrações de alumínio em solução nutritiva simples. **Significativo ao nível de 1% de probabilidade CV (%) = 6,17 (raiz) e 5,52 (parte aérea).

5.3. Teor de macro e micronutrientes em cagaita e mangaba cultivadas em solução nutritiva completa.

5.3.1. Cagaita

O efeito do alumínio na absorção de macro e micronutrientes em cagaita mostrou resultado significativo na análise de variância para os elementos Ca, P, Mg, K, Fe, Mn, S nas raízes, caule e folha. Para o elemento N, o efeito mostrou diferença significativa na raiz e caule; já o Cu não apresentou resultados significativos apenas no caule.

A Figura 47 mostra que os tratamentos com 150 e 1200 µM de Al apresentaram as menores médias de cálcio na raiz, caule e folha, tendo proporcionado, na dose de 600 µM, aumento das médias, com valores superiores ao tratamento sem Al, com destaque para a presença de Ca nas folhas, em que as doses sem Al apresentaram média de 2,40 mg g⁻¹ e a dose de 600 µM de Al acumulou Ca. com média de 2,80 mg g⁻¹.

Na análise de regressão, o modelo que melhor se ajustou à distribuição dos dados foi o quadrático para raiz e folha e o modelo linear para caule, indicando que, nas concentrações de 150, 300 e 1200, ocorreu decréscimo nas médias de Ca em todos os órgãos das plântulas analisados (Figura 34).

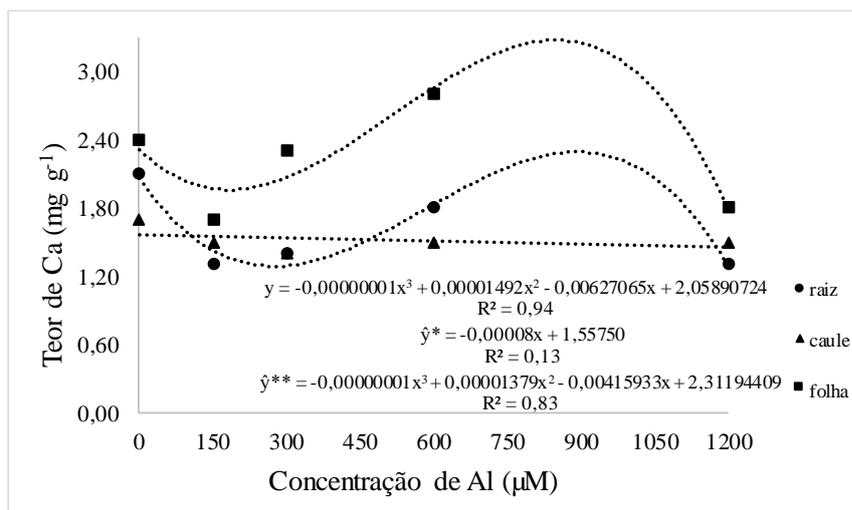


Figura 34. Análise de regressão dos teores de cálcio nas raízes, caules e folhas de plântulas de cagaita (*Eugenia dysenterica* DC.), submetidas a diferentes concentrações de alumínio em solução nutritiva completa. **Significativo ao nível de 1% de probabilidade e *Significativo ao nível de 5% de probabilidade. CV (%) = 13, 18 (raiz), 5,88 (caule) e 4,55 (folha).

Para a raiz, a análise de regressão que melhor se ajustou aos resultados foi a quadrática, com efeito negativo na absorção do nitrogênio em todos os tratamentos, com alumínio correspondendo a uma queda de 22,58% (Figura 35). O transporte de nitrogênio no caule foi igual para os tratamentos 0 e 600 μM de Al, com médias de 20 mg g⁻¹; para as demais doses, a menor média foi de 17 mg g⁻¹. Nas folhas, o menor teor de nitrogênio revelado pela equação quadrática foi igual a 20,00 mg g⁻¹ para a concentração de 300 μM de Al; enquanto o maior teor foi de 28,00 mg g⁻¹ para uma concentração de 0 μM, apresentando resultados não significativos. Desta forma, de acordo com os dados, na raiz, concentrações altas de Al podem apresentar absorção igual aos tratamentos sem Al; entretanto, para o caule, concentrações altas de Al promovem efeito negativo na absorção de nitrogênio (Figura 35).

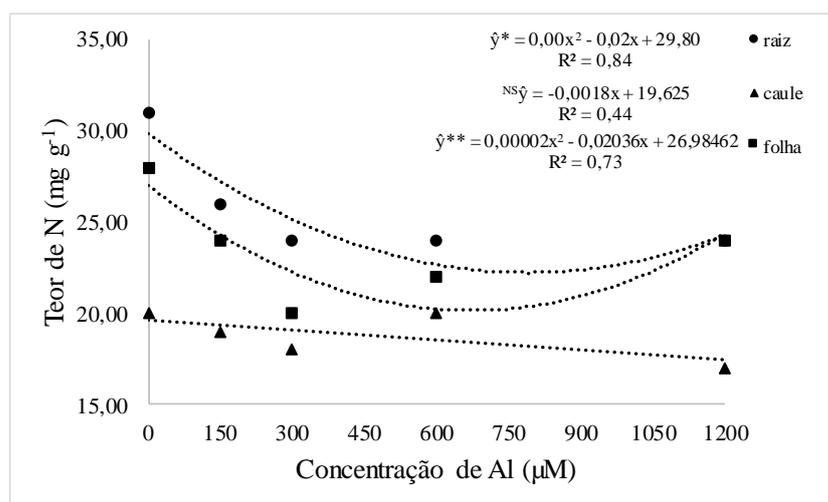


Figura 35. Análise de regressão dos teores de nitrogênio nas raízes, caules e folhas de plântulas de cagaita (*Eugenia dysenterica* DC.), submetidas a diferentes concentrações de alumínio em solução nutritiva completa. **Significativo ao nível de 1% de probabilidade, *Significativo ao nível de 5% de probabilidade e ns – não significativo. CV (%) = 9,65 (raiz), 16,82 (caule) e 6,28 (folha).

A concentração de fósforo na raiz, caule e folha foi reduzida conforme eram aumentadas as doses de alumínio. A raiz apresentou média de 5,20 mg g⁻¹ para o tratamento sem Al, reduzindo os teores para 4,40; 3,60; 3,40 e 3,40 mg g⁻¹ nas doses de 150, 300, 600 e 1200 μM de Al, respectivamente. Para o caule, a dose de 300 μM de Al apresentou a maior redução do fósforo, cerca de 26,66%. Nas folhas, as menores médias foram de 1,40 mg g⁻¹ para os tratamentos com 300, 600 e 1200 μM de Al (Figura 36). Desta forma, o aumento da concentração de alumínio, em todos os órgãos analisados, promove redução dos teores de fósforo.

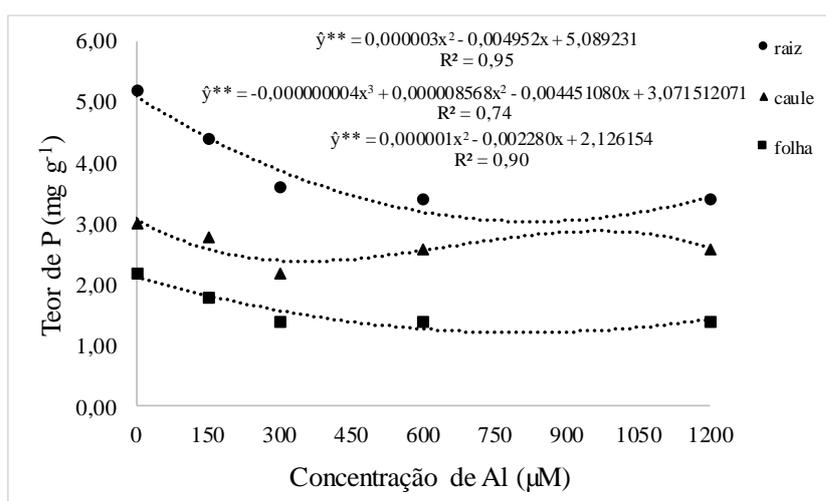


Figura 36. Análise de regressão dos teores de fósforo nas raízes, caules e folhas de plântulas de cagaita (*Eugenia dysenterica* DC.), submetidas a diferentes concentrações de alumínio em solução nutritiva completa. **Significativo ao nível de 1% de probabilidade. CV (%) = 7,58 (raiz), 17,52 (caule) e 13,08 (folha).

Os teores de magnésio apresentaram as menores médias na raiz, cerca de 0,80 mg g⁻¹, para o tratamento com 1200 μM de Al. Na raiz, as médias tendem a abaixar conforme o aumento das doses de Al (Figura 37). Para o caule, o maior efeito da absorção do magnésio foi nas concentrações de 150, 300 e 600 μM de Al, de forma que na maior dose a média volta a subir quando comparada às doses mais baixas. A folha apresentou efeito estimulante do alumínio na absorção de Mg nas doses de 300, 600 e 1200 μM de Al, com médias de 1,90, 1,90 e 1,70 mg g⁻¹, quando comparadas com tratamentos sem Al, com média de 1,40 mg g⁻¹ (Figura 37).

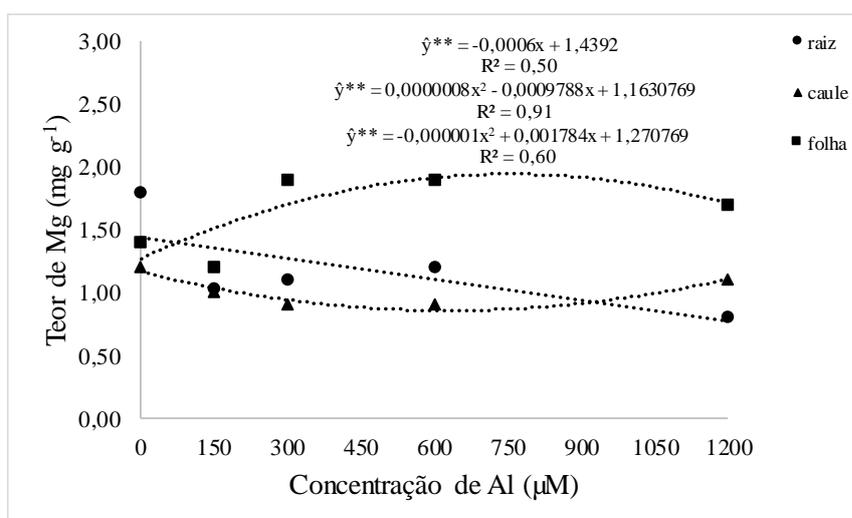


Figura 37. Análise de regressão dos teores de magnésio nas raízes, caules e folhas de plântulas de cagaita (*Eugenia dysenterica* DC.), submetidas a diferentes concentrações de alumínio em solução nutritiva completa. **Significativo ao nível de 1% de probabilidade. CV (%) = 12,11 (raiz), 9,80 (caule) e 6,17 (folha).

Para os teores de potássio, a análise de regressão que melhor se ajustou à distribuição dos dados foi a linear. Na raiz, houve decréscimo nos níveis de potássio, conforme o aumento das doses, com média de 14,40 mg g⁻¹ no tratamento sem Al e média de 6,40 mg g⁻¹ na maior dose de Al (Figura 38). No caule, as doses de 300 e 1200 μM de Al estimularam a absorção do K, com cerca de 28,57% a mais. As folhas apresentaram média de 12,00 mg g⁻¹ no tratamento sem Al e médias de 12,80, 13,60, 14,40 e 14,40 mg g⁻¹ nos tratamentos com 150, 300, 600 e 1200 μM de Al, mostrando efeito favorável das doses de Al na absorção de potássio pela folha.

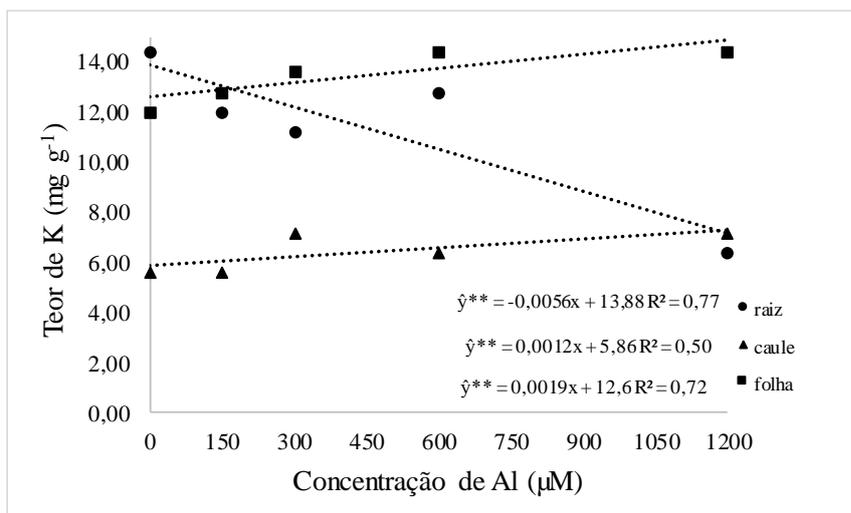


Figura 38. Análise de regressão dos teores de potássio nas raízes, caules e folhas de plântulas de cagaita (*Eugenia dysenterica* DC.), submetidas a diferentes concentrações de alumínio em solução nutritiva completa. **Significativo ao nível de 1% de probabilidade. CV (%) = 8,02 (raiz), 2,51 (caule) e 6,69 (folha).

O enxofre, nas raízes, foi afetado negativamente por todas as doses de Al, entretanto, a dose de 300 μM, com média de 1,30 mg g⁻¹, foi maior que a dose de 150, 600 e 1200 μM, com médias de 0,60, 0,90 e 1,00 mg g⁻¹ (Figura 39). Nas maiores doses, o efeito do alumínio foi o de estimular a absorção de enxofre no caule, cerca de 116% a mais que o tratamento controle. Na folha, o modelo de regressão que melhor se ajustou à distribuição dos dados foi o linear, indicando aumento médio de 75% de absorção de enxofre na folha, confirmando que altas concentrações de alumínio podem estimular o transporte de enxofre no caule e nas folhas.

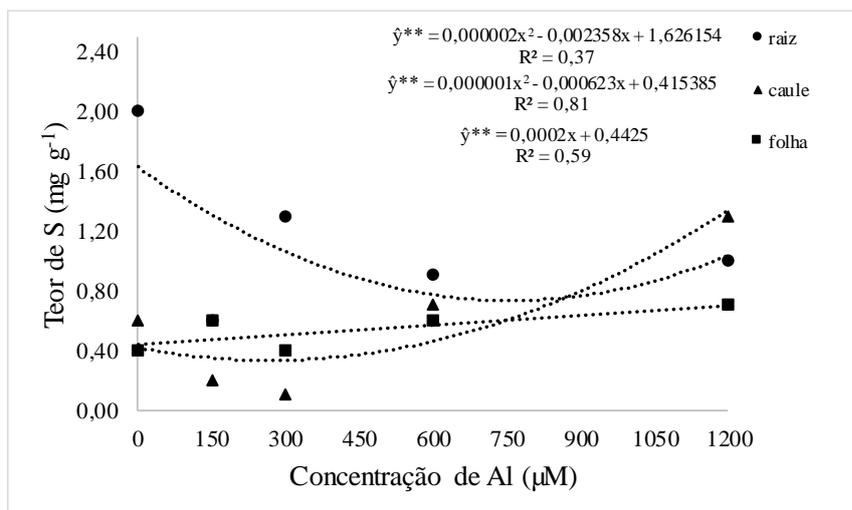


Figura 39. Análise de regressão dos teores de enxofre nas raízes, caules e folhas de plântulas de cagaita (*Eugenia dysenterica* DC.), submetidas a diferentes concentrações de alumínio em solução nutritiva completa. **Significativo ao nível de 1% de probabilidade. CV (%) = 15,42 (raiz), 14,42 (caule) e 18,52 (folha).

Analisando o micronutriente ferro na raiz e caule, observou-se queda progressiva em todas as doses de Al, quando comparadas com o tratamento sem Al. Na análise dos teores de Fe na folha, comparada com o controle com média de 0,25 mg g⁻¹, constatou-se estímulo na absorção do elemento na dose de 600 μM de Al, com média de 0,35 mg g⁻¹ (Figura 40).

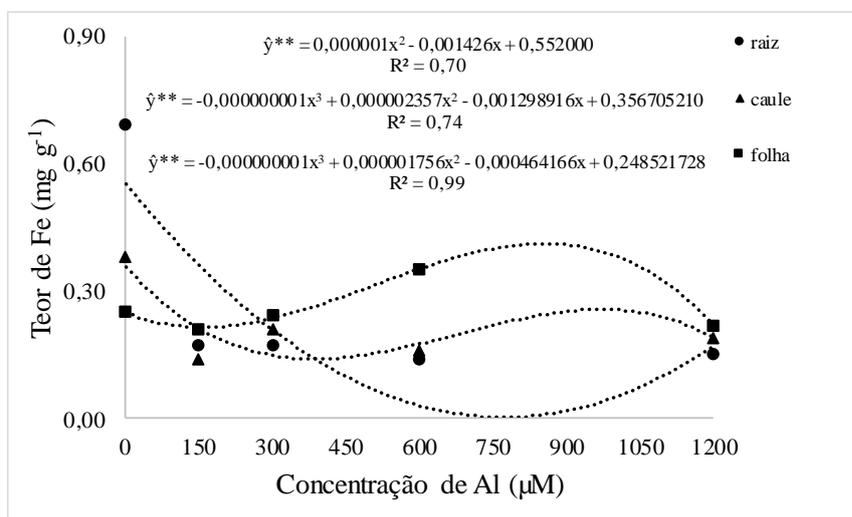


Figura 40. Análise de regressão dos teores de ferro nas raízes, caules e folhas de plântulas de cagaita (*Eugenia dysenterica* DC.), submetidas a diferentes concentrações de alumínio em solução nutritiva completa. **Significativo ao nível de 1% de probabilidade. CV (%) = 4,25 (raiz), 12,12 (caule) e 9,53 (folha).

A absorção de cobre pela raiz foi afetada negativamente pelos tratamentos com Al, com média igual a $0,021 \text{ mg g}^{-1}$ no tratamento controle e, quando comparando com o tratamento de $1200 \text{ }\mu\text{M}$ Al, houve um decréscimo de 47,62%. No caule, o menor teor de cobre foi igual a $0,007 \text{ mg g}^{-1}$ para a concentração de $1200 \text{ }\mu\text{M}$ de Al, enquanto o maior teor foi igual a $0,009 \text{ mg g}^{-1}$ para o controle, mostrando que concentrações altas de alumínio afetam a absorção de cobre pela raiz (Figura 41). Para a folha, a análise de regressão que melhor se adequou aos resultados foi a linear, mostrando redução constante nos teores de Cobre em doses altas de alumínio, com perda de 22,22% na absorção do micronutriente.

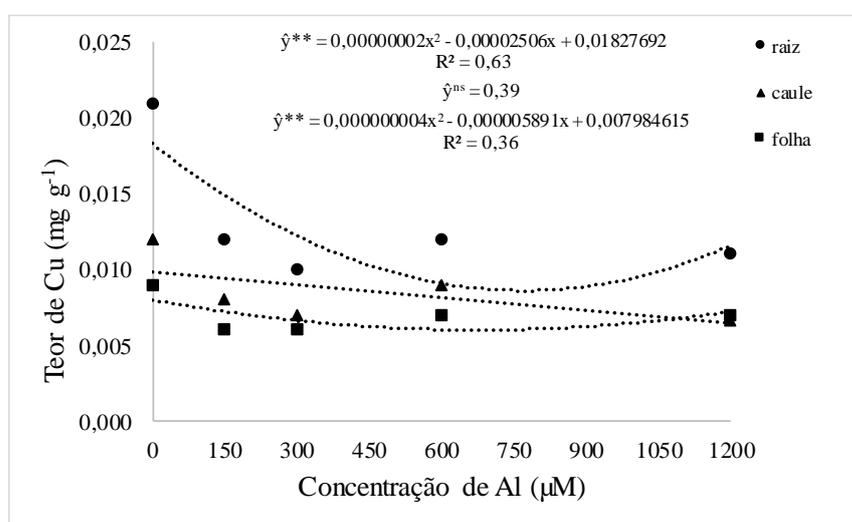


Figura 41. Análise de regressão dos teores de cobre nas raízes, caules e folhas de plântulas de cagaita (*Eugenia dysenterica* DC.), submetidas a diferentes concentrações de alumínio em solução nutritiva completa. **Significativo ao nível de 1% de probabilidade. CV (%) = 9,58 (raiz), 29,81 (caule) e 14,29 (folha).

Para o manganês, o modelo que melhor se ajustou à distribuição dos dados foi o cúbico para raiz, linear para caule e quadrática para folha, mostrando queda nos teores de manganês com o aumento das concentrações de Al na solução nutritiva na raiz e caule. Nas folhas, houve estímulo nos teores de Mn na dose de $300 \text{ }\mu\text{M}$, com cerca de 71,43% a mais (Figura 42).

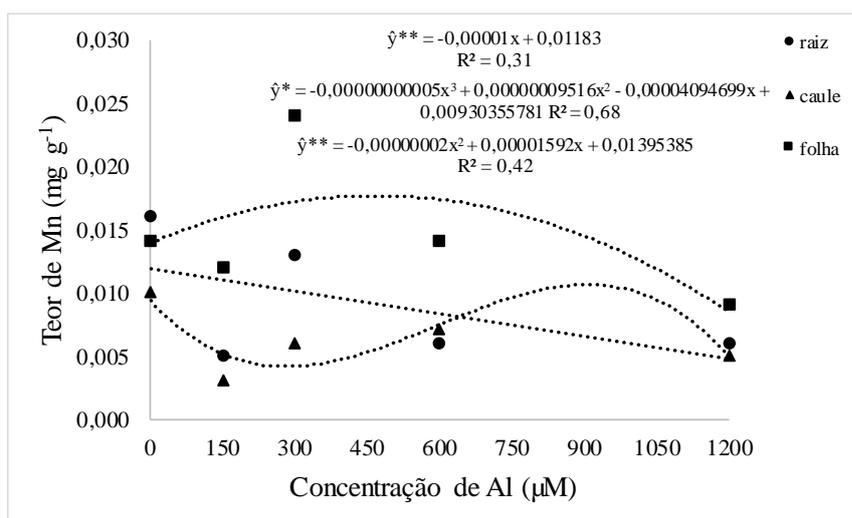


Figura 42. Análise de regressão dos teores de manganês nas raízes, caules e folhas de plântulas de cagaita (*Eugenia dysenterica* DC.), submetidas a diferentes concentrações de alumínio em solução nutritiva completa. **Significativo ao nível de 1% de probabilidade e *Significativo ao nível de 5% de probabilidade. CV (%) = 22,8 (raiz), 49,97 (caule) e 6,85 (folha).

Para o zinco nas raízes e caule, observou-se efeito negativo para todos os tratamentos com Al, sendo que a maior dose (300 μM) proporcionou decréscimo de 49,05% na raiz e 50,00% no caule (Figura 43). Para folha, a análise de regressão que melhor se ajustou à distribuição dos dados foi a quadrática, indicando aumento dos teores de zinco com concentrações de 300 e 600 μM Al na solução nutritiva.

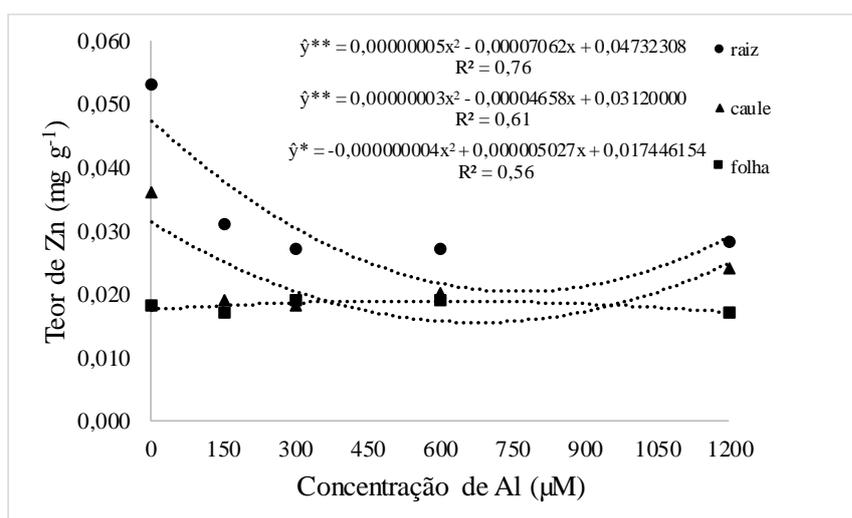


Figura 43. Análise de regressão dos teores de zinco nas raízes, caules e folhas de plântulas de cagaita (*Eugenia dysenterica* DC.), submetidas a diferentes concentrações de alumínio em solução nutritiva completa. **Significativo ao nível de 1% de probabilidade e *Significativo ao nível de 5% de probabilidade. CV (%) = 16,33 (raiz), 11,14 (caule) e 5,56 (folha).

5.3.2. Mangaba

A análise de regressão referente ao efeito do alumínio na absorção de macro e micronutrientes mostrou que houve efeito significativo das concentrações do Al nos teores de N, P, Ca, k, Mg, Fe, S e Zn na raízes, caule e folhas. O cobre apresentou efeito não significativo apenas nas folhas.

Nas raízes, houve acúmulo nos teores de cálcio em doses de 150, 300 e 600 μM de Al, chegando até 84,61% a mais que a média do controle, de 2,60 mg g^{-1} . A dose mais alta inibiu a absorção com decréscimo de 26,92%, quando comparada ao controle (Figura 44). Para o caule, a análise de regressão que melhor se ajustou aos dados foi a linear, mostrando o efeito positivo das doses de 300, 600 e 1200 μM na absorção de cálcio. Nas folhas, todas as doses proporcionaram efeito negativo nos teores de Ca, com destaque para a dose de 150 μM , que mostrou redução de 104,2% em relação ao tratamento 0 μM .

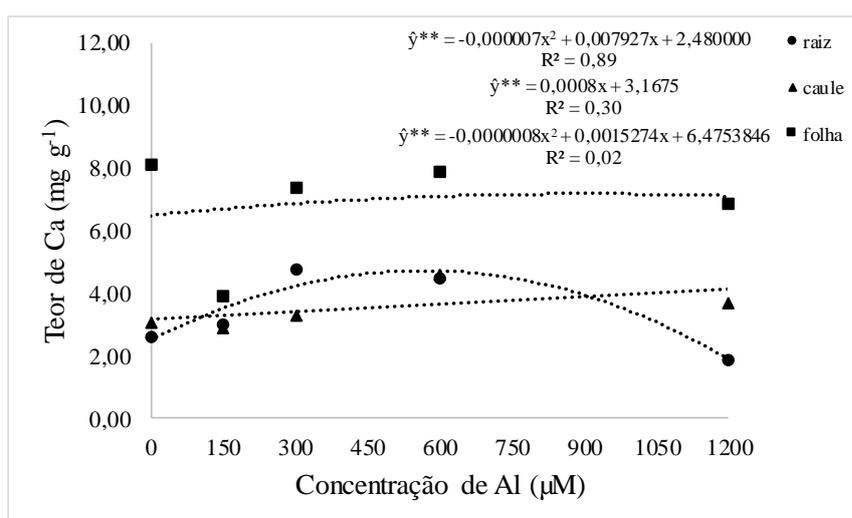


Figura 44. Análise de regressão dos teores de cálcio nas raízes, caules e folhas de plântulas de mangaba (*Hancornia speciosa* Gomes), submetidas a diferentes concentrações de alumínio em solução nutritiva completa. **Significativo ao nível de 1% de probabilidade e *Significativo ao nível de 5% de probabilidade. CV (%) = 3,76 (raiz), 2,84 (caule) e 1,46 (folha).

Na avaliação dos teores de nitrogênio, a análise que melhor se adequou aos resultados foi a quadrática para raiz e caule e linear para folha. Constatou-se que para a raiz houve decréscimo na média de absorção de nitrogênio na dose de 150 μM de Al, entretanto os valores sobem com as doses de 300 e 600 μM , chegando à média de 55 mg g^{-1} , igual ao tratamento sem Al (Figura 45). Para o caule, a concentração do elemento foi maior nas doses 150 com 22,00% a mais que o controle e no tratamento com 300

μM , com 11,42% de acréscimo. Nas folhas, observou-se queda progressiva na absorção do nitrogênio. Desta forma, o alumínio estimula a absorção do N em doses mais baixas na raiz e caule e prejudica a absorção, em todas as doses nas folhas.

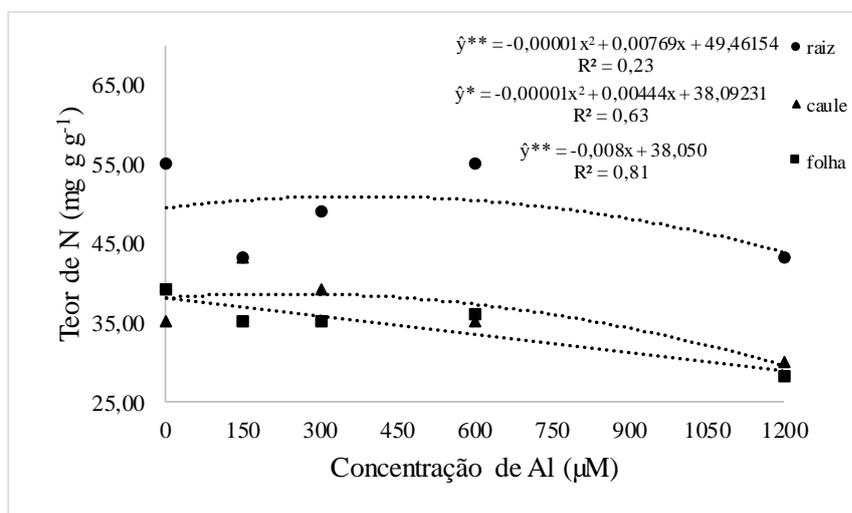


Figura 45. Análise de regressão dos teores de nitrogênio nas raízes, caules e folhas de plântulas de mangaba (*Hancornia speciosa* Gomes), submetidas a diferentes concentrações de alumínio em solução nutritiva completa. **Significativo ao nível de 1% de probabilidade e *Significativo ao nível de 5% de probabilidade. CV (%) = 5,55 (raiz), 12,53 (caule) e 4,29 (folha).

A análise de regressão que melhor se ajustou aos dados foi a quadrática para raiz e linear para folha e caule, mostrando que os teores de fósforo na raiz aumentaram cerca de 9,9% e 57,57% nas doses de 150 e 300 μM (Figura 46). Para o caule, todas as doses de Al apresentaram redução do fósforo, com o menor valor de média com cerca de 2,20 mg g⁻¹ para o tratamento de 1200 μM . Nas folhas, as menores médias foram de 1,60 e 1,80 mg g⁻¹ para os tratamentos com 150, 600 e 1200 μM de Al, sendo que as doses de 0 e 300 μM apresentaram médias iguais. Desta forma, o aumento da concentração de alumínio estimulou a absorção na raiz em doses mais baixas e promoveu efeito negativo no caule e na folha.

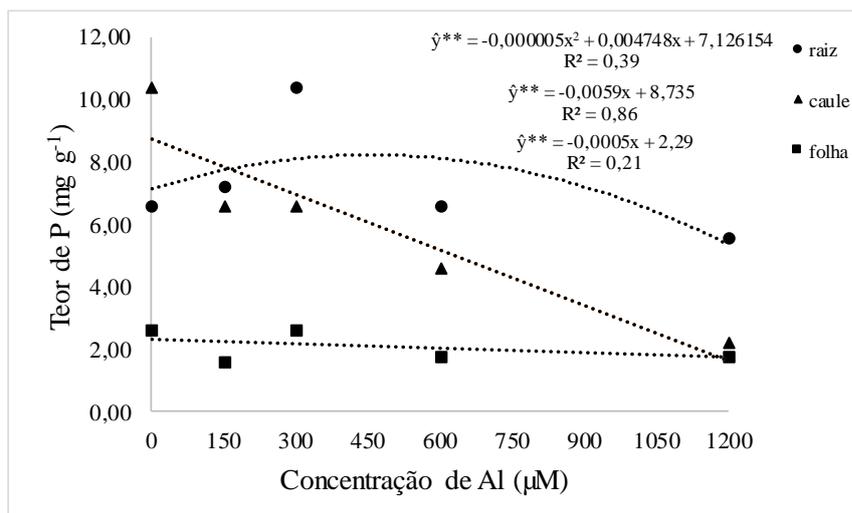


Figura 46. Análise de regressão dos teores de fosforo nas raízes, caules e folhas de plântulas de mangaba (*Hancornia speciosa* Gomes), submetidas a diferentes concentrações de alumínio em solução nutritiva completa. **Significativo ao nível de 1% de probabilidade. CV (%) = 2,04 (raiz), 1,64 (caule) e 6,68 (folha).

Para os teores de potássio, a análise de regressão que melhor se ajustou à distribuição dos dados foi a quadrática para raiz, linear para o caule e cúbica para as folhas. Na raiz, houve acréscimo nos níveis de potássio conforme o aumento das doses, com exceção para o tratamento de 1200 µM de Al, que apresentou decréscimo de 15% (Figura 47). No caule, o alumínio inibiu a absorção do K em todos os tratamentos, quando comparado ao controle. As raízes apresentaram média de 12,00 mg g⁻¹ no tratamento sem Al, e médias de 6,40, 12,00, 10,40 e 10,40 mg g⁻¹ nos tratamentos com 150, 300, 600 e 1200 µM de Al, mostrando o efeito desfavorável do Al na absorção de potássio pela folha.

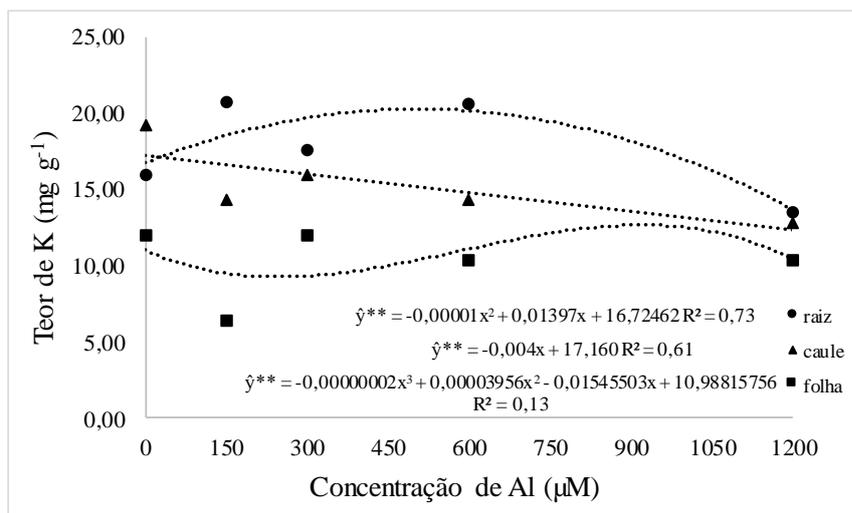


Figura 47. Análise de regressão dos teores de potássio nas raízes, caules e folhas de plântulas de mangaba (*Hancornia speciosa* Gomes), submetidas a diferentes concentrações de alumínio em solução nutritiva completa. **Significativo ao nível de 1% de probabilidade. CV (%) = 2,97 (raiz), 3,01 (caule) e 9,79 (folha).

Os teores de magnésio foram estimulados na raiz nas doses de 300 e 600 μM de Al e no caule houve acréscimo de 44,82% nos teores de Mg na dose de 600 μM . Para as folhas, o aumento das concentrações de Al apresentou queda progressiva nos teores de Mg de cerca de 3,00 mg g^{-1} para o tratamento com 150 μM de Al, quando comparado ao controle (Figura 48). O modelo estatístico que melhor se adequou aos resultados foi a regressão quadrática para raiz e folha e linear para o caule.

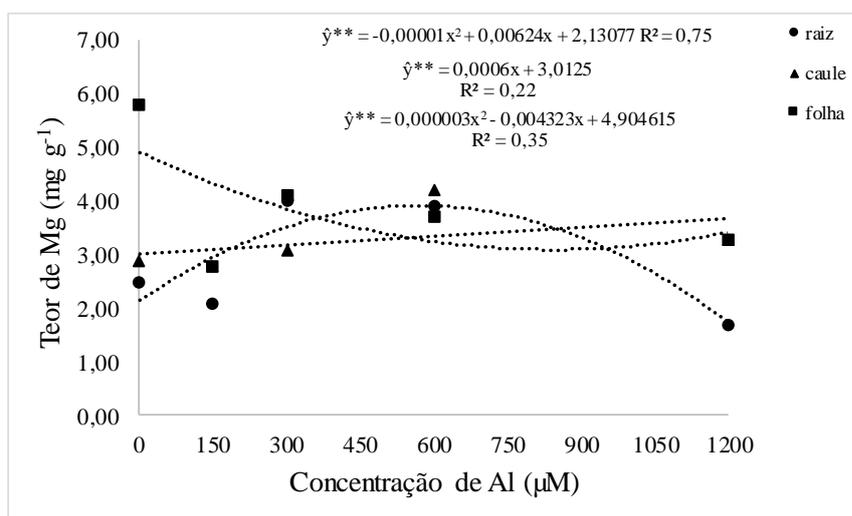


Figura 48. Análise de regressão dos teores de magnésio nas raízes, caules e folhas de plântulas de mangaba (*Hancornia speciosa* Gomes), submetidas a diferentes concentrações de alumínio em solução nutritiva completa. **Significativo ao nível de 1% de probabilidade. CV (%) = 16,06 (raiz), 5,49 (caule) e 9,96 (folha).

Para a raiz, o modelo de regressão que melhor apresentou os resultados foi linear, com constante aumento da absorção de enxofre em relação aos tratamentos aplicados. Na maior dose, a média foi de $4,70 \text{ mg g}^{-1}$, com cerca de $1,70 \text{ mg g}^{-1}$ a mais que o tratamento controle (Figura 49). O caule apresentou perda 45,45% nas médias de S, mostrando que o alumínio afetou a absorção do elemento. Na folha, as três maiores doses 300, 600 e $1200 \mu\text{M}$ Al proporcionaram as maiores médias com aumento de 50% do teor de enxofre em comparação com as doses de 0 e $150 \mu\text{M}$ (Figura 49).

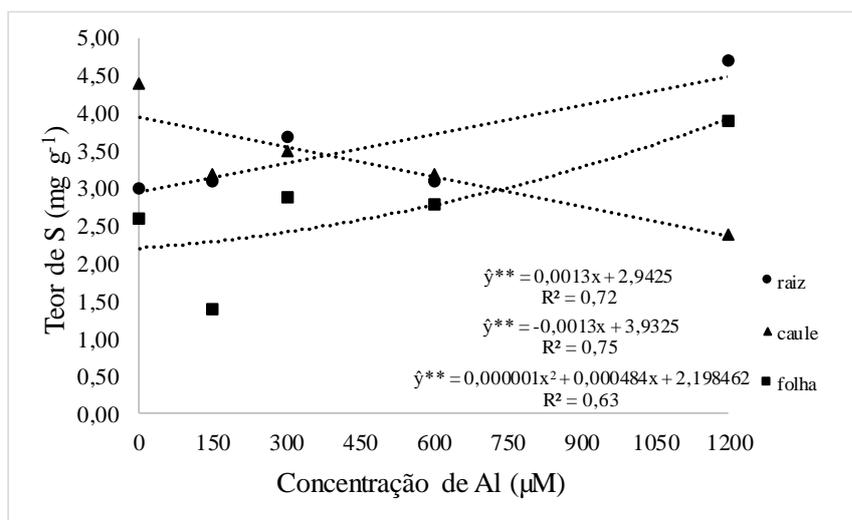


Figura 49. Análise de regressão dos teores de enxofre nas raízes, caules e folhas de plântulas de mangaba (*Hancornia speciosa* Gomes), submetidas a diferentes concentrações de alumínio em solução nutritiva completa. **Significativo ao nível de 1% de probabilidade. CV (%) = 3,59 (raiz), 6,28 (caule) e 8,7 (folha).

Na absorção de cobre pela raiz, apenas o tratamento de $600 \mu\text{M}$ Al obteve média abaixo do controle. Para as demais doses, o efeito foi favorável à absorção do elemento. No caule, o menor teor de cobre foi igual a $0,013 \text{ mg g}^{-1}$ para a concentração de $1200 \mu\text{M}$ de Al, enquanto o maior teor foi igual a $0,025 \text{ mg g}^{-1}$ para o tratamento de $600 \mu\text{M}$ Al, mostrando que na maior concentração de alumínio o efeito foi negativo na absorção de cobre pela raiz (Figura 50). Para as folhas, o efeito não foi significativo.

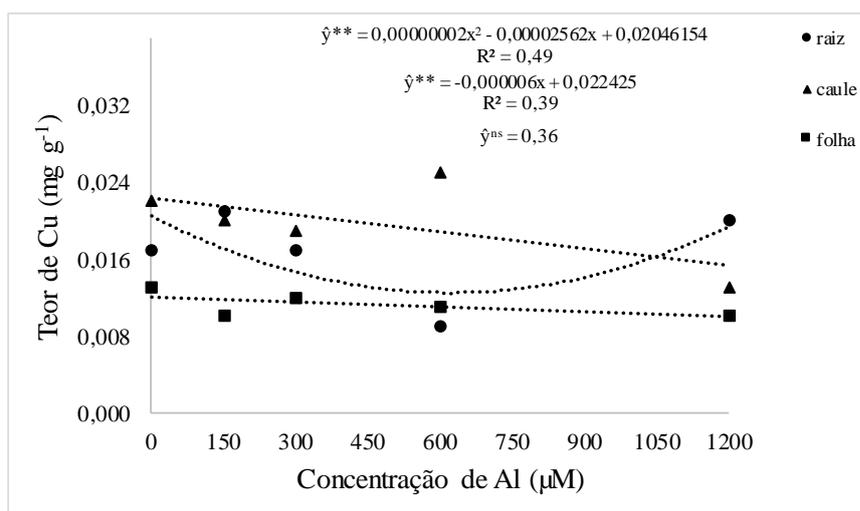


Figura 50. Análise de regressão dos teores de cobre nas raízes, caules e folhas de plântulas de mangaba (*Hancornia speciosa* Gomes), submetidas a diferentes concentrações de alumínio em solução nutritiva completa. **Significativo ao nível de 1% de probabilidade e NS – não significativo. CV (%) = 5,95 (raiz), 9,03 (caule) e 14,40 (folha).

Analisando o micronutriente ferro, a análise de regressão que melhor representou os dados foi a linear para raiz, quadrática para caule e cúbica para folha. Na raiz, o tratamento de 150 µM de Al estimulou a absorção de Fe e para as demais doses houve queda progressiva. Na análise dos teores de Fe no caule, apenas a dose de 150 µM apresentou índices menores que o tratamento controle, visto que as demais concentrações de alumínio tiveram efeito positivo. Notou-se que as médias das folhas de todos os tratamentos apresentaram perda na absorção do ferro, quando comparadas ao controle, 0,27 mg g⁻¹ (Figura 51).

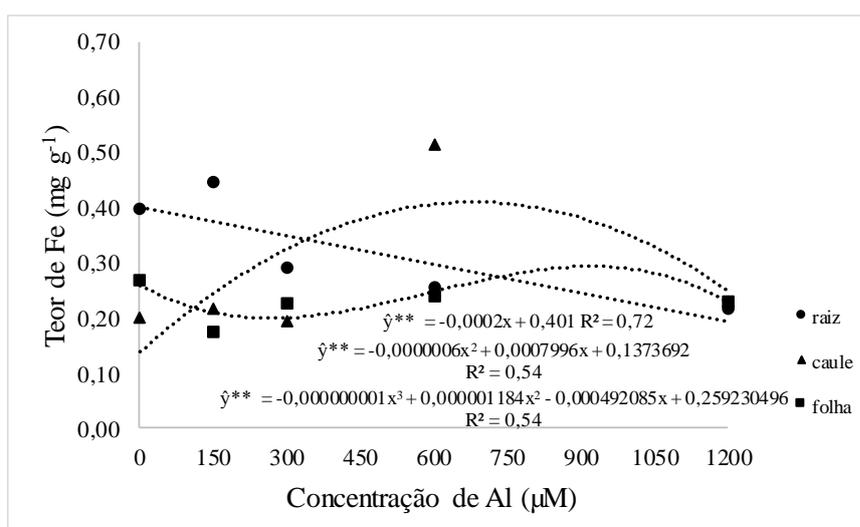


Figura 51. Análise de regressão dos teores de ferro nas raízes, caules e folhas de plântulas de mangaba (*Hancornia speciosa* Gomes), submetidas a diferentes concentrações de alumínio em solução nutritiva completa. **Significativo ao nível de 1% de probabilidade. CV (%) = 1,43 (raiz), 0,88 (caule) e 2,59 (folha).

Para o manganês, o modelo que melhor se ajustou à distribuição dos dados foi o quadrática para folha e raiz e linear para o caule. Na raiz, as médias de 0 e 150 μM de Al foram iguais a $0,012 \text{ mg g}^{-1}$, e nos demais tratamentos houve decréscimo nas médias, conforme o aumento das doses. Observou-se que para o caule as doses de 150 e 300 μM estimularam a absorção de Mn em 16,66%. O efeito de absorção de manganês na folha aumentou nas doses de 300, 600 e 1200 μM (Figura 52).

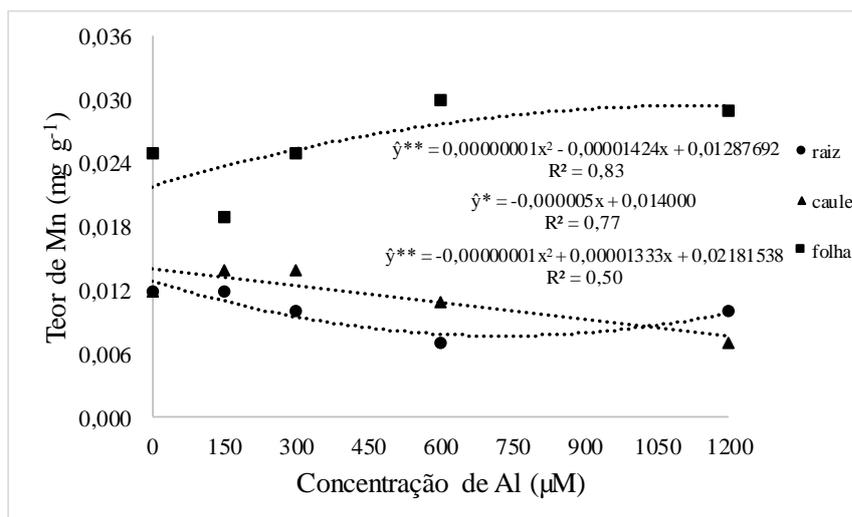


Figura 52. Análise de regressão dos teores de manganês nas raízes, caules e folhas de plântulas de mangaba (*Hancornia speciosa* Gomes), submetidas a diferentes concentrações de alumínio em solução nutritiva completa. **Significativo ao nível de 1% de probabilidade e *Significativo ao nível de 5% de probabilidade CV (%) = 9,80 (raiz), 25,28 (caule) e 4,94 (folha).

No caule, observou-se efeito negativo para o zinco em todos os tratamentos com Al, sendo que a maior dose (1200 μM de Al) proporcionou decréscimo de 63,26% para caule e 52,63% na folha. Para raiz, apenas a dose de 150 μM mostrou aumento dos teores de zinco, com média de $0,070 \text{ mg g}^{-1}$. A análise de regressão que melhor representou os resultados foi a linear para raiz, caule e folha (Figura 53).

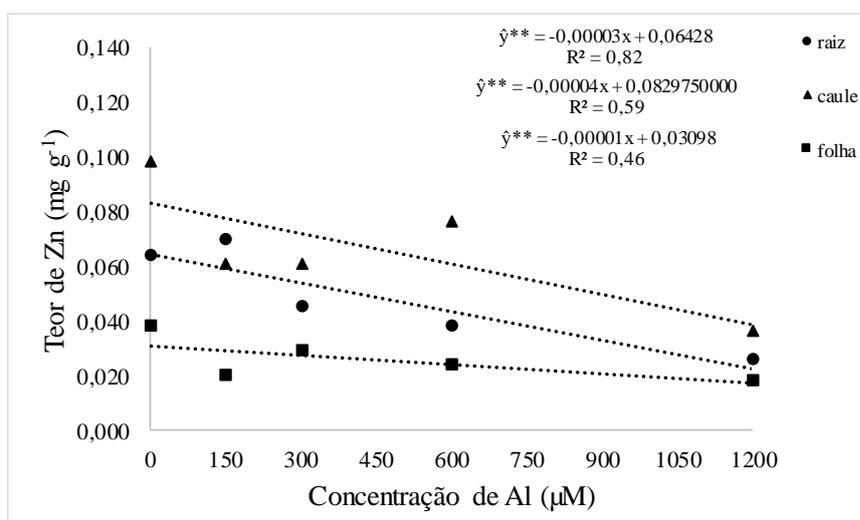


Figura 53. Análise de regressão dos teores de zinco nas raízes, caules e folhas de plântulas de mangaba (*Hancornia speciosa* Gomes), submetidas a diferentes concentrações de alumínio em solução nutritiva completa. **Significativo ao nível de 1% de probabilidade e *Significativo ao nível de 5% de probabilidade CV (%) = 3,05 (raiz), 2,23 (caule) e 21,3 (folha).

5.4. Anatomia dos ápices radiculares de *Eugenia dysenterica* e *Hancornia speciosa* mantidas em solução nutritiva completa e simples.

5.4.1. Cagaita solução completa

Analisando os cortes longitudinais das raízes das plântulas de cagaita em solução nutritiva completa com diferentes doses de alumínio, foram observadas alterações anatômicas nos ápices radiculares e modificações no diâmetro da raiz, conforme o aumento das doses de Al (Figura 54). As Figuras 54 A e B se referem à raiz das plântulas que foram cultivadas em solução nutritiva completa, sem a presença de alumínio, podendo ser observada a integridade dos tecidos vegetais dispostos de forma organizada, o mesmo foi observado nas concentrações de 150 e 300 µM de Al. As células começaram a apresentar deformidades na dose de 600 µM de Al, Figuras 54 G e H, e os efeitos no ápice da raiz aumentaram gradativamente até as Figuras 54 I e J, correspondendo à dosagem de 1200 µM Al. Nos tratamento de 600 e 1200 µM de Al, os efeitos foram se tornando mais evidentes, ocorrendo desorganização da região correspondente ao meristema apical com cloroplastos maiores e arranjos irregulares da células.

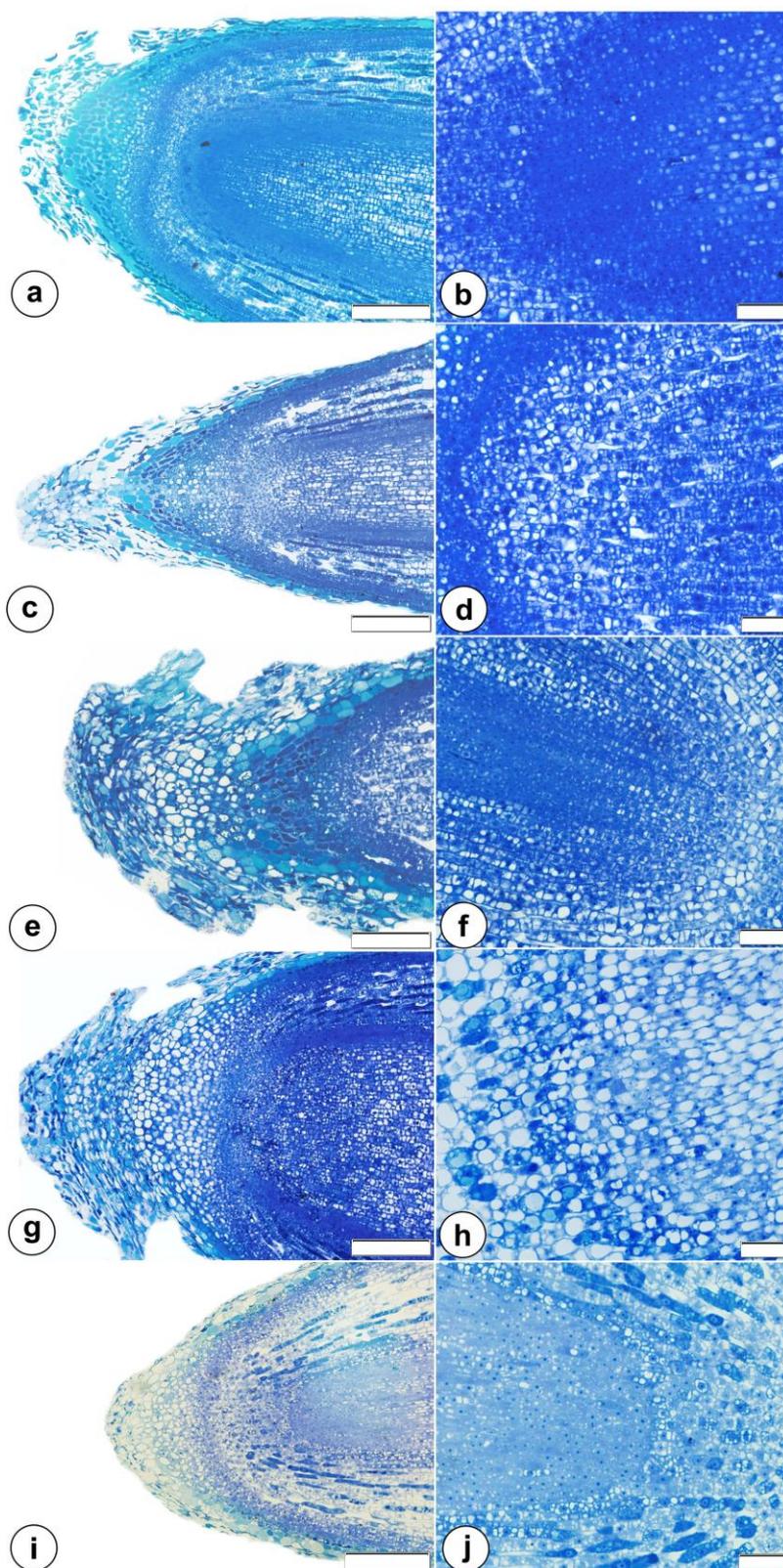


Figura 54. Micrografias óticas de cortes longitudinais de raízes de plântulas de cagaita (*Eugenia dysenterica* DC.), coradas com azul de toluidina após terem sido mantidas em solução nutritiva completa com diferentes concentrações de alumínio por 37 dias. A – sem Al; B – 150 μM de Al; C – 300 μM de Al; D – 600 μM de Al e E - 1200 μM de Al. A, C, E, G e I Barras = 200 μm ; B, D, F, H e J Barras = 50 μm .

A Figura 55 mostra a mensuração do diâmetro do ápice radicular de *Eugenia dysenterica*. Foram observados decréscimos de 21,08%, 31,09% e 39,98%µm no diâmetro das raízes submetidas aos tratamentos com 150, 300 e 1200 µM de Al, constatando efeito do alumínio no desenvolvimento do diâmetro das raízes. Para o tratamento com 600 µM de Al, a espessura do ápice radicular foi 20,30% superior ao tratamento controle.

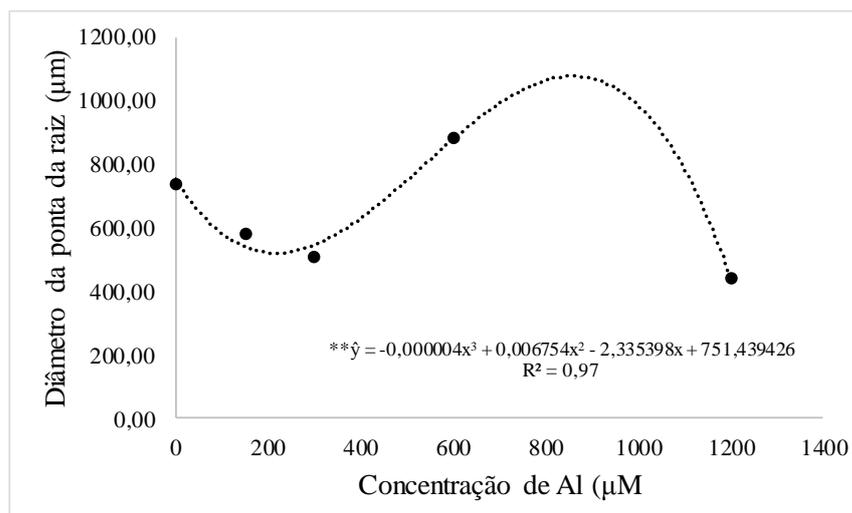


Figura 55. Diâmetro da ponta das raízes (µm) das plântulas de cagaita (*Eugenia dysenterica* DC.), mantidas em solução nutritiva completa com diferentes concentrações de alumínio. Significativo ao nível de 1% de probabilidade. CV (%) = 16,97.

Para as análises de fluorescência utilizando os fluorocromos morin e DAPI, foram observados presença do alumínio nas células do ápice da raiz e núcleos das células no ápice radicular. Os testes com morin apresentaram de forma crescente presença do alumínio na parede celular, marcada de verde, nos 5 tratamentos (Figura 56 A, C, E, G e I). O tratamento controle sem a presença de alumínio apresentou poucas células marcadas com morin, com fraca fluorescência, mostrando a baixa concentração desse elemento nesse tratamento (Figura 56 A). As Figuras 56 G e I apresentam núcleos e citoplasma com coloração mais destacada, mostrando presença do alumínio nessas células. Com a utilização do fluorocromo DAPI, foi revelado um decréscimo na quantidade de núcleos conforme o aumento das concentrações de alumínio (Figuras 56 B, D, F, H e J). Comparando a Figura 56 B sem a presença de alumínio com a Figura 56 J tratamento com 1200 µm de Al, foram observadas diminuição no número de núcleos e perda de fluorescência.

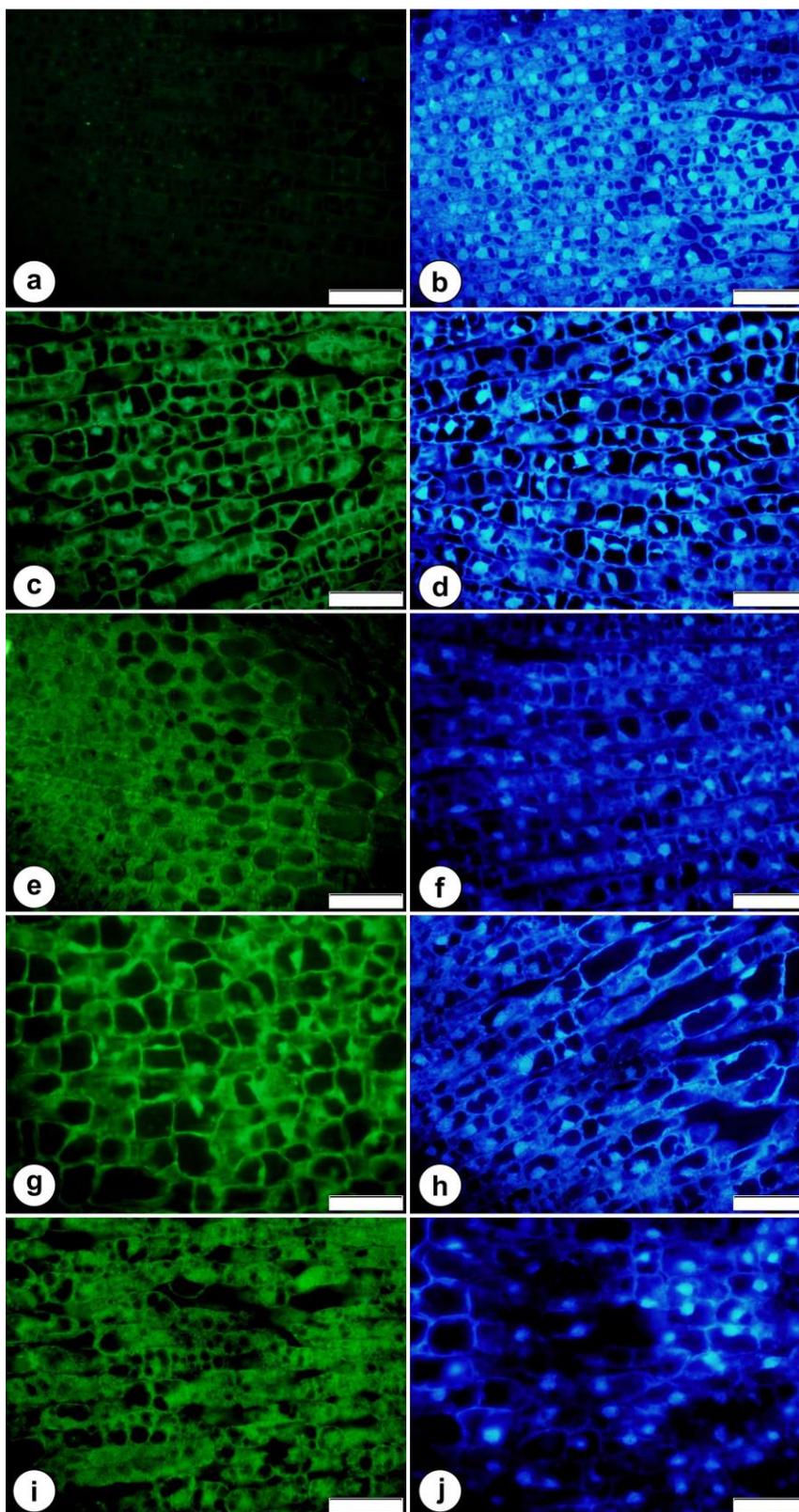


Figura 56. Micrografias de fluorescência de cortes longitudinais de raízes de plântulas de cagaita (*Eugenia dysenterica* DC.), tratados com o fluorocromo morin (fotos à esquerda) e fluorocromo DAPI (fotos à direita) após terem sido mantidos em solução nutritiva completa com diferentes concentrações de alumínio por 37 dias, sendo: A e B – Sem Al; C e D - dose 150 μM de Al; E e F - dose 300 μM de Al; G e H – dose 600 μM de Al; I e J – dose 1200 μM de Al. A fluorescência verde indica a presença de alumínio e a azul a presença de DNA. Barras de 50 μm .

5.4.2. Cagaita solução simples

A Figura 57 apresenta os cortes dos ápices radiculares de *Eugenia dysenterica*, corados com azul de toluidina, expostos aos diferentes tratamentos com alumínio. Analisando as Figuras 57 A e B, sem Al, observou-se que as células do meristema apical são constituídas por pequenas células justapostas com núcleo evidente, tendo a coifa formação uniforme com integridade das células do ápice radicular. Nos tratamentos com alumínio, Figuras 57 C, D, E, F, G e H, foram observadas raízes mais grossas e células alongadas. Para os tratamentos com 1200 μM de Al, as raízes ficaram mais delgadas, constatando-se células meristemáticas bastante colapsadas, com vacúolos grandes e numerosos, presença de espaços intercelulares e destacamento da coifa do centro (Figuras 57 I e J).

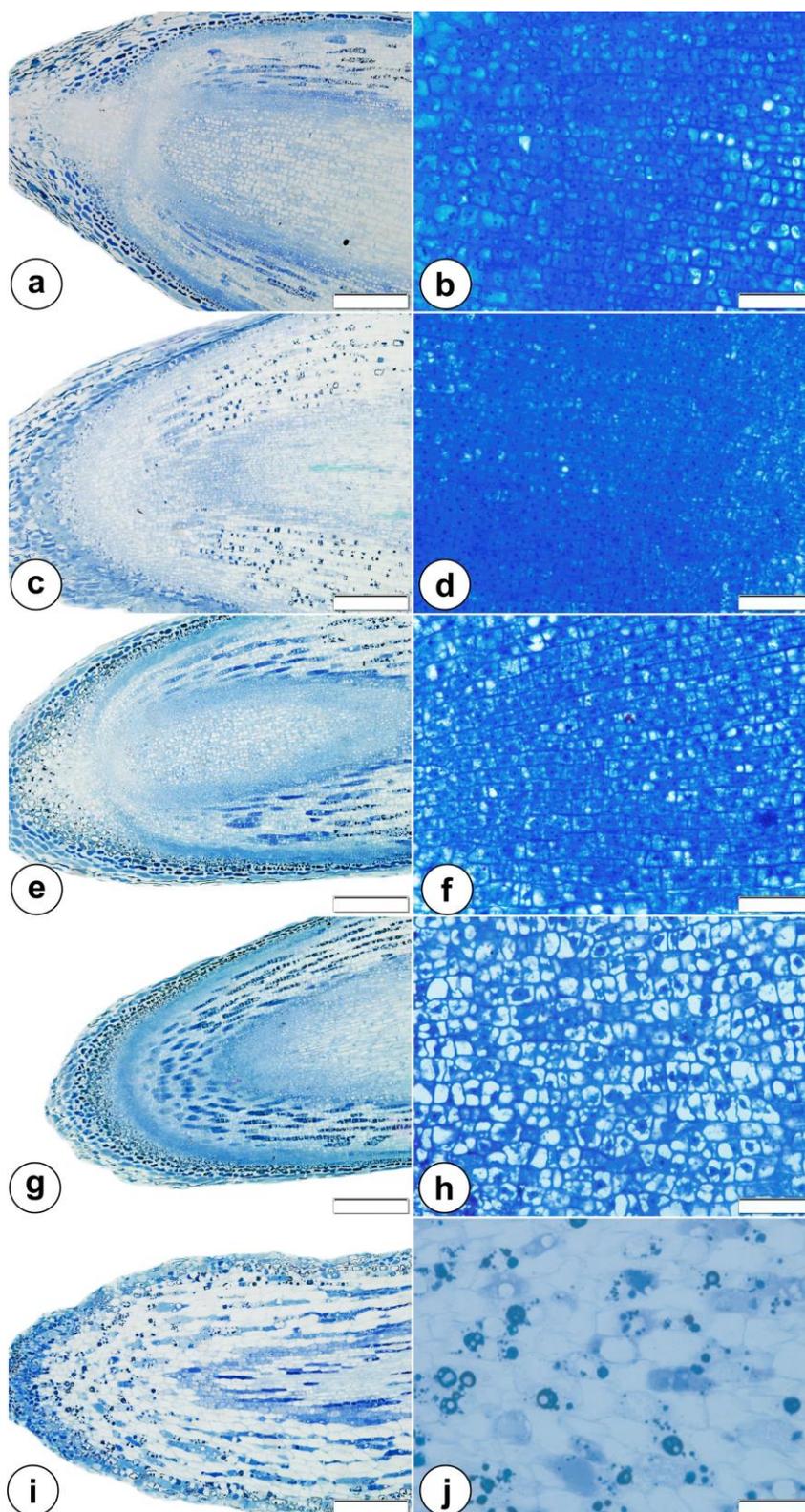


Figura 57. Micrografias óticas de cortes longitudinais de raízes de plântulas de cagaita (*Eugenia dysenterica* DC.), corados com azul de toluidina após terem sido mantidos em solução nutritiva simples com diferentes concentrações de alumínio por 37 dias. Círculo representa a desorganização do meristema apical e o asterisco mostra os espaços intercelulares. Sendo: A – sem Al; B – 150 μM de Al; C – 300 μM de Al; D – 600 μM de Al e E - 1200 μM de Al. A, C, E, G e I Barras = 200 μm ; B, D, F, H e J Barras = 50 μm .

A análise de variância das médias do diâmetro do ápice radicular mostrou efeito significativo dos tratamentos com o melhor ajuste para regressão polinomial quadrática (Figura 58). Para o diâmetro da ponta das raízes, o decréscimo foi contínuo para os tratamentos 150, 300, 600 μM de Al com perdas de 1,83, 5,66 e 22,82%. O tratamento com a maior dose de alumínio, 1200 μM , mostrou aumento de 15,39% no diâmetro radicular, quando comparado com a dose de 600 μM de Al.

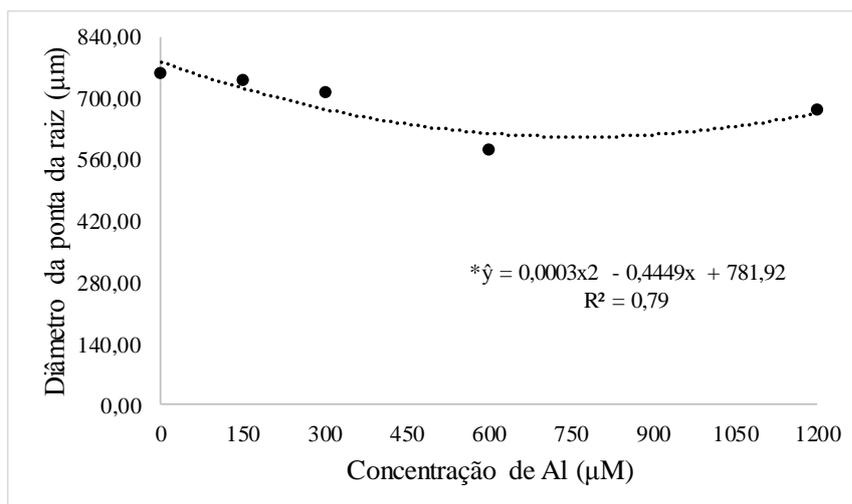


Figura 58. Diâmetro da ponta das raízes (μm) das plântulas de cagaita (*Eugenia dysenterica* DC.), mantidas em solução nutritiva simples com diferentes concentrações de alumínio. Significativo ao nível de 5% de probabilidade. CV (%) = 3,84.

O morin demonstrou que, nas concentrações de 600 e 1200 μM de Al, houve acúmulo do Al nas células com maior intensidade da fluorescência (Figura 59 G e I), com destaque da figura 59 G. A fluorescência azul, marcada com o DAPI revelou maior intensidade de núcleos na ausência de alumínio (Figura 59 B), para os demais tratamentos a intensidade de núcleos, e intensidade da fluorescência foram menores, comprovando, que em doses de 600 e 1200 μM de alumínio ocorre perda de núcleos, principalmente, nas duas maiores concentrações de alumínio (Figura 59 H e J).

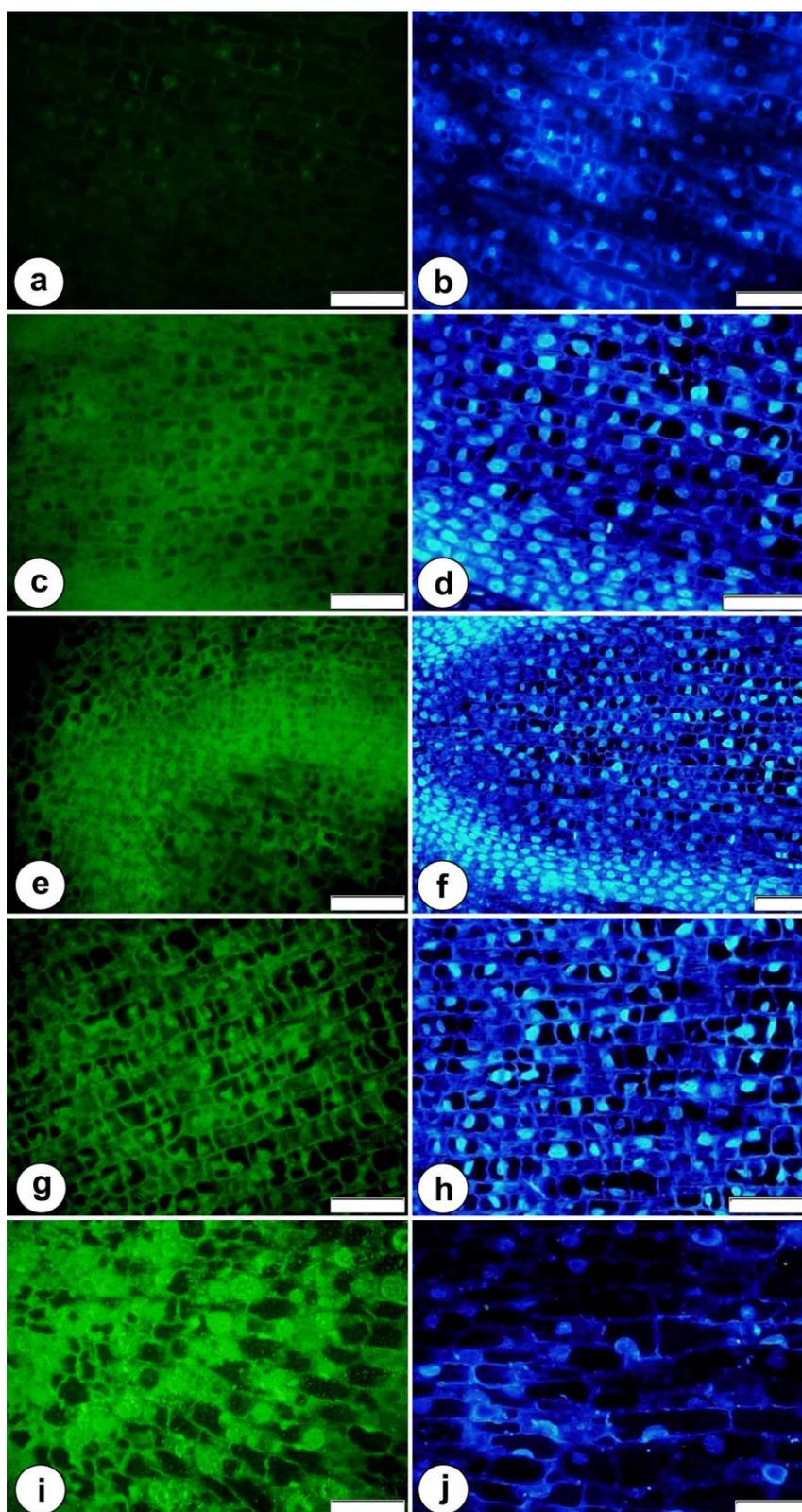


Figura 59. Micrografias de fluorescência de cortes transversais de raízes de plântulas de cagaita (*Eugenia dysenterica* DC.), tratados com o fluorocromo morin (fotos à esquerda) e fluorocromo DAPI (fotos à direita) após terem sido mantidos em solução nutritiva simples com diferentes concentrações de alumínio por 37 dias, sendo: A e B – Sem Al; C e D - dose 150 μ M de Al; E e F - dose 300 μ M de Al; G e H – dose 600 μ M de Al; I e J – dose 1200 μ M de Al. A fluorescência verde indica a presença de alumínio e a azul a presença de DNA. com barras de 50 μ m.

5.4.3. Mangaba solução completa

A Figura 60 apresenta os aspectos anatômicos das raízes de mangaba submetidas aos tratamentos com alumínio. Nas Figuras 60 A e B, sem a presença de alumínio, observou-se que as células do meristema apical estão dispostas de forma organizada, constituída por vacúolos e núcleos bem definidos. Já nos tratamentos com 300, 600 e 1200 μM de Al, ocorreram engrossamento da raiz, expansão das células do meristema apical, desorganização dos tecidos com a presença de espaçamentos entre as células e maior número de células mortas, Figuras 60 E, F, G, H, I e J, com exceção do tratamento com 150 μM de Al, Figuras 60 C e D, que apresentou características bem similares ao tratamento controle.

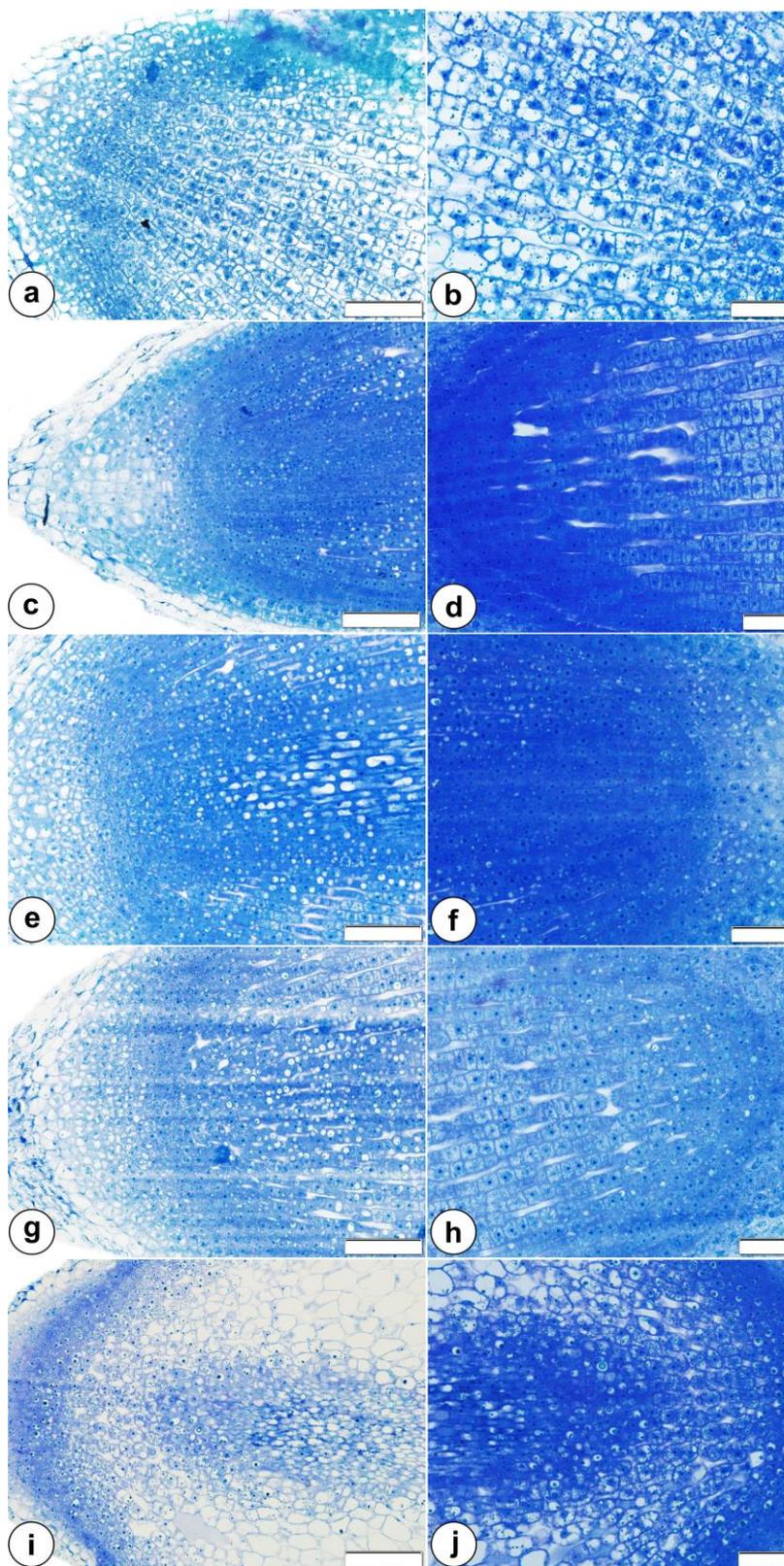


Figura 60. Micrografias óticas de cortes longitudinais de raízes de plântulas de mangaba (*Hancornia speciosa* Gomes), corados com azul de toluidina após terem sido mantidos em solução nutritiva completa com diferentes concentrações de alumínio por 37 dias. Círculo representa a desorganização do meristema apical e asterisco mostra os espaços intercelulares. A – sem Al; B – 150 μM de Al; C – 300 μM de Al; D – 600 μM de Al e E - 1200 μM de Al. A, C, E, G e I Barras = 100 μm ; B, D, F, H e J Barras = 50 μm .

As análises do diâmetro da ponta raiz de *Hancornia speciosa* mostrou que os tratamentos com Al não afetaram o seu desenvolvimento.

A presença de alumínio nos ápices radiculares de mangaba foi confirmada com o fluorocromo morin, mostrando que, em doses mais altas de Al, houve maior intensidade da fluorescência das células, que acumularam esse elemento químico, com exceção do tratamento controle, onde houve baixa fluorescência pelo morin (Figura 61 A). Na figura 61 C, E, G e I, além do citoplasma, os núcleos também apresentaram forte fluorescência, com destaque para a figura 61 I, indicando forte afinidade do Al por essa região da célula. Já o uso do DAPI revelou um grande número de núcleos na ausência do Al, através da fluorescência azul, (Figura 61 B), enquanto que nos demais tratamentos a quantidade de núcleos e intensidade da fluorescência foi menor, caracterizando uma redução na quantidade de DNA (Figura 61 D, F e J), com exceção do tratamento com 600 μm Al que possui presença de núcleos bem similar a dose sem alumínio.

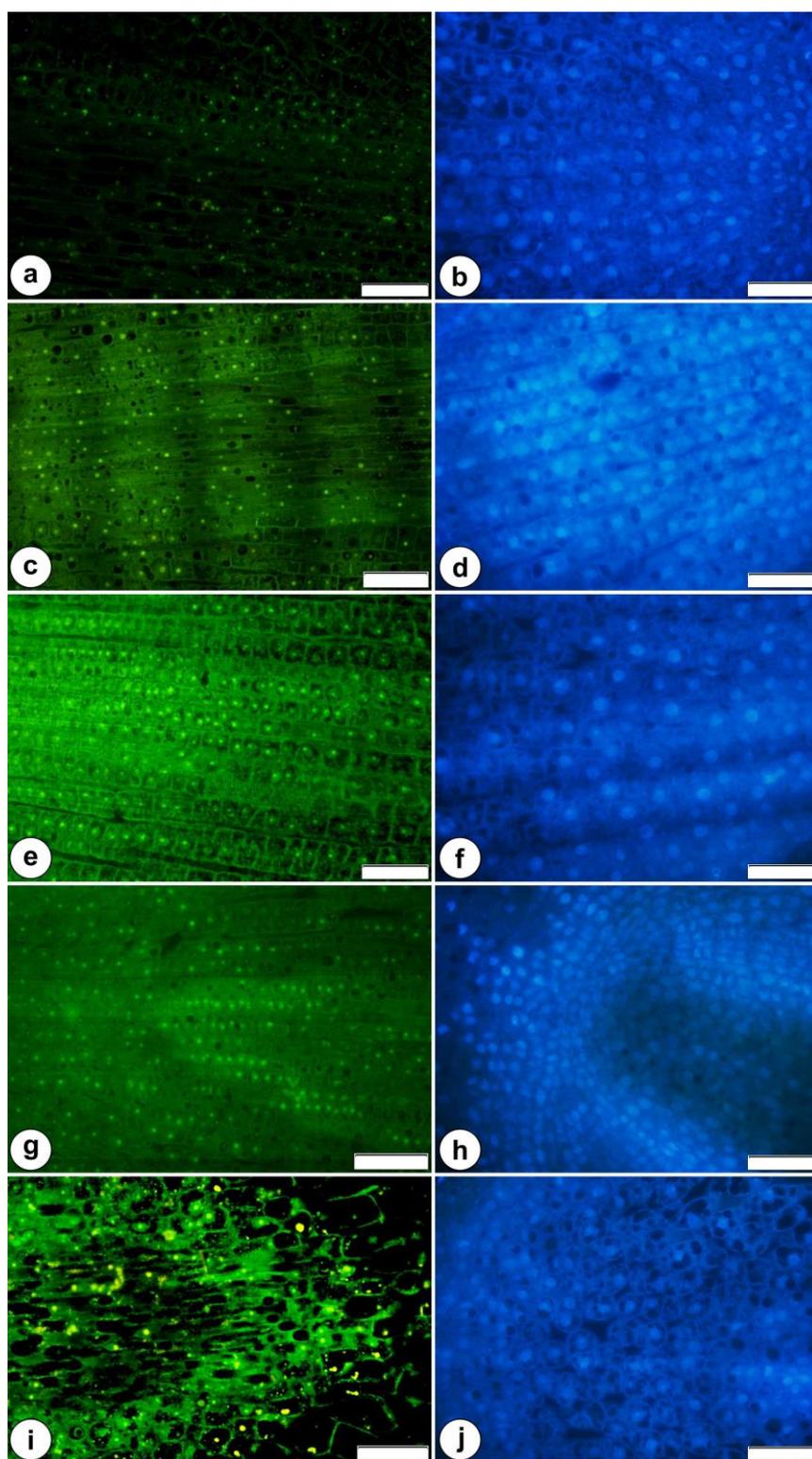


Figura 61. Micrografias de fluorescência de cortes transversais de raízes de plântulas de mangaba (*Hancornia speciosa* Gomes), tratados com o fluorocromo morin (fotos à esquerda) e fluorocromo DAPI (fotos à direita) após terem sido mantidos em solução nutritiva completa com diferentes concentrações de alumínio por 37 dias, sendo: A e B – Sem Al; C e D - dose 150 μM de Al; E e F – dose de 300 μM de Al; G e H – dose de 600 μM de Al; I e J – dose de 1200 μM de Al. Barras de 50 μm .

5.4.4. Mangaba solução simples

Em presença de alumínio, os ápices radiculares de *Hancornia speciosa* corados com azul de toluidina apresentaram engrossamento conforme o aumento da dose de Al (Figura 62). Na dose sem alumínio, Figuras 62 A e B, observou-se que as células do meristema radicular, a coifa e a epiderme apresentaram uniformidade e integridade das estruturas. Nos tratamentos com 150 e 300 μM de Al, Figuras 62 C, D, E e F, foram observadas raízes mais grossas, quando comparadas com o controle. O tratamento com 600 e 1200 μM de Al obteve o maior diâmetro da ponta da raiz, com presença de células colapsadas nos vacúolos e núcleos (Figuras 62 I e J).

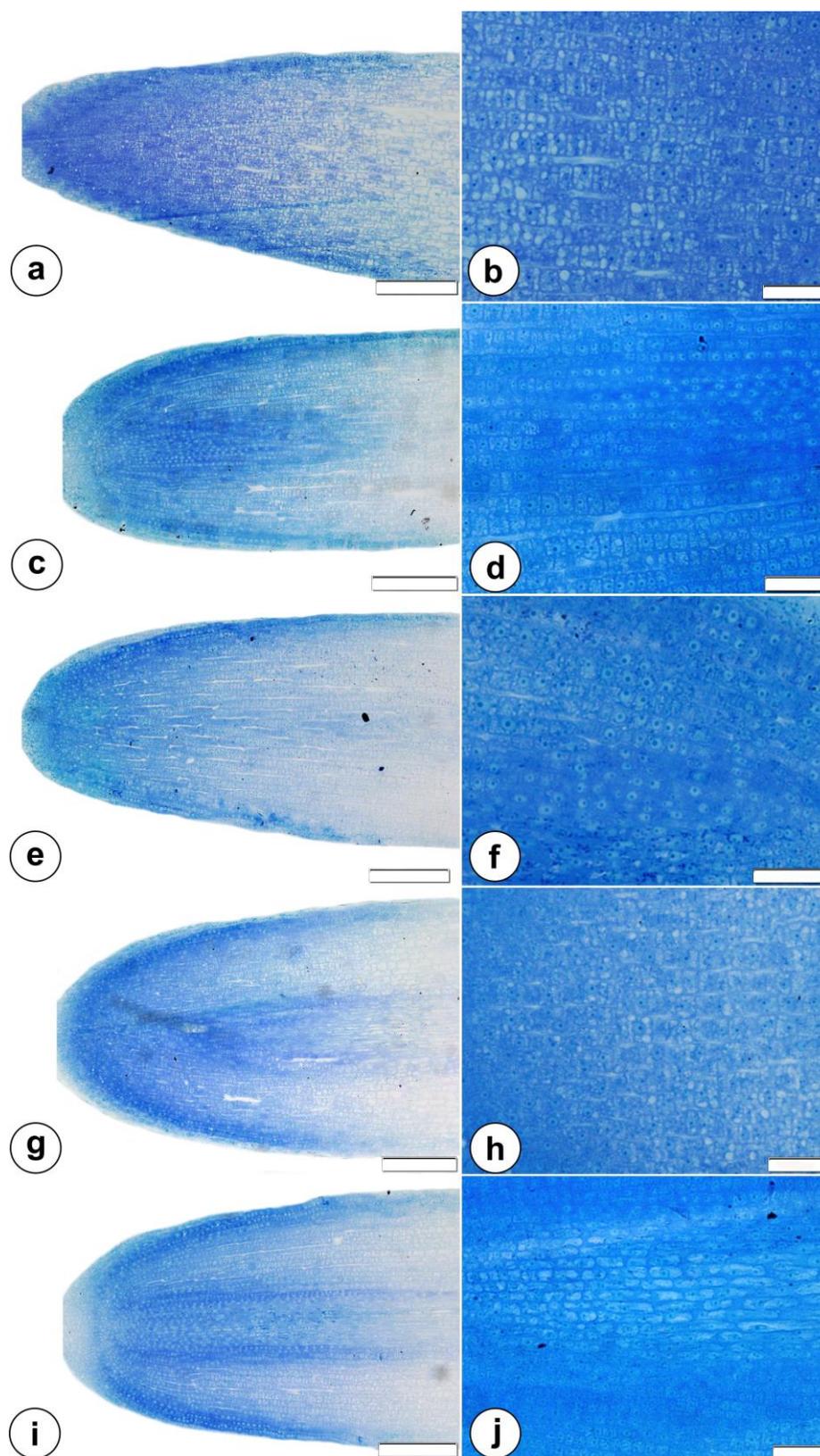


Figura 62. Micrografias óticas de cortes longitudinais de raízes de plântulas de mangaba (*Hancornia speciosa* Gomes), corados com azul de toluidina, após terem sido mantidos em solução nutritiva simples com diferentes concentrações de alumínio por 37 dias. Linhas representam o alongamento do meristema apical em relação às doses de alumínio. A – sem Al; B – 150 μM de Al; C – 300 μM de Al; D – 600 μM de Al e E - 1200 μM de Al. A, C, E, G e I Barras = 200 μm ; B, D, F, H e J Barras = 50 μm .

As análises do diâmetro da raiz das plântulas de mangaba mostraram crescimento de 8,82, 7,03, 50,85 e 41,84% nas doses de 150, 300, 600 e 1200 μM Al, quando comparadas ao controle (Figura 63). Todas as doses de alumínio estimularam o desenvolvimento do diâmetro radicular e acarretaram maior espaçamento das células meristemáticas, com a maior presença de células mortas.

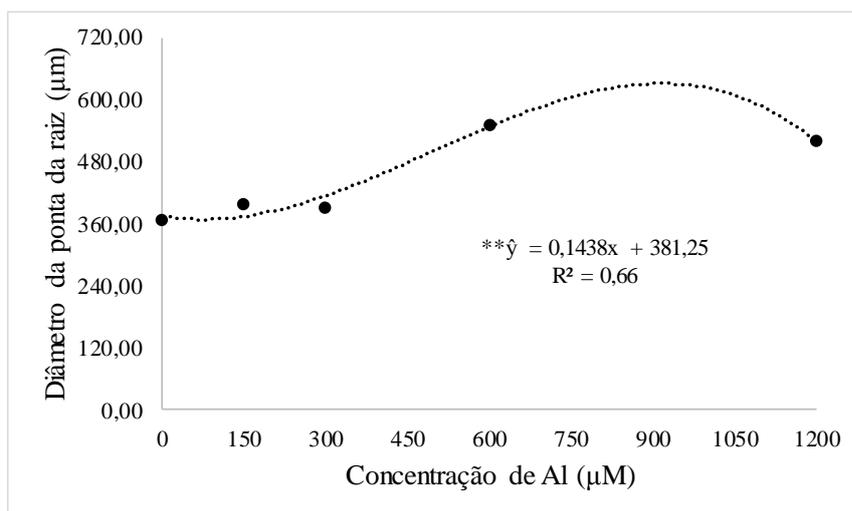


Figura 63. Diâmetro da ponta das raízes (μm) das plântulas de mangaba (*Hancornia speciosa* Gomes), mantidas em solução nutritiva simples com diferentes concentrações de alumínio. Significativo ao nível de 5% de probabilidade. CV (%) = 3,28.

O acúmulo de alumínio no meristema apical de *Hancornia speciosa* submetido ao fluorocromo Morin, nos tratamentos de 300, 600 e 1200 μM de Al (Figura 64 E, G e I), revelou coloração esverdeada uniforme e intensa com grande presença de alumínio no meristema radicular. Os tratamentos com 0 e 150 μM de Al (Figura 64 A e C), tiveram baixa fluorescência, com menor acúmulo de alumínio na raiz. Os ápices radiculares das plântulas de mangaba em solução simples apresentaram, de forma crescente, a diminuição de núcleos marcados com o fluorocromo DAPI, com maior intensidade de núcleos, na ausência de alumínio (Figura 64 B). Para os demais tratamentos a intensidade de núcleos, e fluorescência foram menores, com desestruturação das células, do meristema radicular (Figura 64 H e J).

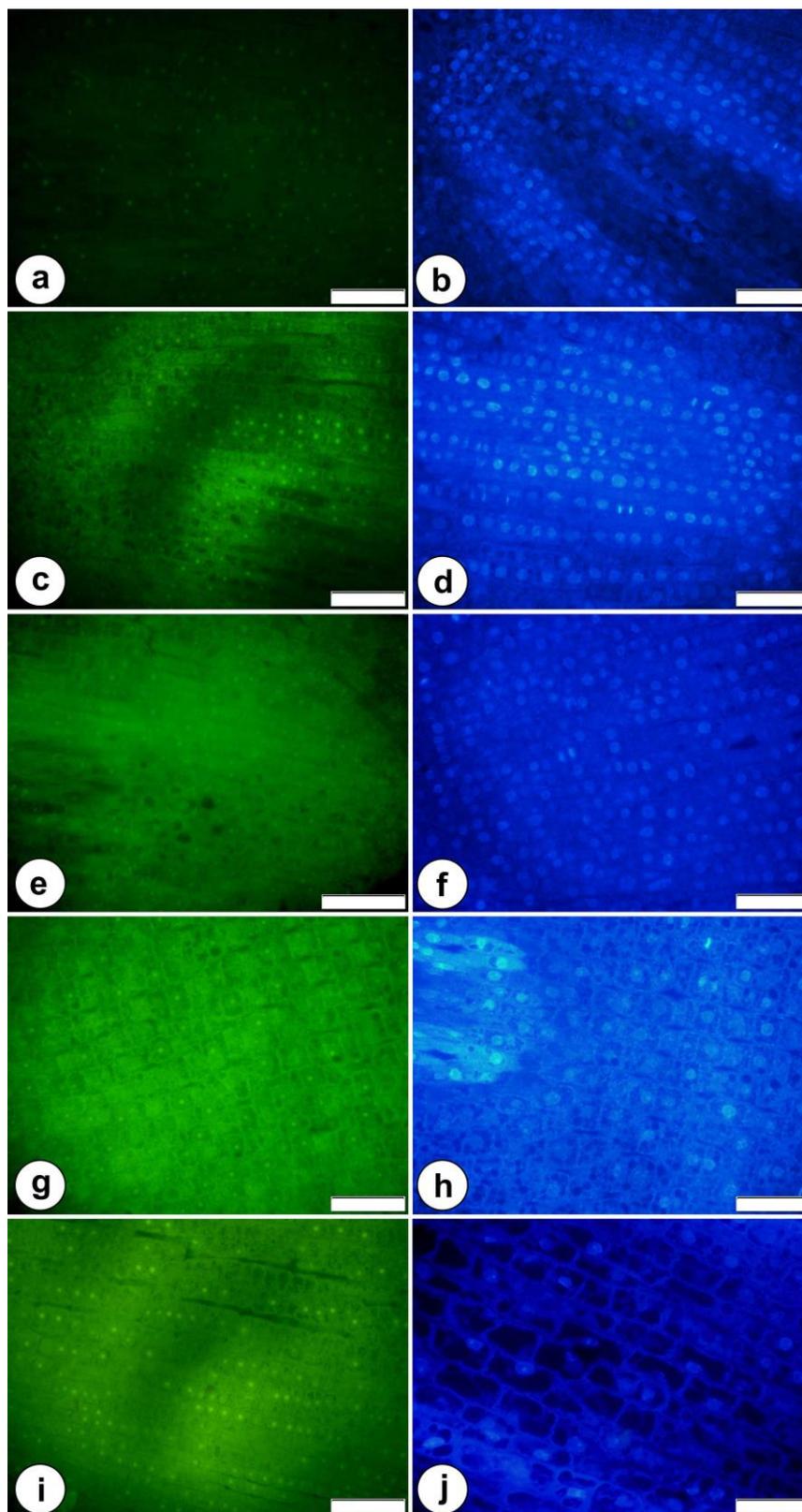


Figura 64. Micrografias de fluorescência de cortes transversais de raízes de plântulas de mangaba (*Hancornia speciosa* Gomes), tratados com o fluorocromo morin (fotos à esquerda) e fluorocromo DAPI (fotos à direita) após terem sido mantidos em solução simples com diferentes concentrações de alumínio por 37 dias, sendo: A e B – Sem Al; C e D - dose 150 μ M de Al; E e F. barras de 50 μ m.

6. DISCUSSÃO

6.1. Germinação e emergência da cagaita e mangaba cultivadas em papel germitest e substrato areia com diferentes concentrações de alumínio.

Na germinação de mangaba, houve decréscimo do comprimento da raiz e diâmetro do caule, conforme o aumento das doses de Al, sendo que os demais testes empregados não foram significativos. Na avaliação do efeito do alumínio nos testes de emergência em mangaba, observou-se que os tratamentos utilizados promoveram efeito fitotóxico no processo de desenvolvimento da plântula e que, apenas no comprimento da raiz, doses de 150 e 600 μM de Al mostraram efeito estimulante do alumínio no processo de crescimento radicular. Os tratamentos com alumínio nas análises de emergência de cagaita estimularam o comprimento e o diâmetro da raiz, de forma que o aumento das doses promoveu o maior desenvolvimento radicular. Os testes de IVE e plântulas normais e anormais não apresentaram diferenças entre os tratamentos com Al. Para a germinação, o efeito foi contrário, pois o alumínio inibiu o comprimento da raiz. As demais análises feitas em cagaita também não mostraram diferenças estatísticas entre os tratamentos.

Segundo Haussler et al. (2006), sementes de *B. ruziziensis* e *B. dictyoneura* cultivadas em solos com alta saturação de alumínio (76 a 87%) são capazes de desenvolver o sistema radicular sem apresentar sintomas de toxicidade a esse elemento. Por outro lado, Almeida, Monteiro e Jank (2000) afirmam que a presença de alumínio influencia, de forma distinta, no crescimento radicular dos 30 genótipos de *Panicum maximum* estudados por eles, sendo que, para a maioria dos genótipos, o comprimento das raízes foi grandemente inibido pela presença do alumínio, havendo comportamento

diferenciado entre eles. Tais resultados mostram o comportamento distinto de cada espécie em relação aos tratamentos com alumínio.

De acordo com Stefanello et al. (2006), situações estressantes que ocorrem durante a fase de germinação podem originar plântulas com menor taxa de crescimento por apresentarem menor capacidade de transformação do suprimento de reserva e menor capacidade de incorporá-los ao eixo embrionário, resultando em menor acúmulo de biomassa. Portanto, os tratamentos com alumínio podem reduzir o processo de germinação, uma vez que exercem influências sobre o metabolismo também das sementes, pois as membranas celulares são afetadas, quando expostas a concentrações de alumínio, fator este que pode ser observado principalmente na cagaita. Provavelmente, o substrato utilizado também tenha influenciado a embebição das sementes, podendo tal fator influenciar na maior sensibilidade ou tolerância das espécies aos tratamentos. O primeiro estágio de desenvolvimento das plantas é a germinação das sementes, que é influenciada diretamente pelas condições ambientais. Estas condições estão relacionadas com as propriedades do substrato no qual a semente é dispersa (YAMASHITA e GUIMARÃES, 2011)

O índice de velocidade de emergência da mangaba apresentou diferença entre os tratamentos com alumínio, promovendo efeito tóxico na mangaba, diminuindo o índice conforme o aumento das doses, com perda de 41,96% para o tratamento com 1200 μM de Al. Para o índice de velocidade de germinação, o efeito do Al não se diferenciou nos 5 tratamentos.

Koszo, Rinaldi e Barbedo (2007) observaram efeitos tóxicos do alumínio em sementes de *Erythrina speciosa* e *Eugenia brasiliensis* embebidas em solução de AlCl_3 , a partir do pH 3,5, constatando que estes efeitos do alumínio se manifestam antes de se iniciar a protrusão da raiz primária. Como no presente estudo, Yamashita e Guimarães (2011) observaram que a germinação e a velocidade de germinação de sementes de *Conyza canadensis* e *Conyza bonariensis* foram influenciadas pelas concentrações da solução de alumínio. Custódio et al. (2002), por outro lado, não observaram efeito das concentrações de alumínio (0; 0,25; 0,5; 1 e 1,5 mmolc dm^{-3}), na germinação de diferentes cultivares de soja.

Colodetti et al. (2012), avaliando as médias de germinação e comprimento de radícula de plântulas de três cultivares de pepino submetidas a concentrações crescentes de alumínio, notaram que, até a concentração de 50 mmol dm^{-3} , o alumínio não causou variação na germinação das cultivares. Entretanto, na maior concentração avaliada, a

cultivar Aodai apresentou média superior às demais, enquanto a cultivar Marketmore 76 apresentou a menor média de germinação. Esse fato indica que as cultivares podem apresentar distinção de comportamento em ambientes com maior quantidade de alumínio em solução.

As sementes de mangaba apresentaram o maior número de plântulas normais no tratamento controle para o teste de emergência. As doses mais altas de Al diminuíram o percentual de plântulas normais e, conseqüentemente, aumentaram o número de plântulas anormais. Para o teste de germinação, os tratamentos não afetaram as radículas, mostrando resultados não significativos. Segundo Szymanska e Molas (1996), não houve efeito do Al^{3+} na germinação de *Cucumis sativus*. Porém as concentrações de Al^{3+} influenciaram significativamente no crescimento. Em concentrações de 1 a 5 $mg.dm^{-3}$ de Al^{3+} , o crescimento da plântula foi estimulado não acarretando anormalidades morfológicas ou de desenvolvimento, todavia, em concentrações de 20 a 40 $mg.dm^{-3}$ de Al^{3+} , ocorreram inibição do crescimento de plântulas e danos.

6.2. Crescimento de plântulas em cultivo hidropônico em solução nutritiva completa e simples com diferentes concentrações de alumínio.

6.2.1. Cagaita

Segundo Macedo et al. (2011), as doses de alumínio afetam o crescimento das raízes para todas as procedências, sendo as maiores doses, as mais prejudiciais ao crescimento radicular. O sintoma inicial e mais dramático da toxidez de alumínio é a inibição da expansão celular das raízes, o que ocasiona redução e engrossamento do sistema radicular, diminuindo a absorção de água e de nutrientes.

Os primeiros sintomas visíveis de sensibilidade das plântulas às concentrações de Al são a inibição do alongamento radicular, embora essas respostas da raiz venham mostrando comportamento diferente entre espécies de plantas e até mesmo entre cultivares (MATSUMOTO e MOTODA, 2011). Como exemplo, o trabalho de Matsumoto (2002) relata que a alongação da raiz em cultivar de trigo Al-sensível foi inibida por um tratamento de 3 horas com 5 μM Al, enquanto a cultivar tolerante foi inibida por uma concentração 10 vezes maior.

Por outro lado, algumas espécies nativas do cerrado, normalmente lenhosas e perenes, desenvolveram características de acumulação de altas concentrações de Al nas folhas, com níveis superiores a $1.000 \text{ mg Al kg}^{-1}$, como método de desintoxicação do Al nas raízes. Estas espécies também são chamadas de hiperacumuladoras de Al, frequentes nas famílias Euphorbiaceae, Myrtaceae, Rubiaceae, Melastomataceae e Vochysiaceae (CUENCA et al., 1991; JANSEN et al., 2002; e JANSEN et al., 2002).

Neste estudo, observou-se que a cagaita apresentou tolerância aos tratamentos com alumínio e estímulo nas doses de 150, 300 e 600 $\mu\text{M Al}$, quando cultivada em solução simples. Em solução completa, o alumínio promoveu maior fitotoxidez, com queda no crescimento radicular, conforme o aumento das doses.

De modo geral, a composição da solução nutritiva interfere na atividade fitotóxica dos íons de alumínio em solução pela sua interação com os radicais aniônicos, formando complexos solúveis. Deste modo, com o uso de soluções simples, podem ser mais bem identificados os efeitos da toxidez, pois o alumínio estará mais disponível na solução (ROSSIELLO e JACOB NETO, 2006).

Vários estudos mostraram o efeito benéfico do alumínio usado em baixas concentrações, em diversas plantas estudadas, em que a tendência de inibição do crescimento radicular, considerando a aplicação de doses de alumínio, não ocorreu em alguns tratamentos, como relatado para chá (MORITA et al., 2008), milho (COMIN et al., 1999) e maçã (STOLF et al., 2008).

Foy (1983) descreve que, em algumas espécies de plantas, baixas doses de alumínio podem ser benéficas ao seu crescimento. Silva (1992) verificou que o crescimento de plantas de arroz foi estimulado pela adição de até $5 \text{ mg de Al}^{3+} \text{ L}^{-1}$ de solução nutritiva. Já para Silva (2007), em milho, beterraba e em algumas espécies de leguminosas tropicais, concentrações de alumínio que resultam em estimulação de crescimento variam entre $71,4 \mu\text{M}$ e $185 \mu\text{M}$. No entanto, a natureza dos efeitos benéficos do alumínio ainda é desconhecida, mas Huang e Bachelard (1993) postularam que esse estímulo ao crescimento ocorre sob condições de estresse ao H^+ , concluindo que o Al^{3+} minimiza a toxicidade do H^+ .

A alongação radicular relativa se refere a uma avaliação percentual dos efeitos dos tratamentos, analisando o comportamento do crescimento radicular das plântulas crescidas em solução nutritiva simples e completa com e sem Al. Os resultados da avaliação indicaram diminuição da ERR% da cagaita, mostrando toxidez aos tratamentos com alumínio em solução completa; já em solução simples, as doses que

sobressaíram foram de 150, 300 e 600 μM , com efeito estimulante no desenvolvimento das plântulas, ficando clara a maior tolerância da cagaita aos tratamentos com alumínio em solução simples. Vasconcelos (1997) constatou diferença ainda maior em tolerância em cultivar de arroz (comum branco), em solução contendo apenas cloreto de cálcio. Vasconcelos et al. (2002), em estudo utilizando a ERR% para a avaliação da toxicidade de Al em cultivares de arroz, concluíram que este parâmetro foi suficiente para identificação de diferenças de tolerância entre as cultivares estudadas, mesmo em baixas concentrações.

A queda nas taxas de crescimento radicular e a alongação radicular relativa em todos os tratamentos com solução completa e acima de 600 μM em solução simples indicam que este elemento em altas concentrações é um fator limitante no crescimento de cagaita, provocando redução no crescimento radicular, impedindo que o sistema radicular das plantas alcance áreas maiores no seu desenvolvimento no solo, fator este fundamental para absorção de nutrientes e captação de água no subsolo.

A massa seca da parte aérea na dose de 300 μM de Al apresentou as maiores médias. O mesmo se observou no trabalho de Lima et al. (2007) quanto à matéria seca da parte aérea, em que o aumento foi de 6,3 vezes nos tratamentos sem alumínio e de 15,8 vezes com alto teor de alumínio. Provavelmente a concentração de 300 μM de Al em solução completa tenha estimulado o melhor desenvolvimento da parte aérea, mostrando que para essa espécie a solução com alumínio promoveu maior desenvolvimento da parte aérea.

6.2.2. Mangaba

Para a mangaba, observou-se que a taxa de crescimento radicular, comprimento médio da raiz e alongação radicular relativa teve aumento absoluto para dose 300 μM de Al em solução nutritiva completa e decréscimo nas taxas de crescimento em todas as doses em solução simples. Tais resultados demonstram que a solução nutritiva completa com a aplicação das doses de alumínio estimulou o crescimento da raiz em doses mais baixas de Al quando comparada ao controle. Segundo Silva, (2009), trabalhando com mamão em solução nutritiva completa, baixas concentrações de Al até 320 μM promoveram aumento nas taxas de crescimento radicular. Entretanto quando submeteu as cultivares a concentrações de 320 a 640 μM o alumínio apresentou efeito tóxico afetando o desenvolvimento da raiz.

Resultados semelhantes foram observados por Parrella et al. (2009), que, trabalhando com diferentes variedades de sorgo sacarino, observaram que as cultivares CMSXS639, BR501, CMSXS626 e BR50, cultivadas em solução nutritiva completa, tratadas com alumínio, tiveram de 6,82% a 33,11% maior crescimento radicular do que os tratamentos sem alumínio.

O alumínio pode ser benefício no processo de crescimento radicular, comprimento médio da raiz e alongação radicular relativa, em algumas espécies, com destaque para chá preto (MATSUMOTO et al., 1976), goiabeira (SALVADOR et al., 2000), arroz (VACONCELOS et al., 2002) e em soja (CAIRES et al., 2008). Desta forma, pode-se inferir que a mangaba cultivada em solução completa apresenta tolerância ao alumínio na dose de 300 μM de Al, uma vez que os demais tratamentos utilizados apresentaram redução no processo de crescimento radicular.

Apesar de a mangaba ter sido tolerante e estimulada no tratamento de 300 μM de Al em solução completa, na solução simples, ela se mostrou sensível à toxicidade de Al, em todas as doses utilizadas (KINRAIDE et al., 1985). Nesta solução, as plantas sofrem rapidamente os efeitos do alumínio de modo que não têm macro e micronutrientes que podem complexar o alumínio e inibir sua ação fitotóxica. Tais resultados mostram com clareza os diferentes níveis de tolerância da espécie ao ser submetida aos tratamentos com alumínio nas duas soluções.

6.3. Teor de macro e micronutrientes em cagaita e mangaba cultivadas em solução nutritiva completa.

Desequilíbrios nutricionais induzidos pela exposição de plântulas ao Al foram relatados em várias espécies por muitos pesquisadores. O Al interfere na absorção, no transporte e na utilização da maior parte dos elementos minerais. Com a aplicação do Al, ocorre o estresse da planta com modificações na absorção de vários cátions, incluindo Ca, Mg e K (GUPTA, 2013). Nutrição mineral é frequentemente acompanhada por aumentar a liberação H^+ em sorgo (GALVEZ e CLARK, 1991), milho (DURIEUX, 1993), e em trigo e soja (KELTJENS e TAN, 1993).

Tal inibição da absorção de nutrientes também pode ser observada nesse estudo, com redução nas raízes de P, Ca, Mg, N, S, K para os macronutrientes e Zn, Fe, Cu, Mn para os micronutrientes de cagaita. O decréscimo de nutrientes pela raiz também foi observado por Mendonça (2003) ao testar a tolerância de cultivares de

arroz, relatando que houve perda de nutrientes nas raízes com o aumento na concentração de Al na solução nutritiva. Onthong e Osaki (2006) avaliaram as adaptações de diferentes espécies de plantas tropicais em solos ácidos, entre elas, *Anacardium occidentale* L., e constataram que o alumínio reduziu as concentrações de N, P, K, Ca e Mg nas raízes dessa espécie comercial de cajueiro. Brites et al. (2002), trabalhando com *Tapirira guianensis* Aublet observaram que, na raiz, o fósforo, apresentou decréscimo drástico em seus teores, perante os tratamentos com alumínio. Estes resultados confirmam a sensibilidade dessas espécies ao Al, sendo que a baixa disponibilidade do fósforo pode explicar a presença de manchas amareladas nas folhas de cagaita nas doses de 600 e 1200 μM de Al.

A mangaba, diferentemente da cagaita, apresentou maior absorção de nutrientes na raiz, principalmente na dose de 300 μM de Al, para os macronutrientes P, Ca e Mg, podendo tais resultados estar interligados ao maior desenvolvimento desta espécie, quando comparada com a cagaita, em solução nutritiva completa, submetida aos tratamentos com alumínio.

As maiores médias de concentração do fósforo em mangaba foram encontradas na raiz, quando comparada às obtidas no caule e folhas. Esta ocorrência pode ser explicada, segundo Giannakoula et al. (2008), pelo fato de o Al se precipitar com o P no apoplasto da raiz, reduzindo a translocação desse elemento para a parte aérea. Pereira et al. (2008), estudando o efeito do alumínio sobre a absorção, o acúmulo e o fracionamento do fósforo em sorgo, observaram que o alumínio absorvido pelas plantas se acumula predominantemente nas raízes, modificando significativamente o metabolismo e o fracionamento do P tanto nas raízes quanto na parte aérea das plantas das duas cultivares. Através desse mecanismo, o fósforo inibe a ação do alumínio no sistema radicular, favorecendo o desenvolvimento da plântula.

Mattiello et al., (2008), estudando o crescimento radicular e a absorção de cálcio, fósforo e alumínio em plantas de cafeeiros, concluíram que o acúmulo de alumínio no sistema radicular e a restrição do transporte para a parte aérea são importantes fatores na maior tolerância das plantas ao alumínio. Tais fatores podem explicar o menor desenvolvimento da cagaita em relação à mangaba, que apresentou as maiores taxas de crescimento.

O decréscimo contínuo nos teores de P na cagaita e mangaba pode estar relacionado à diminuição no crescimento radicular e ao aparecimento de manchas necróticas e amareladas nas folhas ao serem submetidas aos tratamentos com alumínio,

principalmente nas doses de 600 e 1200 μM de Al. Esses fatores são relatado por Foy et al. (1978), explicando que deficiência de P causa amarecimento e morte das pontas das folhas, sendo que as injúrias causadas pelo Al podem aparecer como uma deficiência induzida por (Ca) ou problemas na sua translocação, que são o enrolamento ou encurvamento de folhas jovens e o colapso dos pontos de crescimento e pecíolos.

Mendonça et al. (2005), estudando cultivares de arroz, concluíram que o alongamento e a produção de matéria seca de raízes e folhas foram reduzidos na presença do alumínio na solução. Resultados semelhantes também foram obtidos por Mattiello et al. (2008) estudando o crescimento radicular e a absorção de cálcio, fósforo e alumínio em plantas de cafeeiros. Observaram que as cultivadas nas maiores atividades de alumínio apresentaram sintomas característicos de toxidez, como retardamento do crescimento radicular, parte aérea, redução do número de raízes laterais, maior diâmetro dos eixos radiculares.

As raízes das plantas, muitas vezes servem, como locais de armazenagem, evitando que a toxidez do alumínio alcance o tronco e as folhas (GRIFFERTY e BARRINGTON, 2000). Com base nestes dados, observa-se a diferença na tolerância de mangaba e cagaita associadas, com absorção e acumulação de alumínio na raiz, podendo tal elemento ser favorável, em doses mais baixas, ao desenvolvimento da mangaba.

No caule, a cagaita mostrou redução de Ca, K, Mg e P para macronutrientes e de Cu, Fe, Mn e Zn para micro, visto que o nutriente N na dose de 600 μM de Al apresentou média igual ao controle; o enxofre aumentou 16,66% na dose de 600 μM de Al e 116,66% na dose de 1200 μM de Al; e para o potássio as doses de 300 e 1200 μM de Al tiveram o maior percentual, com média de 28,57% a mais que o controle.

De acordo com Freitas, (2006), o cálcio e o fósforo foram os nutrientes mais afetados pelo alumínio, apresentando as maiores reduções de absorção em cultivares de arroz. Esses resultados também confirmam as afirmações de Foy (1974), segundo o qual o excesso de alumínio, além de inibir a formação normal da raiz, interfere nas reações enzimáticas e na absorção, transporte e uso de nutrientes pelas plantas. Salvador et al. (2000) constataram que doses crescentes de alumínio reduziram a absorção e o transporte de P, Ca, Mg, S, Fe e Mn para a parte aérea, sugerindo que a redução de Ca e Mg se deve a uma inibição interiônica desses cátions pelo alumínio.

O Ca possui a função de componente estrutural e também, como mensageiro secundário na condução de sinais de fatores do ambiente (MCAINSH e

HETHERINGTON, 1998), em respostas das plantas em termos de crescimento e desenvolvimento, por isso, alterações nas concentrações de Ca podem influenciar significativamente o desenvolvimento das plantas (GIONGO e BOHNEN, 2011). Na mangaba, observou-se aumento nos teores de cálcio, nitrogênio, magnésio e manganês na raiz principalmente na dose de 300 μM de Al, e decréscimo de P, K, S, Cu, Fe e Zn. Provavelmente o fósforo ficou retido no sistema radicular com o Al promovendo a maior absorção de Ca e Mg, que conseqüentemente proporcionaram o melhor desenvolvimento das plântulas no tratamento de 300 μM de Al, evidenciando a maior tolerância desta espécie ao alumínio. Na cagaita o Ca e Mg tiveram baixo teor de absorção comparados ao controle, resultando na maior sensibilidade dessa espécie as concentrações de alumínio.

Na cagaita, observou-se, aumento na absorção de nutrientes e o transporte de Ca, Mg, k, Fe, S, Zn, Cu, Mn para folha. Com destaque para a absorção de Mg, Mn e Zn na dose de 300 μM de Al na qual apresentou os maiores efeitos de toxidez do alumínio no desenvolvimento da plântula, com médias de crescimento inferiores ao controle, demonstrando efeito de toxidez no processo de crescimento das plântulas. Diferentemente a mangaba que o único nutriente transportado para as folhas que demonstrou aumento com as doses de alumínio foi o Mn, já para o P, K as médias foram iguais ao controle, e para Ca, S, Cu, Fe, Zn as concentrações de absorção de nutrientes demonstraram valores próximos ao controle. Essas diferenças no transporte de nutrientes podem estar inteiramente ligadas a sensibilidade da cagaita e a tolerância da mangaba para o tratamento com 300 μM de alumínio.

Segundo Brites et al., (2002), ao submeter a espécie *Tapirira guianensis* Aublet. em solução nutritiva completa com Al, relatou um leve aumento de Mg, e Zn nos tratamentos com doses elevadas de (6mM) resultando em toxidez da plântula ao Al. Carmargo e Camargo (1985), relatou o aumento dos teores de K em cultivares de arroz tolerante, à proporção que se elevaram as concentrações de Al nas soluções. Para as cultivares sensíveis ao Al, IR-8 e IAC-899, mostraram aumento nos teores de P, Fe na da parte aérea e diminuição nos de K, Mg, Ca, Mn, Cu e Zn, conforme se aumentou a concentração de Al nas soluções.

Muitas espécies de plantas cultivadas em alto nível Al geralmente tinham menor teor de P, Ca e Mg (LIDON et al., 2000), mas o nível tóxico do Al diminuiu significativamente as concentrações de N, Mg, P e Fe (SIMON et al.,1994 ; LIDON et al., 1999), ao passo que a tendência oposta ocorreu com Mn (LIDON et al, 1999).

Tecchio et al., (2005), demonstraram que para o porta-enxerto IAC 572 'Jales', o maior acúmulo de N na parte aérea foi obtido com maiores concentrações de alumínio na solução nutritiva, sendo mais tolerante do que o porta-enxerto IAC 313 'Tropical'. Alvarenga (2001), também trabalhando com porta enxertos observou que, o nível de 0% de saturação de alumínio no solo promoveu um menor teor de N na parte aérea das plantas, quando comparado, com os níveis mais elevados de saturação, por alumínio no solo. Quando comparado estes resultados com a cagaita, observou-se o decréscimo nos teores de nitrogênio as concentrações mais altas de alumínio já para a mangaba os valores de N foram bastante similares ao controle, fator esse que pode estar relacionado a maior tolerância da espécie.

6.4. Anatomia dos ápices radiculares de *Eugenia dysenterica* e *Hancornia speciosa* mantidas em solução nutritiva completa e simples.

As plântulas de mangaba cultivadas em solução simples e cagaita em solução completa reagiram anatomicamente com a exposição às doses de alumínio pelo engrossamento da raiz, uma vez que todas as doses aplicadas promoveram o engrossamento e deformidades nas células, como expansão celular e desorganização das células. Tais fatores são associados a reduções nas taxas de crescimento e desenvolvimento da planta. Para mangaba em solução completa na dose de 300 μM de Al e cagaita em solução simples na dose de 150, 300 e 600 μM de Al, o efeito foi contrário, com maior desenvolvimento da planta, provendo a melhor integridade das células do meristema apical.

A influência negativa do Al altera a taxa de crescimento e de expansão celular (BARCELÓ et al., 1996). Deste modo, o aumento de volume da célula pode ser explicado pelo fato de as raízes terem o potencial de pressão diminuído, o que reduz a condutividade hidráulica aparente, indicando, assim, que o alumínio afeta gravemente a proporção de água da raiz (ECHART e CAVALLI- MOLINA, 2001).

Delima e Copeland (1994) indicam que os efeitos sobre as células meristemáticas, como, por exemplo, as reduções no crescimento das raízes, tornam-se evidentes apenas após exposição prolongada ao Al^{+3} . Dessa forma, as alterações simultâneas no alongamento e na espessura celular sugerem que os efeitos do Al^{+3} , direta ou indiretamente, afetam diversos processos relacionados à expansão celular (NICHOL et al., 1993). Estas informações confirmam as do presente estudo, em que foi

constatado efeito do alumínio na diminuição das dimensões celulares, principalmente, nas maiores concentrações avaliadas, na solução simples, em mangaba, e na solução completa, em cagaita. Além disso, outra evidência aponta que a inibição do alongamento celular pode ser causada pelo resultado, pelo menos em parte, de alterações nas células da coifa, que agem como sensores do estresse ambiental (MARSCHNER, 1991).

A toxicidade Al está associada com mudanças brutas na morfologia da raiz. Resumidamente, a toxicidade ao Al resulta em alongamento da raiz, inibindo o desenvolvimento radicular, o que produz ápices grossos com coloração escura e pouca formação de raízes secundárias. Os danos na raiz resultam em um sistema radicular reduzido, danificado, limitando a absorção de água e nutrientes minerais (DELHAIZE, 1993; MARON 2010).

Os testes com morin, um fluorocromo específico utilizado para visualizar as diferenças de acumulação de Al na ponta da raiz, mostraram que, em solução simples e completa, tanto para a cagaita e como para a mangaba, o controle apresentou baixa fluorescência; já nos demais tratamentos, foi possível observar acúmulo de alumínio nas células das raízes, principalmente no tratamento de 1200 μM de Al, com maior intensidade de fluorescência e com grande deformidade das células. Resultados similares foram apontados por Garzon (2011), que observou pontas de raízes de plantas controle com baixa fluorescência quando coradas com morin.

Deste modo, avaliamos os efeitos do alumínio no DNA, que visa a esclarecer fitoxidez do alumínio no núcleo. Em solução completa, a cagaita e a mangaba apresentaram maior fitoxidez do Al no tratamento de 1200 μM de Al: os demais tratamentos apresentaram características bem similares ao controle, quando submetidos à análise de fluorescência. Em solução simples, as espécies mostraram que os dois últimos tratamentos, de 600 e de 1200 μM de Al, tiveram maior efeito fitotóxico do alumínio em relação ao decréscimo de núcleo de morte celular. Achary e Panda (2010) avaliaram o feito genotóxico do alumínio em células de raízes de *Allium cepa* e demonstraram que, em altas concentrações, o Al induz danos ao DNA, porém, quando em pequenas concentrações, pode proporcionar respostas adaptativas, conferindo proteção genômica frente ao risco genotóxico imposto pelo íon.

Quando se comparam as áreas marcadas por morin e DAPI, observa-se que o aumento da fluorescência do morin está relacionado à diminuição da fluorescência do DAPI, ou seja, o acúmulo de alumínio nas células promove morte celular e diminuição

de núcleos no ápice radicular, uma vez que tais características foram mostradas em doses mais altas de alumínio, tendo sido observada perda de crescimento radicular.

7. CONCLUSÃO

O efeito tóxico do alumínio foi evidente nas análises de desenvolvimento da mangaba, com redução no índice de velocidade de emergência, diâmetro da raiz, número de plântulas normais, porcentagem de emergência, alongação radicular relativa e comprimento da raiz, mostrando sensibilidade aos tratamentos com alumínio, diferentemente da cagaita, que, quando submetida aos tratamentos com alumínio, apresentou efeito estimulante no crescimento e desenvolvimento das plântulas.

Os teores de P, Ca, Mg apresentaram decréscimo para cagaita e aumento para mangaba na dose de 300 μM de Al, que mostrou o maior desenvolvimento quando comparadas com os demais tratamentos, podendo, tais elementos, estar inteiramente ligados ao melhor desenvolvimento dessa espécie, na dose de 300 μM de Al.

As análises micromorfométricas indicaram maior diâmetro dos ápices radiculares em relação ao aumento das concentrações de Al, principalmente, na mangaba, que mostrou maior sensibilidade ao alumínio.

As áreas marcadas pelo fluorocromo DAPI e pelo morin no meristema apical mostraram que, para os tratamentos com 1200 μM de Al, essa região apresentou alta toxidez causada pelo alumínio, afetando processos de divisão celular e, conseqüentemente, crescimento das raízes e absorção de nutrientes.

Ambas as espécies foram tolerantes ao alumínio em doses mais baixas, entretanto, a cagaita mostrou maior tolerâncias ao alumínio, quando submetida aos tratamentos com 150, 300 e 600 μM de Al. Tais fatores podem explicar ou justificar a maior distribuição da cagaita no domínio cerrado.

O estabelecimento destas espécies em solos com altas concentrações de Al acima de 600 μM de Al pode impedir o crescimento do sistema radicular, a captação de água e a absorção de nutrientes.

8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ACHARY, V. M. M.; PANDA, B. B. Aluminium-induced DNA damage and response to genotoxic stress in plant cells aremediated by reative oxygen intermediates. **Mutagenesis**, v.25, n.2, p.201-209, 2010.

ALMEIDA, S. P; PROENÇA, C. E. B; SANO, S. M; RIBEIRO, J. F. **Cerrado: espécies vegetais úteis**. Planaltina, DF: EMBRAPA-CPAC, p. 182 – 186, 1998.

ALMEIDA, A. A. S; MONTEIRO, F. A; JANK, L. Avaliação de *Panicum maximum* jacq. para tolerância ao alumínio em solução nutritiva. **Rev. Bras. Ciên. Solo**. Vo.24. n.2. 2000.

ALVARENGA, A. A. Avaliação de cultivares porta enxertos e produtoras de videira *Vitis spp.* em condições de solos ácidos e alumínio. 2001. Tese (Doutorado) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2001

ALVES, V. M. C; PITTA, G. V. E; PARENTONI, S. N; SCHAFFERT, R. E; COELHO, A. M; MAGALHÃES, J. V. Toxidez por alumínio e hidrogênio no crescimento de raiz de milho. **Revista Brasileira de milho e sorgo**, v.3, n.2, p.311-318, 2004.

AGUIAR FILHO, S. P. de; BOSCO, J; ARAÚJO, I. A. de. A mangabeira (*Hancornia speciosa*) Gomes domesticação e técnica de cultivo. João Pessoa: EMEPA-PB. (EMEPA-PB. Documentos, 24). p.26. 1998.

BARCELÓ, J; POSCHENRIEDER, C; VÁZQUEZ, M.D; GUNSÉ, B. Aluminum phytotoxicity. A challenge for plant scientists. **Fertilizer Research**, v.43, p217–23, 1996.

BARCELO, J; POSCHENRIEDER, C. Fast root growth responses, root exudates, and internal detoxification as clues to the mechanisms of aluminium toxicity and resistance: **a reiew environ. Exper. Bot**, 48, p. 75-92, 2002.

BORGES, J. D; DUARTE, E. F; GUIMARÃES, N. N. R; NAVES, R.V. Germinação e vigor de sementes de cagaita (*Eugenia dysenterica* MART. Ex DC) em função de seu tamanho e tipo de coleta. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v.36, n. 3, 2006.

BRASIL. Ministério da Agricultura e Reforma Agrária. **Regras para análise de sementes**. Brasília: SNDA/DNDV/CLAV. p. 365.1992.

BRITEZ, R. M. de; REISSMANN, C. B; WATANABE, T; OSAKI, M. Efeito do alumínio no desenvolvimento e nutrição de *Tapirira guianensis* Aublet em solução hidropônica. **Florestal**. 32 .v.(2). p.171-187.2002.

BRITO, M. A; PEREIRA, E. B. C; PEREIRA, A. V; RIBEIRO, J. F. Cagaita: biologia e manejo. Planaltina. DF: **Embrapa Cerrados**. p. 80, 2003.

BUSTAMANTE, M. M. da C; OLIVEIRA, E. L. de. Impactos das Atividades Agrícola, Florestais e Pecuárias nos Recursos Naturais. in: **Savanas: desafios e estratégias para o equilíbrio entre sociedade, agronegócio e recursos naturais**. F.G. Faleiro e A.L. de Farias Neto. Planaltina, DF: **Embrapa Cerrados**; Brasília, DF. p.1198. 2008.

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

CAMARGO, C. E. O; CAMARGO, O, B, A; Estudo comparativo da tolerância à toxicidade de ferro e alumínio em arroz. **Bragantia, Campinas**. 44 (1).p.97-114.1985.

COLODETTI, T. V; RODRIGUES, W. N; OLIVEIRA, F. L; MARTINS, L. D; TOMAZ, M. A. Efeito do alumínio na germinação e na morfologia radicular de cultivares de pepino. **Enciclopédia Biosfera**, Centro Científico Conhecer, Goiânia, v.8, n.15; p.767, 2012.

COMIN, J. J; BARLOY, J; BOURRIE, G; TROLARD, F. Differential effects of monomeric and polymeric aluminium on the root growth and on the biomass production of root and shoot of corn in solution culture. **European Journal of agronomy**. V.11. p. 115-122.1999.

CUENCA, G; HERRERA, R; MÉRIDA, E. Distribution of aluminium in accumulator plants by X-ray microanalysis in *Richeria grandis* Vahl leaves from a cloud forest in Venezuela. *Plant Cell. Environ.* V. 14 , pp. 437–441. 1991.

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

DARRAULT, R. O; SCHLINDWEIN, C. Limited fruit production in *Hancornia speciosa* (Apocynaceae) and pollination by nocturnal and diurnal insects. **Biotropica**, v.37, p.381-388, 2005.

DELIMA, M. L; COPELAND, L. Changes in the ultrastructure of the root tip of wheat following exposure to aluminum. **Australian Journal of Plant Physiology**, Collingwood, v. 21, n. 1, p. 85-94, 1994.

DELHAIZE, E; RYAN, P. R. Randall, Aluminum tolerance in wheat (*Triticum aestivum* L.): II. Aluminum-stimulated excretion of malic acid from root apices, **Plant Physiol.** 103 p.695–702.1993.

DODGE, C. S; HIATT, A. J. Relationship of pH to ion uptake imbalance by varieties of wheat (*Triticum vulgare*). **Agronomy Journal, Madison** v.64, n.4, p.476-481, 1992.

DONADIO, L. C; MÔRO, F. V; SERVIDONE, A. A. Frutas brasileiras. Jaboticabal: Novos Talentos, 2002.

DURIEUX, R. P; JACKSON, W. A; KAMPRATH, E. J; MOLL, R. H. "Inhibition of Nitrate by Aluminium in Maize," **Plant and Soil**, Vol. 151, No. 1, pp. 97-104. 1993.

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

EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes. Brasília: **Embrapa Solos/Embrapa Informática Agropecuária/Embrapa Comunicação para Transferência de Tecnologia**, p.370, 1999.

ETICHA, D; STASS, A; HORST, W.J. Localization of aluminium in the maize root apex: can morin detect cell wall-bound aluminium? **Journal of Experimental Botany**, v. 56, p.1351–1357, 2005.

FERNANDES, M. S. Nutrição mineral de plantas. Viçosa: **SBCS**, p. 432. 2006.

FERREIRA, R. P; MOREIRA, A; RASSINI, J. B. Toxidez de alumínio em culturas anuais. **Embrapa**. São Carlos, SP. p. 6. 2006.

FORTUNATO, R. P; NICOLOSO, F. T. Toxidez de alumínio em plântulas de grápia (*Apuleia leiocarpa* Vog. Macbride). **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 34, n. 1, 2004.

FOY, C. D. The plant root and its environments. **Charlottesville**: E. W. Carson: effects of aluminum of aluminum on plant growth.p.601-642.1974.

FOY, C. D; CHANEY, R. L; WHITE, M. C. The physiology of metal toxicity in plants. **Annual Review of Plant Physiology**, v. 29, p.511-56, 1978.

FOY, C.D. The physiology of plant adaptation to mineral stress. **Iowa State Journal Research**, v.57, p.355-391, 1983.

FREITAS, F. A; KOPP, M. M; SOUSA, R. O; ZIMMER, P. D; CARVALHO, F. I. F; OLIVEIRA, A. C. Absorção de P, Mg, Ca e K e tolerância de genótipos de arroz submetidos a estresse por alumínio em sistemas hidropônicos. **Revista Ciência Rural**, Santa Maria, v. 36, n. 1, p. 72-79, 2006.

FURLEY, P.A; RATTER, J.A. Soil resources and plant communities of central Brazilian cerrado and their development. **Journal of Biogeography**, v. 15, p. 97-108, 1988.

GALVEZ, L; CLARK, R. B. Nitrate and Ammonium Up- take and Solution pH Changes for Al-Tolerant and Al- Sensitive Sorghum (*Sorghum bicolor*) Genotypes Grown with and without Aluminium, **Plant and Soil**, Vol. 134, No. 1, pp. 179-188. 1991.

GARZON, T; GUNSE, B; MORENO, A. R; TOMOS, A. D; BARCELOS, J; POSCHENRIEDER, C. Aluminum induced alteration of ion homeostasis in root tip vacuoles of two. **Plant Science**. 180. 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. **Journal of Plant Physiology**, Stuttgart, v. 165, n. 4, p. 385-396, 2008.

GIONGO, V; BOHNEN, H. Relação entre alumínio e silício em genótipos de milho resistente e sensível a toxidez de alumínio, **Bioscience Journal**, Uberlândia, MG, v. 27, n. 3, p. 348-356, 2011.

GRIFFERTY, A. captação Barrington S. zinco por plantas de trigo menores de dois regimes de transpiração. **J Environ Qual**. 29 v. (2): p.443.2000.

GUPTA, N; GAURAV, S. S; KUMAR, A. Molecular Basis of Aluminium Toxicity in Plants: A Review. **American Journal of Plant Sciences**, v.4, p-21-37, 2013.

HARIDASAN, M. Aluminium accumulation by some cerrado native species of central Brazil". **Plant and Soil**, v. 65, p.265-73.1982.

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.

HÄUSSLER, K; RAO, I. M; SCHULTZEKRAFT, R; AND MARSCHNER, H. Shoot and root growth of two tropical grasses, *Brachiaria ruziziensis* and *B. dictyoneura*, as influenced by aluminium toxicity and phosphorus deficiency in a sandy loam Oxisol of the eastern plains of Colombia. **Tropical Grasslands** (2006) Volume 40, p.213–221. 2006.

HUANG, J. W; BARCHELARD, E. P. Effects of aluminum on growth and cation uptake in seedlings of *Eucalyptus mannifera* and *Pinus radiata*. **Plant and Soil**, v.121-127, 1993.

ITAMAR, C. N. Estratégias de avaliação e herança da tolerância ao alumínio em linhagens recombinantes de aveia (*Avena sativa* L.). Dissertação de mestrado. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre. p.102. 2005.

JACOB NETO, J. The interactions of H⁺/OH⁻ exchanges between roots and rhizosphere with plant nutrition and aluminium effects. Dundee: University of Dundee. (PhD Thesis).p.281. 1993.

JANSEN, S; BROADLEY, M. R; ROBBRECHT, E; SMETS, E. Aluminum hyperaccumulation in Angiosperms: a review of its phylogenetic significance. **Bot. Rev.** V.68. pp. 235–269.2002.

JANSEN, S; WATANABE, T; SMETS, E. Aluminium accumulation in leaves of 127 species in Melastomataceae, with comments on the Order Myrtales Ann. Bot. V. 90 .pp. 53–64.2002.

JONES, D. L; BLANCAFLOR, E. B; KOCHIAN, L.V; GILROY, S. Spatial coordination of aluminum uptake, production of reactive oxygen species, callose production and wall rigidification in maize roots. **Plant Cell Environment**, v.29, p.13–18, 2006.

KARNOVSKY, M. J. A. formaldehyde-glutaraldehyde fixative of high osmolarity for use in electron microscopy. **Journal of Cell Biology**, v. 27, p. 137-138, 1965.

KELTJENS, w. g; TAN, K. “Interactions between Aluminium, Magnesium and Calcium with Different Monocotyledonous and Dicotyledonous Plant Species,” **Plant and Soil**, Vol. 155-156, No. 1, pp. 458-488. 1993.

KINRAIDE, T. B; ARNOLD, R. C; BALIGAR, V.C. A rapid assay to assess aluminum phytotoxicity at submicromolar concentrations. **Plant Physiol.**, 65: p. 245-250, 1985.

KISS, T. Interaction of aluminum with biomolecules—any relevance to Alzheimer’s disease? **Arch Geront Geriatr**, v.21 (1), p.99-112, 1995.

KOCHIAN, L.V; SHAFF, J. E; KUHTREIBER, W. M; JAFFE, L. F. & LUCAS, W. J. Use of an extracellular, ion-selective vibrating microelectrode system for the quantification of K^+ , H^+ and Ca^{2+} fluxes in maize roots and maize suspension of K^+ , H^+ and Ca^{2+} fluxes in maize roots and maize suspension cells. **Planta**, v. 188, p. 601-610, 1992.

KOSZO, C. R. R; RINALDI, M. C. S; BARBEDO, C. J. Germinação de sementes de *Erythrina speciosa* Andr., *Eugenia brasiliensis* Lam. e *Cucumis sativus* L. em meio ácido. **Hoehnea**, v. 34, n. 3, p. 271-282, 2007.

LIDON, F. C; BARREIRO, M. G; RAMALHO, J. C; LAURIANO, J. A. Efeitos da toxicidade do Al sobre o acúmulo de nutrientes na parte aérea do milho. Implicações para a fotossíntese. **J Nutr planta**. 22 (2): p.397-416.1999.

LIDON, F. C; AZINHEIRA, H. G; BARREIRO, M. G. Al toxicidade no milho:. Modulação da produção de biomassa e a absorção de nutrientes e de translocação . **J Nutr Planta**. de 23 (2): p.151-160. 2000.

LIMA, R. L. S. De; SEVERINO, L. S; FERREIRA, G. B; SILVA, M. I. L. Da; ALBUQUERQUE, R. C; BELTRÃO, N. E. M. Crescimento da mamoneira em solo com alto teor de alumínio na presença e ausência de matéria orgânica. Ver. Bras. Ol. Fibras; Campinas Grande. V.11. n.1. p.15-21. 2007.

LOPES, D. Plantas nativas do Cerrado uma alternativa para fitorremediação. Estudos. V.37. P.419-437. 2010.

LORENZI, H. Árvores brasileiras: manual de identificação e cultivo de plantas arbóreas do Brasil. v. 2, 3. ed. Nova Odessa: **Plantarum**, 2000.

LORENZI, H. Árvores brasileiras: manual de identificação e cultivo de plantas arbóreas nativas do Brasil. São Paulo, **Nova Odessa**. p. 386. 2002

MA, J. F; SHEN, R. F; NAGAO, S; TANIMOTO, E. Aluminum targets elongating cells by reducing cell wall extensibility in wheat roots. **Plant Cell Physiology**, v.45, p.583–589, 2004.

MACEDO, F. L; PEDRA, W. N; SILVA, S. A; BARRETO, M. C.V; SIVA-MANN, S. Effect of aluminum in plants of *Jatropha curcas* L. grown in nutritive solution. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v.32, n.1, p. 157-164, 2011.

MARENGO, J. A. Mudanças climáticas globais e seus efeitos sobre a biodiversidade: caracterização do clima atual e definição das alterações climáticas para o território brasileiro ao longo do século XXI. Brasília: MMA. 2a edição...: il. color ; 21 cm. (**Série biodiversidade** v.26). p. 212. 2007.

MARIANO, E. D; JORGE, R. A; KELTJENS, W. G; MENOSSE, M. Metabolism and root exudation of organic acid anions under aluminium stress, **Brazilian Journal Plant Physiology**, Campinas, v. 17, n. 1, p. 157-172, 2005.

MARQUES, T. C. L. L. S; MOREIRA, F. M. S; SIQUEIRA, J. O. Crescimento e teor de metais de espécies arbóreas cultivadas em solo contaminado com metais pesados. *Pesquisa agropecuária brasileira*. V.35. 121-132. 2000.

MARON, L. G; PINEROS, M. A; GUIMARAES, C. T; MAGALHAES, J. V; PLEIMAN, J. K; MAO, C. Z; SHAFF, J; BELICUAS, S. N. J; KOCHIAN, L. V. Two functionally distinct members of the MATE (multi-drug and toxic compound extrusion) family of transporters potentially underlie two major aluminum tolerance QTLs in maize, **Plant J**. 61.P. 728–740.2010.

MARSCHNER, H. Mechanisms of adaptation of plants to acid soils. In: R.J. Wright, V.C. Baligar, and R.P. Moorman (eds), *Plant-soil interactions at low pH*. Proceedings of the Second International Symposium on Plant-Soil Interactions at Low pH, Beckley, West Virginia, USA. **Kluwer Academic Publisher**, p.683–702, 1991.

MATTIELLO, E. M; PEREIRA, M. G; ZONITA, E; MAURI, J. MATIELLO, J. D; MEIRELES, P. G; SILVA, I. R. Produção de matéria seca, crescimento radicular e absorção de cálcio, fósforo e alumínio por *Coffea canephora* e *Coffea arabica* sob influência da atividade do alumínio em solução. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. V. 32. P.425-434. 2008

MATSUMOTO, H; HIRASAWA, F; TORIKAL, H. Localization of absorbet aluminium in peã root its binding to nuclei acid. **Plant and cell physiology**, v.17, n.1, p.627-631, 1976.

MATSUMOTO, K. Plant roots under aluminum stress: toxicity and tolerante. In: WEISEL, T; ESHEL, A; KAFKAFI, U. **Plant Roots: The hidden half**, 3. Ed; Marcel Dekker. New York. P.821-838.2002.

MATSUMOTO, H; MOTODA, H. Aluminum toxicity recovery processes in root apices. Possible associacion with oxidative stress. **Plant Science**. Doi:10.1016/j.plantsci. 2011.

MCAINSH, M. R.; HETHERINGTON, A. M. Encoding specificity in Ca²⁺ signaling systems. **Trends in Plant Science**, Oxford, v. 3, n. 1, p. 32-36, 1998.

MENDONÇA, R. M. N; COELHO, A. F. da S; MARTINEZ, H. E. P; FONTES, P. C. R; PEREIRA, P. R. G. Respostas de maracujá amarelo (*Passiflora edulis* Sims. F. flavicarpa Deg.) Cultivadas em solução nutritiva, a diferentes níveis de alumínio. **Revista Ceres Viçosa**, v. 46, n. 266.p.357-370, 1999.

MENDONÇA, R. J. De; CAMBRAIA, J; OLIVEIRA, J. A. De; OLIVA, M. A. Efeito do alumínio na absorção e na utilização de macronutrientes em duas cultivares de arroz. **Pesq. Agropec. Bras.** V. 38 (7). P.843-848. 2003.

MENDONÇA, R. J; CAMBRAIA, J; OLIVA, M. A; OLIVEIRA, J. A. Capacidade de cultivares de arroz de modificar o pH de soluções nutritivas na presença de alumínio. **Pesquisa agropecuária Brasileira**. V.40. p.447-452. 2005.

MOSSOR-PIETRASZEWSKA, T. **Effect of aluminium on plant growth and metabolism.** *Acta Biochimica Polonica*, v.48, p.673-686, 2001.

MORITA, A; YANAGISAWA, O; TAKATSU, S. MAEDA, S; HIDRATE, S. Mechanism for the detoxification of aluminum in roots of tea plant (*Camellia sinensis* L. Kuntze). **Phytochemistry**. V. 69. P.147-153. 2008.

NAVES, R. V; BORGES, J. D; CHAVES, L. J. A cagaiteira. *Revista Brasileira de Fruticultura*, **Jaboticabal**, v. 24, n. 2, 2002.

NICHOL, E; OLIVEIRA, L. A; GLASS, A. D. M; SIDDIQI, M. Y. The effects of aluminum on the influx of calcium, potassium, ammonium, nitrate, and phosphate in an aluminum-sensitive cultivar of barley (*Hordeum vulgare* L.). **Plant Physiology**, Rockville, v. 101, n. 4, p. 1263-1266, 1993.

O'BRIEN, T. P; FEDER, N; MCCULLY, M. E. Polychromatic staining of plant cell walls by toluidine blue O. **Protoplasma**, v. 59, p.368-373, 1964.

ONTHONG, J; OSAKI, M. Adaptations of tropical plants to acid soils. **Tropics**, v.15 (4), p.337-347, 2006.

PARENTONI, S. N; ALVES, V. M. C; MILACH, S. K; CANÇADO, G. M. A; BAHIA FILHO, A. F. C. B. Melhoramento para tolerância ao alumínio como fator de adaptação a solos ácidos. In: NASS, L. L; VALOIS, A. C. C; MELO, I. S; VALADARES-INGLIS, M. C. (Eds.). Recursos genéticos & melhoramento. Rondonópolis: Fundação Mato Grosso. p. 783-851. 2001.

PARRELLA, R. A. da C; CARVALHO JÚNIOR, G. A; PARRELLA, N. N. L. D; RODRIGUES, J. A. S; TARDIN, F. D; SCHAFFERT, R. E. Seleção de cultivares de sorgo sacarino tolerantes ao alumínio tóxico em solução nutritiva. **Embrapa milho e sorgo**. 2009.

PATERNIANI, M. E. A. G; FURLANI, P. R. Tolerância à toxicidade de alumínio de linhagens e híbridos de milho em solução nutritiva. **Bragantia**, Campinas, v. 61, n. 1, p. 11-16, 2002.

PEREIRA, J. M.; CAMBRAIA, J; FONSECA JÚNIOR, É.M; RIBEIRO, C. Efeito do alumínio sobre a absorção, o acúmulo e o fracionamento do fósforo em sorgo. **Bragantia**, v. 67, n.4, p. 961-967, 2008.

RENGEL, Z. Competitive Al³⁺ inhibition of net Mg²⁺ uptake by intact *Lolium multiflorum* roots. **Plant Physiology**, Palo Alto, n. 93, p. 1261- 1267, 1990.

ROQUE, P. **A colonização do cerrado: savanas e celeiro do mundo**. São Paulo: **Prêmio**. p.203.2006.

ROSSIELLO, R. O. P; JACOB-NETO, J. Toxidez de alumínio em plantas: Novos enfoques para um velho problema. In: Fernandes, M. S. Nutrição mineral de plantas. Viçosa, MG: Sociedade Brasileira de Ciência de Solos. P.432.2006.

SALVADOR, J. O; MOREIRA, A; MALAVOLTA, E; CABRAL, C. P. Influência do alumínio no crescimento e na acumulação de nutrientes em mudas de goiabeira. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.24, p.787-796, 2000.

SANCHEZ-CHACÓN, C. D; FEDERIZZI, L. C; MILACH, S. C. K; PACHECO, M. T. Variabilidade genética e herança da tolerância à toxicidade do alumínio em aveia. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 35, n. 9, p. 1797-1808, 2002.

SANTOS, C. H; GRASSI FILHO, H; RODRIGUES, J. D; PINHO, S. Z. Níveis de alumínio e acúmulo de macronutrientes em portaenxertos cítricos em cultivo hidropônico. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 56, n. 4, supl., 1999.

SANTOS, P. C. G. S; ALVES, E. U; GUEDES, R. S; SILVA, K. B; CARDOSO, E. A; LIMA, C. R. Qualidade de sementes de *Hancornia speciosa* Gomes em função do tempo de secagem. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 31, n. 2, p. 343-352, 2010.

SILVA, A. A.P. Parâmetros biométricos e fisiológicos do crescimento de plantas de arroz (*Oriza sativa* L.) cv. Rio Paraíba submetidas a níveis crescentes de alumínio, em cultivo hidropônico. Botucatu. Dissertação (Mestrado em Botânica), Instituto Básico de Biologia e Agrícola, Universidade Estadual Paulista. P.116.1992.

SILVA, A, C. Avaliação da tolerância ao alumínio em plântulas de maracujazeiro e mamoeiro. 2009. 105p Dissertação (Mestrado em Fitotecnia). Instituto de Agronomia, Departamento de Fitotecnia, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, RJ, 2009.

SILVA, L. M. Crescimento radicular e absorção de nutrientes de cultivares de arroz submetidas ao alumínio em solução nutritiva. Tese faculdade de Ciências Agrônomicas da UNESP. 2007

SILVA, R. S. M. Caracterização de sub-populações de cagaita (*Eugenia dysenterica* DC.) da região sudeste do estado de Goiás, Brasil. Dissertação (Mestrado) Universidade Federal de Goiás, Goiânia. F 107. 1999.

SILVA, R. S. M; CHAVES, L. J; NAVES, R. V. Caracterização de frutos e árvores de cagaita (*Eugenia dysenterica* DC.) no sudeste do estado de Goiás, Brasil. **Rev. Bras. Frutic.**, Jaboticabal-SP; v.23, n.2, p. 330-334, 2001.

SILVA, D. B. da; SILVA, A. S. da; JUNQUEIRA, N. T. V; ANDRADE, L. R. M. de. Frutas do Cerrado. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, p.178, 2001.

SILVA JUNIOR, J. F. da; LÉDO, A. da S. (Ed.). Botânica. In: SILVA JUNIOR, J.F. da; LÉDO, A. da S. (Ed.). A cultura da mangaba. Aracaju: Embrapa Tabuleiros Costeiros. p.25-33.2006.

SIMON, L; SMALLEY, T. J; JONES, J. B; LASSEIGNE, F. T. Toxicidade de alumínio em tomate. Parte 1. Crescimento e nutrição mineral. **J Nutr planta**. 17 (2 e 3):p. 293-306.1994.

SIVAGURU, M; BALUSKA, F. VULKMANN, D; FELLE, H. H; HORST, W. J. Impacts of aluminum on the cytoskeleton of maize root apex: short-term effects on the distal part of the transition zone. **Plant Physiology**, Rockville, v. 119, n. 3, p. 1073-1082, 1999.

SIVAGURU, M; FUJIWARA, T; SAMAJ, J; BALUSKA, F; YANG, Z; OSAWA, H; MAEDA, T; MORI, T; VOLKMANN, D; MATSUMOTO, H. Aluminum-Induced 1,3- β -D-Gucan Inhibits Cell-to-Cell Trafficking of Molecules through Plasmodesmata. A New Mechanism of Aluminum Toxicity in Plants. **Plant Physiology**, v.124, p.991-1006, 2000.

SOARES, F. P; PAIVA, R; NOGUEIRA, R. C; OLIVEIRA, L. M. de; SILVA, D. R. G; PAIVA, P.D de O. Cultura da mangabeira (*Hancornia speciosa* Gomes). **Boletim Agropecuário**, v.67. 2001.

SOARES, F. P; PAIVA, R; CAMPOS, A. C. A. L; PORTO, J. M. P; NOGUEIRA R.C; STEIN, V.C. Germinação de sementes de mangabeira (*Hancornia speciosa* Gomes) em diferentes substratos. **Revista Brasileira de Biociências**, v.5, p.1180-1182, 2007.

SOUZA, E. R. B; NAVES, R.V; CARNEIRO, I.F; LEANDRO, W. M; BORGES, J. D. Crescimento e sobrevivência de mudas de cagaiteira (*Eugenia dysenterica* DC) nas condições do Cerrado; **Rev. Bras. Frutic.** n. 24, v. 2, p. 491-495, 2002.

STEFANELLO, R.; GARCIA, D. C.; MENEZES, N. L. de; MUNIZ, M. F. B.; WRASSE, C. F. Efeito da luz, temperatura e estresse hídrico no potencial fisiológico de sementes de funcho. **Revista Brasileira de Sementes**, Brasília, v. 28, n. 2, p. 135-141, 2006.

STOLF, E. C; DANTAS, A. C. M; BONETI, J. L; COMIN, J. J; NODARI, R. O. Estabelecimento de critérios para selecionar porta-enxertos de macieira tolerantes ao alumínio em solução nutritiva. **Revista Brasileira de Fruticultura**. V.30.p.476-481.2008.

SZYMANSKA, M; MOLAS, J. The effect of aluminium on early development stages of *Cucumis sativus* L. **Folia Horticulturae**, Poznań, v.8, n.1, p.73- 83, 1996.

TECCHIO, M. A; PIRES, E. J. P; GRASSI FILHO, H; BRIZOLA, R. M. O; TERRA; M. M; CORRÊA, J. C. Acúmulo de macronutrientes em porta-enxertos de videira cultivadas em solução nutritiva com a adição de alumínio. **Acta Scientiarum. Agronomy**. Maringá, v. 27, no. 1, p. 47-54. 2005.

TOLRA, R. P; POSCHENRIEDER, C; LUPPI, B; BARCELO, J. Aluminium-induced changes in the profiles of both organic acids and phenolic substances underlie Al tolerance in *Rumex acetosa*. **Environmental and Experimental Botany**, v. 54, p. 231–238, 2005.

VASCONCELOS, S. S. Métodos de avaliação da tolerância à toxicidade de alumínio em cultivares de arroz (*Oryza sativa* L.). Seropédica: UFRRJ. Tese de Mestrado. p.137. 1997.

VASCONCELOS, S. S; ROSSIELO, R. O. P; JACOB-NETO, J. Parâmetros morfológicos para estabelecer tolerância diferencial à toxicidade de alumínio em cultivares de arroz. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.37, n.3, p. 357-363, 2002.

VASCONCELOS FILHO, S.C. Toxidez do Alumínio em Caju-de-árvore-do-cerrado (*Anacardium Othonianum* Rizz.). 2014. 79 f. Tese (Doutorado em Fitotecnia)- Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica-RJ, 2014.

VIEIRA NETO, R. D; CINTRA, F. L. D; LEDO, A. da S; SILVA JÚNIOR, J. F; COSTA, J. F. da S; SILVA, A. A. G. Sistema de produção da mangaba para os tabuleiros costeiros e baixadas litorâneas. **Embrapa Tabuleiros Costeiros**. 2007.

VIEIRA NETO, R.D; SILVA JUNIOR, J. F. da; LEDO, A. da S. Mangaba. In: SANTOS-seREJO, J. A. dos; DANTAS, J. L. L.; COELHO, C. V. S. COELHO, Y. da S. (Org.). **Fruticultura tropical**: espécies regionais e exóticas. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica. p.323-338. 2009.

WANG, J; RAMAN, H; ZHANG, G; MENDHAM, N; ZHOU, M. Aluminum tolerance in barley (*Hordeum vulgare* L.): physiological mechanisms, genetics and screening methods. **Journal of Zhejiang University Science B**, Hangzhou, v. 7, n. 10, p. 769-787, 2006.

YAMASHITA, O. M; GUIMARÃES S. C. Germinação de sementes de *Conyza canadensis* e *C. bonariensis* em função da presença de alumínio no substrato. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 41, n. 4, p. 599-601, 2011.