

UFRRJ

INSTITUTO DE AGRONOMIA

CURSO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM FITOTECNIA

DISSERTAÇÃO

**RESPOSTA DE PLÂNTULAS DE AROEIRA (*SCHINUS
TEREBINTHIFOLIUS* R.) AO ALUMÍNIO E A CALAGEM**

NUBIA VALLE MEZZAVILLA

2016



**UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO RIO DE JANEIRO
INSTITUTO DE AGRONOMIA
CURSO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM FITOTECNIA**

**RESPOSTA DE PLÂNTULAS DE AROEIRA (*SCHINUS
TEREBINTHIFOLIUS* R.) AO ALUMÍNIO E A CALAGEM**

NUBIA VALLE MEZZAVILLA

Sob a Orientação do Professor

Jorge Jacob Neto

Dissertação submetida como requisito parcial para obtenção do grau de **Mestre em Ciências**, no Curso de Pós-graduação em Fitotecnia, área de concentração em Produção Vegetal.

Seropédica, RJ

Junho de 2016

Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro
Biblioteca Central / Seção de Processamento Técnico

Ficha catalográfica elaborada
com os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

M617r Mezzavilla, Nubia Valle, 1986-
RESPOSTA DE PLÂNTULAS DE AROEIRA (SCHINUS
TEREBINTHIFOLIUS R.) AO ALUMÍNIO E A CALAGEM / Nubia
Valle Mezzavilla. - 2016.
59 f.: il.

Orientador: Jorge Jacob Neto.
Dissertação(Mestrado). -- Universidade Federal Rural
do Rio de Janeiro, Curso de Pós-Graduação em
Fitotecnia, 2016.

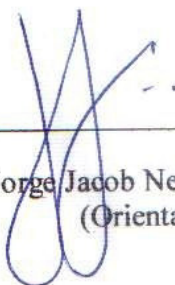
1. Toxicidade. 2. Solução nutritiva. 3.
Concentração. 4. Semente. I. Neto, Jorge Jacob, 1956-,
orient. II Universidade Federal Rural do Rio de
Janeiro. Curso de Pós-Graduação em Fitotecnia III.
Título.

**UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO RIO DE JANEIRO
INSTITUTO DE AGRONOMIA
CURSO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM FITOTECNIA**

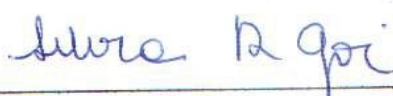
NUBIA VALLE MEZZAVILLA

Dissertação submetida como requisito parcial para obtenção do grau de **Mestre em Ciências**, no Curso de Pós-Graduação em Fitotecnia, área de Concentração em Produção Vegetal.

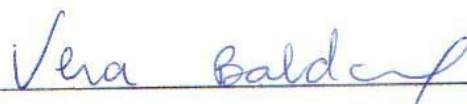
DISSERTAÇÃO APROVADA EM: 29 de Junho de 2016



Dr. Jorge Jacob Neto (UFRuralRJ)
(Orientador)



Dra. Silvia Regina Goi (UFRuralRJ)



Dra. Vera Lucia Divan Baldani (EMBRAPA Agrobiologia)

DEDICATÓRIA

À Deus, por mais esta conquista e pela alegria de acordar todos os dias.

Aos meus pais, a minha irmã, ao príncipe afilhado e ao meu noivo, pessoas especiais que tanto amo.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente a Deus pelo dom da vida, por ter me dado a oportunidade de crescer em uma família amorosa e o prazer de conhecer grandes amigos pelo caminho, além da força e coragem para seguir em frente.

Aos meus pais, por todo o carinho e incentivo em todos os momentos de minha vida.

A minha irmã, pela amizade e pelo sobrinho/afilhado nos trazendo imensa alegria.

Ao meu companheiro, pelo carinho, respeito, ensinamentos e apoio em todos os momentos.

Ao professor Jorge Jacob Neto, pela oportunidade dada, pelos cinco anos de aprendizado, amizade e pela confiança em mim depositada.

Aos amigos do laboratório da Química da Rizosfera, pela agradável convivência, imensa ajuda e pelos momentos que ficarão guardados na memória.

Ao Departamento de Fitotecnia pelo espaço e materiais concedidos.

Ao Curso de Pós Graduação em Fitotecnia – UFRRJ.

Ao CNPQ pela bolsa concedida.

Aos membros da banca pela contribuição.

A todos que de alguma forma contribuíram para que esse trabalho fosse realizado.

Muito obrigada!

“Não devemos permitir
que alguém saia de nossa presença
sem sentir-se melhor e mais feliz.”
(Madre Teresa de Calcutá)

RESUMO

MEZZAVILLA, Nubia Valle, **RESPOSTA DE PLÂNTULAS DE AROEIRA (*SCHINUS TEREBINTHIFOLIUS* R.) AO ALUMÍNIO E A CALAGEM**. 2016. X p. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia). Instituto de Agronomia, Departamento de Fitotecnia, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, RJ, 2016.

Os estudos da tolerância ao alumínio em plântulas de aroeira-vermelha (*Schinus Terebinthifolius* R.) foram realizados, em câmara de crescimento no Laboratório de Química da Rizosfera no Departamento de Fitotecnia, Instituto de Agronomia da Universidade Federal Rural Rio de Janeiro. Foram realizados experimentos com diferentes concentrações de Al em solução nutritiva simples (com cálcio) e completa com concentrações que variaram de 0, 25, 50, 100, 200, 400 e 800 μM na solução e em solo Latossolo vermelho amarelo onde foi adicionado calagem, P, K, e micronutrientes. As dosagens de calagem variaram de tratamentos com calagem (0, 500, 1000, 2000 e 4000 Kg ha^{-1} , sendo adicionados 100, 60 e 30 Kg ha^{-1} de fosforo, potássio e de micronutriente BR-12 respectivamente), além de um tratamento controle, sem calagem, P, K e micronutrientes. As avaliações foram baseadas na análise do crescimento radicular utilizando os parâmetros comprimento radicular, taxa de crescimento radicular, alongação radicular relativa e avaliados também o comprimento da parte aérea, massa seca da parte aérea e radicular, diâmetro do colo, pH da rizosfera e do solo. Foi verificado que é importante o tempo de dias após a semeadura, antes da transferência das plântulas para a solução nutritiva, sendo indicados 18 dias após a semeadura para solução nutritiva simples e 15 dias após a semeadura para solução completa. A taxa de crescimento radicular e a alongação radicular relativa são métodos que devem ser recomendados em estudos com plantas de aroeira-vermelha. Soluções nutritivas completas, diluídas e balanceadas, devem ser recomendadas em estudos de toxicidade de alumínio nesta espécie ao invés de soluções simples apenas com cálcio, devido ao baixo potencial de reserva da semente. Baixas concentrações de Al na solução simples, estimulou o crescimento de raiz. O comprimento de raiz de plântulas de aroeira crescidas em soluções nutritivas completas paralisou seu crescimento na concentração de 131,87 μM de Al. Na solução simples só foi possível estabelecer o nível crítico de toxicidade utilizando a taxa de crescimento radicular, obtendo o valor de 88,42 μM de alumínio. A aroeira respondeu a aplicação de calagem, P, K e micronutrientes quando crescida em solo Latossolo Vermelho Amarelo, sendo a dosagem de 2164,64 Kg ha^{-1} de calcário a que obteve o maior comprimento radicular. Para a massa seca da parte aérea somente 1831,50 Kg ha^{-1} de calcário foi suficiente para ser atingido o maior valor.

Palavras chave: Toxicidade, solução nutritiva, concentração, semente

ABSTRACT

MEZZAVILLA, Nubia Valle RESPONSES OF THE ALUMINUM AND LIMING IN AROEIRA (*Schinus terebinthifolius* R.) SEEDLINGS. 2016. X p. Dissertation (Master in Plant Science). Institute of Agronomy, Crop Science Department, Federal Rural University of Rio de Janeiro, Seropédica, RJ, 2016.

Studies of aluminum tolerance in seedlings aroeira-vermelha (*Schinus terebinthifolius* R.) were held in a growth chamber in the Department of Plant Science – Laboratory of Chemistry of Rhizosphere in the Agronomy Institute of University Federal Rural of Rio de Janeiro. Experiments were carried out with different concentrations of aluminum in simple nutrient solution (with calcium) and a complete nutrient solution with concentrations range from 0, 25, 50, 100, 200, 400 and 800 μM in the solution and in soil Oxisol which was added liming, P, K, and micronutrients. The liming varied from (zero, 500, 1000.2000 and 4000 kg ha^{-1} and with 100, 60, 30 kg ha^{-1} of phosphorus, potassium and micronutrient Br-12, respectively), and a control treatment without liming, P, K and micronutrients. The evaluations were based on analysis of root growth using the root length parameters, root growth rate, relative and evaluated root elongation also shoot length, dry weight of shoot and root, stem diameter, pH of the rhizosphere and soil. It was found that it is important to time days after sowing, before the transfer of seedlings to the nutrient solution; it is indicated 18 days after sowing for simple nutrient solution and 15 days after sowing for complete solution. Root growth rate and relative root elongation are methods that should be recommended in studies with plants aroeira-vermelha. Complete diluted and balanced nutrient solutions, should be recommended in aluminum toxicity studies in this species rather than simple solutions only with calcium due to low potential for seed storage. Low concentration of Al simple solution led to increase root growth. The root length of *Schinus terebinthifolius* R. seedlings grown nutrient solutions paralyzed in concentration 131.87 μM of Al. In the simple nutrient solution was only possible to establish the critical level of toxicity using the root growth rate obtaining the value of 88, 42 μM aluminum. *Schinus terebinthifolius* R. response the application of liming and P, K and micronutrients when grown in a soil Oxisol substrate, and the dosage of 2164.64 kg ha^{-1} of lime, dosing which was obtained the highest root length. For dry weight of shoot of seedlings, only 1831.50 Kg ha^{-1} of lime was enough to hit the highest value.

Keywords: toxicity, nutrient solution, concentration, seed

LISTA DE FIGURAS

- Figura 1. Árvore adulta de aroeira, na calçada de rua na cidade de Maricá no Rio de Janeiro 5
- Figura 2. Demonstração da disposição das folhas e frutos da aroeira 5
- Figura 3. Vista geral do experimento com as plântulas em solução nutritiva recebendo oxigenação em vasos 10
- Figura 4. Experimento de aroeira em solo Latossolo Vermelho Amarelo 60 dias após a semeadura 14
- Figura 5. Experimento de aroeira em solo Latossolo Vermelho Amarelo 90 dias após a semeadura 14
- Figura 6. Experimento 1 - Desenvolvimento de plântulas de aroeira-vermelha (*Schinus terebinthifolius* R.) crescidas em solução nutritiva simples com diferentes concentrações de alumínio. **A** - comprimento radicular. **B** - alongação radicular relativa (ERR %). **C** – taxa de crescimento radicular 16
- Figura 7. Crescimento radicular das plântulas de aroeira-vermelha (*Schinus terebinthifolius* R.), no decorrer dos 32 dias do experimento 1 teste 3. A seta no 11º dia indica o ponto onde começou a quebra das raízes 19
- Figura 8. Experimento 1 teste 3 - Avaliação do efeito de diferentes concentrações de alumínio no comprimento radicular, em solução simples com plântulas de aroeira-vermelha (*Schinus terebinthifolius* R.), 32 dias após a transferência, nas concentrações de 0, 100, 200 e 800 μM 19
- Figura 9. Experimento 1, teste 4 - Raiz de aroeira-vermelha (*Shinus terebinthifolius* R.) após 10 dias em solução nutritiva: A- Sem adição de Al; B- Em solução nutritiva na dose de 400 μM de Al apresentando exsudado nas raízes. Na figura B foi usado o fundo preto para melhor visualização das raízes e a seta indica a mucilagem 20
- Figura 10. Experimento 1, teste 4 - plântulas de aroeira-vermelha (*Shinus terebinthifolius* R.) com dosagens de 0, 25, 50, 100, 200 e 400 μM de Al, com raízes coradas com Hematoxilina (A) e plântulas de aroeira-vermelha (*Shinus terebinthifolius* R.) com dosagens de 0, 25, 50, 100, 200 e 400 μM de Al, com raízes coradas com Violeta de pirocatecol (PVC-1) (B) 21
- Figura 11. Experimento 2 - Comprimento radicular de plântulas de aroeira-vermelha (*Schinus terebinthifolius* R.), submetidas a diferentes doses de alumínio em solução nutritiva simples por 37 dias. CV % = 7,39 22
- Figura 12. Experimento 2 - Dados médios de alongação radicular relativa (ERR %) de plântulas de aroeira-vermelha (*Schinus terebinthifolius* R.) crescidas por 37 dias em solução nutritiva completa com diferentes concentrações de alumínio 23

Figura 13. Experimento 2 - Taxa de crescimento radicular (TRC) das plântulas de aroeira-vermelha (<i>Schinus terebinthifolius</i> R.) crescidas por 37 dias em solução nutritiva completa com diferentes concentrações de alumínio. Significativo ao nível de 5% de probabilidade. CV % = 20,22	23
Figura 14. Experimento 2 - Avaliação do efeito de diferentes concentrações de alumínio em solução nutritiva completa, em plântulas de aroeira-vermelha (<i>Schinus terebinthifolius</i> R.), 37 dias após o transplante para as concentrações 0, 25, 50, 100, 200 e 400 μ M alumínio	24
Figura 15. Crescimento radicular das plântulas de aroeira-vermelha (<i>Schinus terebinthifolius</i> R.), no decorrer dos 47 dias do experimento 3. A seta no 5º dia indica o ponto onde começou a quebra das raízes	26
Figura 16. Experimento 3 - Comprimento radicular de plântulas de aroeira-vermelha (<i>Schinus terebinthifolius</i> R.), submetidas a diferentes doses de alumínio em solução completa por 5 dias. CV % = 12,06	27
Figura 17. Experimento 3 - Dados médios de alongação radicular relativa (ERR %) de plântulas de aroeira-vermelha (<i>Schinus terebinthifolius</i> R.) crescidas por 5 dias em solução nutritiva completa com diferentes concentrações de alumínio	27
Figura 18. Experimento 3 - Taxa de crescimento radicular (TRC) das plântulas de aroeira-vermelha (<i>Schinus terebinthifolius</i> R.) crescidas por 5 dias em solução nutritiva completa com diferentes concentrações de alumínio. Significativo ao nível de 5% de probabilidade. CV % = 25,26	28
Figura 19. Experimento 3 - Avaliação do efeito de diferentes concentrações de alumínio do experimento 6, em solução nutritiva completa com plântulas de aroeira-vermelha (<i>Schinus terebinthifolius</i> R.), 47 dias após o início do experimento nas concentrações 0, 25, 50, 100, 200 e 400 μ M de alumínio	28
Figura 20. Experimento 4 - Comprimento radicular de plântulas de aroeira-vermelha (<i>Schinus terebinthifolius</i> R.) submetidas a diferentes doses de calcário em solo Latossolo Vermelho Amarelo, 90 dias após o início do experimento. CV%= 26,20	31
Figura 21. Experimento 4 - Diâmetro do colo de plântulas de aroeira-vermelha (<i>Schinus terebinthifolius</i> R.), submetidas a diferentes doses de calcário em solo Latossolo Vermelho Amarelo, 90 dias após o início do experimento	31
Figura 22. Experimento 4 - Plantas de aroeira-vermelha (<i>Schinus terebinthifolius</i> R.), 90 dias após o início do experimento no tratamento 0 absoluto (A). Plantas de aroeira-vermelha, 90 dias após o início do experimento na dose de 1000 kg há ⁻¹ de calcário (B)	32

LISTA DE TABELAS

- Tabela 1:** Experimento 1, teste 4 - Comprimento de parte aérea, massa seca de raiz e parte aérea, de plantas de aroeira-vermelha (*Schinus terebinthifolius* R.) de plantas crescendo em soluções simples por 32 dias..... **20**
- Tabela 2:** Experimento 2 - Comprimento de parte aérea, massa seca de raiz e parte aérea, de plantas de aroeira-vermelha (*Schinus terebinthifolius* R.) crescidas em solução nutritiva completa por 37 dias..... **22**
- Tabela 3:** Experimento 3 - Comprimento radicular e de parte aérea, massa seca de raiz e parte aérea, de plantas de aroeira-vermelha (*Schinus terebinthifolius* R.) crescendo em solução nutritiva completa por 47 dias..... **25**
- Tabela 4:** Experimento 4 - Pesos da massa seca de raiz e parte aérea (mg planta^{-1}), comprimento da parte aérea (cm) de plântulas de aroeira-vermelha (*Schinus terebinthifolius* R.), crescidas no solo Latossolo Vermelho Amarelo durante 90 dias com diferentes concentrações de calcário. A ausência de letras nas colunas significa que as médias não diferem pelo teste *Tukey* (5%)..... **29**
- Tabela 5:** Experimento 4 - Dados médios dos valores de pH do solo e pH da rizosfera nos copos contendo plântulas de aroeira-vermelha (*Schinus terebinthifolius* R.), crescidas no solo Latossolo Vermelho Amarelo durante 90 dias com diferentes concentrações de calcário..... **30**

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	1
2	REVISÃO DE LITERATURA.....	2
2.1	Descrição da Espécie de Aroeira-Vermelha	2
2.2	Calagem	6
2.3	Alumínio	7
3	MATERIAL E MÉTODOS	9
3.1	Localização e Descrição das Condições Experimentais	9
3.2	Descrição dos Experimentos.....	9
3.2.1	Experimento 1 - Desenvolvimento das raízes das plântulas em solução nutritiva simples - análise da qualidade da raiz	11
3.2.2	Experimento 2 - Crescimento em solução por 37 dias – 15 dias após semeadura	12
3.2.3	Experimento 3 - Crescimento em solução por 47 dias - 15 dias após semeadura	12
3.2.4	Experimento 4 - Plantas crescendo em solo latossolo vermelho amarelo....	12
4	RESULTADOS	15
4.1	Experimento 1 - Desenvolvimento das Raízes das Plântulas em Solução Nutritiva Simples - Análise da Qualidade da Raiz	15
4.2	Experimento 2 - Crescimento em Solução Completa por 37 dias - 15 dias Após Semeadura.....	21
4.3	Experimento 3 - Crescimento em Solução Completa por 47 dias - 15 dias Após Semeadura.....	24
4.4	Experimento 4 - Plantas Crescendo em Substrato de um Solo Latossolo Vermelho Amarelo	29
5	DISCUSSÃO	32
6	CONCLUSÕES.....	36
7	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	37

1 INTRODUÇÃO

A espécie *Schinus terebinthifolius* Raddi, pertence à família Anacardiaceae é nativa do Brasil e popularmente conhecida como pimenta-rosa, aroeira mansa, aroeira-vermelha e entre outros (ROCHA et al., 2012). Atualmente essa espécie florestal vem destacando-se, pelo consumo de seus frutos, pelas potencialidades medicinais e fitoquímicas, que têm auxiliado no tratamento de diversas doenças.

É uma árvore mediana que ocorre ao longo da mata atlântica, desde o Rio Grande do Norte até o Rio Grande do Sul, (LORENZI; MATOS, 2002). Planta pioneira, perenifólia e heliófita, comum em beira de rios, córregos e em várzeas úmidas de formações secundárias, mas cresce também em terrenos secos e pobres. É amplamente disseminada por pássaros, o que explica sua boa regeneração natural. Possui ampla dispersão, ocorrendo desde a restinga até as florestas pluviais semidecídua (LORENZI, 2002).

A aroeira-vermelha é uma das 20 árvores mais plantadas na cidade do Rio de Janeiro (Fonte: Prefeitura do Rio). A espécie está incluída entre os 8 fitoterápicos ofertados pelo Sistema Único de Saúde (BRASIL, 2009), sendo também matéria-prima para a produção de produtos de beleza nas empresas de cosméticos, está presente em refinados pratos da culinária francesa e isso tem estimulado o cultivo, cuja exportação de seus frutos gera lucros para produtores brasileiros (FAES & SENAR, 2009). A espécie também se destaca na recuperação de áreas degradadas (SOUZA et al., 2001), em programas de reflorestamento (KAGEYAMA; GANDARA, 2000) e em arborização urbana.

O Alumínio (Al) é o terceiro elemento mais abundante da litosfera, ficando atrás somente do oxigênio e do silício, sendo o metal mais abundante da crosta terrestre, estando presente na vida de todos os organismos. Na fase sólida do solo, o Al ocorre na forma de minerais primários ou secundários, como aluminossilicatos, oxi-hidróxidos, sulfatos e fosfatos. (ROSSIELLO; JACOB NETO, 2006; CAI et al., 2011).

A toxidez causada pelo alumínio é considerada um dos fatores mais importantes que limitam a produtividade agrícola em solos ácidos com pH iguais ou inferiores a 5,0 (FOY et al., 1978; ANIOL, 1990; BENNET; BREEN, 1991; KOCHIAN, 1995). O Al é solubilizado na solução do solo ficando disponível para a planta em sua forma catiônica trivalente (Al^{+3}) e causando efeitos negativos ao seu crescimento e desenvolvimento (CAI et al., 2011). Trata-se de um elemento anfótero que pode atuar como cátion em meio ácido e como ânion em meio básico, sendo o pH o principal fator que controla a sua disponibilidade no solo (MALAVOLTA, 1980; MIGUEL et al., 2010).

A inibição do alongamento radicular é o sintoma primário mais evidente quando se estuda a toxidez de alumínio nos vegetais (RENGEL, 1992; CHANDRAN et al., 2008), provavelmente como resultado da indução de distúrbios na divisão celular no meristema apical das raízes (TAYLOR, 1988). Na parte aérea, os sintomas de toxidez causados pela presença do alumínio são considerados secundários. Segundo Beutler et al. (2001) quando o alumínio está em grandes quantidades e em condições ambientais favoráveis, pode se acumular no sistema radicular e pode ser translocado para a parte aérea da planta em pequenas concentrações. Esses sintomas secundários também podem aparecer devido à influência do alumínio na absorção e transporte de nutrientes essenciais e água para as plantas, gerando sintomas de déficit nutricional na parte aérea (FREITAS et al., 2006; ROSSIELO; JACOB-NETO, 2006) e redução do seu comprimento e massa seca (SIVAGURU; PALIWAL, 1993).

Objetivo de avaliar o crescimento radicular em aroeira-vermelha (*Schinus terebinthifolius* R.), submetidas a condições de estresse com alumínio na fase de plântula em solução nutritiva simples, solução nutritiva completa e em solo ácido com adição de calagem.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Descrição da espécie de aroeira-vermelha

A *Schinus terebinthifolius* Raddi, é conhecida popularmente como aroeira-vermelha, aroeira-pimenteira, aroeira-mansa, aroeira-da-praia, pimenta-rosa ou fruto-de-sabiá. A altura da planta varia de 5 a 10 metros, com tronco revestido de casca grossa de 30-60 cm de diâmetro e coloração escura. As folhas são compostas imparipinadas, fortemente aromáticas, de 3-10 pares de folíolos de 10-15 cm de comprimento por 2-3 de largura (LORENZI, 2002). A aroeira é dióica, havendo árvores fêmeas e árvores machos, as suas flores são brancas e pequenas, dispostas em inflorescências axilares e terminais do tipo rácemo e são muito atrativas para abelhas. Seu florescimento ocorre principalmente durante os meses de setembro-janeiro e frutifica predominantemente no período de janeiro-julho, os frutos são drupas globosas de coloração verde no início e depois quando maduras ficam vermelha brilhante (LORENZI, 2002).

Lenzi e Orth (2004) verificaram que as flores de *Schinus terebinthifolius*, além de possuírem órgãos reprodutivos normais, possuem órgãos reduzidos que não são funcionais, o que comprova a dioicia da espécie. O método de polinização livre (mediado por insetos) foi o mais indicado para o aumento da frutificação da aroeira-vermelha, devido ao pequeno tamanho de suas flores. A relação pólen/óvulo foi elevada e caracteriza a planta como xenogâmica, ou seja, que depende obrigatoriamente da ação de agentes polinizadores, nesse caso, de diversos grupos de insetos, em especial das abelhas. A espécie portanto não é anemófila, ou seja, os grãos de pólen da aroeira não são transportados pelo vento.

A aroeira-vermelha é uma das espécies nativa da flora brasileira, da família Anacardiaceae que possui 70 gêneros e cerca de 700 espécies (LORENZI; MATOS, 2002). Possui uma ampla distribuição geográfica, ocorrendo do Nordeste, passando pelos cerrados, chegando ao Rio Grande do Sul. Entretanto tem também sido encontrada na Argentina e Paraguai, Peru, Uruguai, Chile e Bolívia (RIBAS et al., 2006). A sua ocorrência é desde o nível do mar até 2000 metros de altitude, em locais com precipitação média anual de 950 mm a 2200 mm.

Há grande variabilidade entre plantas, ficando assim difícil identificar épocas de floração e frutificação. Em geral, a floração da aroeira é precoce, podendo ocorrer a partir do primeiro ano de vida (CARVALHO, 1994). Seus frutos podem permanecer na planta até a próxima floração, a qual pode ocorrer duas vezes ao ano. É uma árvore bastante interessante para arborização urbana, devido ao seu pequeno a médio porte e a frutificação ornamental, aliados à rusticidade da planta, fazem com que ela seja uma excelente escolha para o paisagismo, prestando-se como arvoreta, cerca-viva, tendo potencial ornamental principalmente em praças e ruas.

Segundo Lorenzi (1992), a espécie é também recomendada para recuperação de áreas degradadas e marginais, devido ao seu caráter de pioneirismo e agressividade, e por ser zoocórica. Ela pode apresentar-se como arbustos rasteiros e retorcidos ou na forma de árvore com fuste desenvolvido e copa globosa. É uma planta comum em beira de rios, córregos e em várzeas úmidas de formação secundária e cresce também em terrenos secos e pobres. Sua dispersão é ampla, ocorrendo desde a restinga até as florestas pluviais semidecídua de altitude, a espécie ocorre em diversos tipos de solo, de baixa fertilidade química a férteis, solos úmidos ou secos, arenosos ou argilosos (CARVALHO, 2003; CARMELLO-GUERREIRO; PAOLI, 1999; LORENZI, 2002; MORGAN; OVERHOLT, 2005).

Atualmente, vem sendo utilizada na recuperação de matas ciliares e áreas degradadas. A facilidade de cultivo em viveiros, a elevada porcentagem de germinação e grande rusticidade são os principais motivos para se utilizar esta árvore no reflorestamento. Sua propagação pode ser feita por sementes ou por estaquia a partir de segmentos da raiz e do caule (GRISI, 2010). A facilidade de cultivo em viveiros, devido a elevada porcentagem de germinação e sua grande rusticidade, são os principais motivos para o uso desta árvore no reflorestamento ambiental. O uso de espécies vegetais nativas em programas de reflorestamentos é bastante promissor, pois são mais adaptadas às condições edafoclimáticas locais e, com isso, facilitariam o estabelecimento da vegetação e as suas relações com a fauna regional.

Caracteriza-se por apresentar óleos essenciais amplamente distribuídos nas suas partes vegetais, presentes em folhas, frutos e tronco, e em teores e composições variáveis. Resultados de análises fitoquímicas registraram a presença de alto teor de tanino, biflavonóides e ácidos triterpênicos nas cascas de *S. terebinthifolius*, e de até 5% de mono e sesquiterpenos no óleo essencial de frutos e folhas, demonstrando que alguns componentes dos óleos voláteis possam constituir uma proteção contra predadores e infestantes (LORENZI; MATOS, 2002). Recentemente, esse óleo vem sendo usado como fragrância de perfumes, devido ao seu cheiro agradável e ativo.

Diversos fatores influenciam na qualidade do óleo essencial das plantas medicinais aromáticas e condimentares, tais como, variações climáticas, solo, época de colheita, características genéticas da planta, condições de secagem e armazenamento. A etapa de secagem merece atenção especial, pois o seu manejo vai afetar a preservação do produto e consequentemente a sua qualidade comercial (ROCHA et al., 2012).

Da casca do caule, extrai-se óleo empregado contra tumores e doenças da córnea (DEGÁSPARI et al., 2005). As cascas são tradicionalmente utilizadas na forma de cozimento (decocto) como antiinflamatório e cicatrizante (LORENZI; MATOS, 2002), resultados demonstraram ação antiúlcera gástrica no extrato aquoso obtido por decocção da casca (BRASIL, 2006). As folhas são usadas como cicatrizante de pele ou mucosa, analgésico e antipruriginoso através do uso externo de seu macerado. A administração interna da infusão das suas folhas é indicada para o reumatismo e afecções respiratórias (DEGÁSPARI et al., 2005) a exemplo da bronquite (BARBOSA et al., 2007). As cascas e folhas secas são utilizadas contra febres, diarreias, tosse, bronquite, gripes e inflamações em geral (MARTINES et al., 1996; PLANTAS QUE CURAM, 2008). É importante ressaltar que essas propriedades descritas provêm da cultura popular e apenas algumas delas já foram comprovadas cientificamente.

Apesar dos efeitos benéficos, a aroeira apresenta vários efeitos tóxicos, especialmente sob uso prolongado, o que exige cautela em sua utilização como fitoterápico. Entre os efeitos tóxicos destacam-se a dermatite alérgica em pessoas sensíveis a alquilofenóis e a atividade mutagênica (citotóxica) detectada em extratos provenientes das cascas do caule (STASI; LIMA, 2002; BARBOSA et al., 2007; PLANTAS QUE CURAM, 2008).

Sua madeira é considerada pesada ou moderadamente pesada e de grande durabilidade natural, podendo ser usada para lenha, carvão, moirões e esteios. Quando cortada rebrota tanto a partir do caule como da raiz, desenvolvendo troncos múltiplos (CARVALHO, 1994; LORENZI, 2002).

Na Europa foi introduzida para a arborização de ruas pelo seu porte e beleza. Na França os seus frutos são utilizados na culinária, sendo conhecidos como *poivre rose*, um tipo de pimenta doce, seu cheiro é resinoso e o sabor é adstringente e balsâmico (SCRIVANTI et al., 2003; CERUKS et al., 2007; PLANTAS QUE CURAM, 2008). Nos EUA no Estado da Flórida, a aroeira-vermelha foi introduzida em meados do século XIX, como planta ornamental, mas se tornou uma das piores plantas invasoras de ecossistemas naturais,

afetando a biodiversidade das regiões central e sul do país (CUDA et al., 2006). Atualmente é também considerada uma das 20 piores plantas invasoras na Austrália onde é alvo do controle biológico (HAYES; PAYNTER, 2009).

A aroeira foi utilizada pelos Jesuítas que através de sua resina, preparavam o "Bálsamo das Missões", famoso no Brasil e no exterior. O suco do macerado de raízes é utilizado para o tratamento de tumores ganglionares (BARBOSA et al., 2007). Em homeopatia, a planta é utilizada para o tratamento da debilidade, intumescimento linfático, inércia sexual e moléstias de pele (STASI; LIMA, 2002).

A casca do seu caule está incluída como matéria-prima farmacêutica para a produção de um dos oito fitoterápicos que passaram a ser oferecidos pelo Sistema Único de Saúde (SUS), a indicação das cascas de aroeira pelo SUS, nas formas farmacêuticas de gel ou capsula (óvulo), e como produto ginecológico para o tratamento de infecção vaginal (BRASIL, 2009). Para essa indicação, levou-se em consideração o grande número de evidências científicas de sua segurança e eficácia, inclusive com estudos clínicos realizados em seres humanos. Foi verificado por Johann et al. (2007) que o extrato etanólico das folhas de *S. terebinthifolius* apresentou potencial atividade antifúngica contra *Candida glabrata* e *Sporothrix schenckii*.

No Brasil há produção da semente de aroeira-vermelha, principalmente no estado do Espírito Santo e o preço do quilo é de aproximadamente R\$ 3, variando de acordo com a qualidade da safra. O preço para exportação gira em torno de 13 dólares por quilo e os principais países importadores são Estados Unidos, Holanda, Alemanha, Itália e França (FAES & SENAR 2009). Para a produção de uma tonelada de pimenta-rosa desidratada, é preciso de quatro toneladas de frutos frescos.

Seu óleo essencial tem sido empregado para a produção de cosméticos, na forma de loções, géis e sabonetes, indicado para a limpeza de pele, coceira, acne, manchas, antisepsia de ferimentos, micoses e para o banho. O preço do frasco de 10 ml do óleo essencial extraído dos frutos é de cerca de R\$ 25,00, sendo mais vendido para indústrias de cosméticos, da culinária europeia, e seu cultivo tem contribuído para aumentar a renda de produtores brasileiros (ALMEIDA; LEITE, 2010).

Pelo uso intensivo, a aroeira encontra-se na lista oficial de espécies da flora brasileira ameaçadas de extinção, na categoria vulnerável. O extrativismo intensivo dos frutos de aroeira-vermelha pode gerar perdas de material genético, já que os frutos originados são coletados e comercializados, o que impede a reprodução natural a partir desses frutos. Dessa forma, a caracterização dos níveis da variabilidade e o entendimento da dinâmica de movimentação de alelos nas populações naturais podem trazer subsídios para a maximização de estratégias de manejo do processo extrativista favorecendo a conservação da espécie (MELO JR et al., 2004).

Devido a esta crescente exploração da aroeira-vermelha para extração dos frutos, estudos sobre esta espécie são importantes, já que não se conhecem os seus polinizadores, o potencial de produção de frutos da área, nem tampouco o impacto desta extração na polinização e frutificação da aroeira (CESÁRIO; GAGLIANONE, 2008).

É sugerido para um plantio de muda de aroeira, abrir covas nas dimensões 25 x 25 x 25 cm e adubar com 100 g de N-P-K (06-30-06), conforme realizado por Villa et al.(2015) numa implantação de reflorestamento.

Nas figuras 1 e 2 são mostradas fotografias da árvore adulta de aroeira-vermelha e a disposição das folhas e frutos na planta, respectivamente.



Figura 1. Árvore adulta de aroeira (*Schinus terebinthifolius* R.), na calçada de rua na cidade de Maricá no Rio de Janeiro.



Figura 2. Demonstração da disposição das folhas e frutos da aroeira (*Schinus terebinthifolius* R.).

2.2 Calagem

A toxidez provocada pelo Al pode ser minimizada com incorporação de calcário em camadas mais profundas do solo (CASSIOLATO, 2000; HARTWIG, 2007), o uso da calagem promove a elevação do pH e promove a neutralização do Al, evitando seus efeitos tóxicos sobre o crescimento e desenvolvimento das plantas (MARSCHNER, 1991).

Os efeitos da calagem (elevação do pH, do Ca e Mg, e a neutralização do Al trocável) normalmente restringem-se às zonas de aplicação ou imediatamente abaixo delas (POTTKER; BEN, 1998). Os valores de pH e Al alteram-se pouco em profundidade devido à baixa solubilidade de alguns produtos corretivos agrícolas e à alta reatividade de seus ânions com os ácidos presentes na camada de solo em que o calcário é incorporado (ERNANI et al., 2001).

A incorporação de calcário normalmente promove maiores rendimentos que a calagem superficial, principalmente nos primeiros anos (WEIRICH NETO et al., 2000). Constatou-se que a calagem superficial promove incrementos no rendimento das culturas, cuja magnitude varia com a espécie e tipo de solo (POTTKER; BEN, 1998; RHEINHEIMER et al., 2000), condições de fertilidade, e principalmente com o pH (ERNANI et al., 2001).

O problema da toxicidade por Al^{3+} é particularmente importante em camadas subsuperficiais do solo, pela dificuldade de aplicação profunda da calagem. Uma alternativa para minimizar esse problema, portanto, seria a utilização de espécies e cultivares de plantas tolerantes ao Al^{3+} , elevando-se, dessa forma, a eficiência produtiva das culturas em regiões com limitações por acidez (MATTIELLO et al., 2008).

De modo geral, o Al em teores tóxicos pode estar localizado em todo o perfil do solo e sua neutralização é temporariamente obtida com a calagem apenas na camada arável, devido à baixa mobilidade dos corretivos aplicados ($CaCO_3 + MgCO_3$, CaO, CaOH) e ao elevado custo da correção em profundidade. Em algumas situações é viável a utilização do gesso. Desta forma, a ineficiência da calagem em reduzir a acidez do subsolo limita o desenvolvimento das raízes em profundidade, elevando a sensibilidade a deficiências hídricas ocasionais e, conseqüentemente, reduzindo a eficiência na absorção de nutrientes nas camadas mais profundas (FOY et al., 1978; CANÇADO et al., 2001; FERREIRA et al., 2006). O Al é um dos principais componentes da acidez potencial dos solos e sua solubilização na solução e conseqüente toxidez são influenciadas por vários fatores, incluindo tipo de argila predominante, concentração de sais na solução, teor e dinâmica da matéria orgânica, técnicas culturais e, principalmente, o pH (BISSINI et al., 2006).

Em soluções ácidas ($pH < 5,0$) o Al se apresenta na forma $Al(H_2O)_6^{3+}$, caracteristicamente tóxica para as plantas. Porém, quando o pH se eleva, esta molécula sofre hidrólise, com a formação dos complexos mononucleares $Al(OH)_2^+$ e $Al(OH)_2^+$ (ROSSIELLO; JACOB NETTO, 2006).

A calagem é uma prática agrícola normalmente aceita sem restrições pelos produtores, e que, na maioria das situações, proporciona benefícios econômicos (OLIVEIRA et al., 1997; POTTKER; BEN, 1998). É recomendada a calagem em solos que apresentam teores de Al tóxicos às plantas, causando um rendimento vegetal limitado (ERNANI et al., 1998).

Em *Leucaena leucocephala*, Naidu et al. (1990) constatou que a calagem promoveu o crescimento e maior produção de matéria seca. Em cedro, estudos indicam que a espécie é sensível à acidez (BRAGA, 2011), exigindo dessa forma o fornecimento de calcário, principalmente na fase de implantação da floresta (BATISTA et al., 2015).

2.3 Alumínio

O alumínio (Al) é um dos elementos mais abundantes na crosta terrestre. Em solos ácidos, ele é solubilizado na solução do solo, se transformando para sua forma de cátion trivalente (Al^{3+}), ficando disponível para a planta e gerando toxidez. (MA; FURUKAWA, 2003). É nessa forma trivalente, que é considerada a mais tóxica, capaz de causar inibição do crescimento radicular, além de alterações negativas no metabolismo, prejudicando o desenvolvimento e conseqüentemente a produção das plantas. Em condição de acidez do solo a toxidez por alumínio é causada quando os valores de pH são iguais ou inferiores a 5.0 (ALVES et al., 2004).

A toxicidade é um importante fator limitante da produtividade das culturas em solos ácidos, que respondem por cerca de 30% das terras aráveis do mundo (KOCHIAN et al., 2004; MA, 2007; KOCHIAN et al., 2015). Além disso, até 60% dos solos ácidos do mundo estão em países em desenvolvimento, onde a produção de alimentos é crítica (KOCHIAN et al., 2005; LIU et al., 2014).

Geralmente o efeito tóxico do Al é notado em raízes de plantas antes que qualquer sintoma possa ser evidente na parte aérea. As plantas ao serem afetadas pelo alumínio apresentam com frequência sintomas de déficit nutricional tais como fósforo, potássio, cálcio, magnésio e molibdênio, devido a interferência do Al no processo de absorção, translocação e transporte desses nutrientes (JACOB-NETO, 1993). Níveis tóxicos de alumínio afetam a divisão e expansão celular e causam desorganização da membrana plasmática e inibição da absorção de íons.

Os sintomas secundários afetam a parte aérea da planta, pois quando o sistema radicular apresenta algum tipo de limitações, isso dificulta a absorção de água e de nutrientes (FOY, 1992; JACOB-NETO, 1993; FREITAS et al., 2006) e conseqüentemente podem reduzir massa seca e altura das plantas (SIVAGURU; PALIWAL, 1993).

Os efeitos causados nas folhas pelo Al são indiretos pois diminui a absorção de Ca e Mg na raiz e conseqüentemente nas folhas, que influenciam a biossíntese de clorofila, podendo ficar amareladas, arroxeadas nas bainhas e margens do limbo e apresentar atrofiamento, afetando o ápice e o pecíolo da planta que caracteriza sintomas de deficiência de cálcio. Os decréscimos nos teores de clorofila dependem da espécie, do cultivar, tempo de exposição e concentração de Al na solução nutritiva (FOY, 1974; CODOGNOTTO et al., 2002; PEIXOTO et al., 2007).

Outros efeitos comuns na parte aérea são a redução da abertura estomática, diminuição da atividade fotossintética, folhas amareladas com clorose e necrose, tendo como consequência uma menor produção de biomassa (WATANABE; OSAKI, 2002).

O efeito tóxico do alumínio pode provocar severas mudanças da morfologia da raiz, como a inibição do alongamento radicular, resultando em raízes mais curtas, apresentando ápices mais grossos, com poucos ou nenhum pelo radicular (GUPTA et al., 2013).

Dependendo da severidade do estresse, poderá ter caráter reversível ou não. Sendo alto o grau de toxidez, poderá causar a morte das células da zona meristemáticas ou de tecidos corticais, com conseqüente paralisação do crescimento radicular (SIMINOCOVA et al., 2004). O comprimento radicular é o parâmetro com maior quantidade de relatos como medida da tolerância ao alumínio, devido a facilidade de medição e sua relação com a tolerância de plantas adultas (FOY et al., 1978; VASCONCELOS et al. 2002a; ZHANG; TAYLOR, 1998). Desta forma, o comprimento radicular é usado como parâmetro na maioria das pesquisas que se destinam à análise da toxicidade do Al (SIVAGURU et al., 1999) e quando estudada em plântulas tem apresentado boa correlação com a toxidez da espécie.

O alumínio é normalmente tóxico para o crescimento das plantas sensíveis. A toxicidade é caracterizada primariamente pela inibição rápida de alongamento da raiz (RENGEL, 1992; MA; FURUKAWA, 2003; CHANDRAN et al., 2008). As plantas sensíveis ao alumínio têm seu crescimento e desenvolvimento radicular inibido e forma raízes mais grossas, com coloração escura, poucas ramificações, menor volume, frágeis, e podem apresentar manchas necróticas (FOY, 1992; CAMARGO et al., 1998).

Este metal pode causar modificações severas e irreversíveis à parede celular (FOY, 1983). No entanto, algumas espécies de plantas e cultivares evoluíram alguns mecanismos para desintoxicar desse alumínio, tanto internamente como externamente (MA; FURUKAWA, 2003). Evidências sugerem que a parede celular desempenha um papel fundamental na percepção e manifestação de toxicidade Al em plantas (HORST et al., 2010; KOCHIAN et al., 2015). A parede celular é o primeiro ponto de contato quando as raízes das plantas são expostas ao Al e ele afeta negativamente a estrutura de parede e a sua função através do aumento da rigidez e reduzindo a expansão da célula e extensibilidade mecânica, inibindo o alongamento da raiz (VAN et al., 1994; TABUCHI; MATSUMOTO, 2001; MA et al., 2004; YANG et al., 2010).

Muitas espécies não toleram solos com altas concentrações de Al, prejudicando assim seu crescimento e desenvolvimento, já que as suas raízes tornam-se curtas e grossas, reduzindo o volume que as raízes ocupam no solo e conseqüentemente afetando a absorção de nutrientes e água (MALAVOLTA et al., 1997). A raiz, portanto é a parte morfológica da planta a ser primeiramente avaliada em estudos de sensibilidade ao alumínio.

Os corantes foram primeiramente utilizados na marcação de alumínio em tecido animais. Alguns destes corantes têm sido utilizados, como a hematoxilina (KINRAIDE, 1988; MASSOT et al., 1991; VASCONCELOS, 1997), quinalizarina (KALOVOULOS; MISOPOLINOS, 1983, JACOB-NETO, 1993), azul de metileno (WAGATSUMA et al., 1988), violeta de pirocatecol (JACOB-NETO, 1993; VASCONCELOS, 1997), são utilizados para estudar toxicidade de alumínio nas raízes das plantas. O uso de corantes químicos é um método rápido e barato para avaliar a tolerância de vegetais ao Al, que para ter eficiência deve ser considerado a razão H^+/OH^- , estágio de crescimento das raízes e sua coloração natural (ROSSIELLO; JACOB NETO, 2006), o alumínio tem alta afinidade por substâncias liberadas pela planta (TOLRÁ et al., 2005). Deve também ser considerado o provável local de exclusão do Al, se o mecanismo da tolerância da espécie é baseado na exclusão externa ou interna na raiz ou se ocorre na parte aérea (JACOB-NETO et al., 1991; JACOB-NETO, 1993; BARCELÓ; POSCHENRAIDER, 2002).

Toxicidade de alumínio é um importante tópico de pesquisa devido a existência de muitas plantas cultivadas serem suscetíveis em solos ácidos e o seu crescimento e produtividade prejudicados pelos altos níveis de Al disponíveis no solo (MARIANO et al., 2005; SILVA et al., 2002; VITORELLO et al., 2005). Em solos ácidos, os altos níveis de alumínio e a deficiência de cálcio são frequentemente considerados os principais fatores limitantes do crescimento das plantas. Fato esse relacionado à forte afinidade do alumínio por compostos doadores de oxigênio, desde moléculas estruturalmente simples, até bastante complexas, como antocianinas e flavonóides (TOLRA et al., 2005).

Em arroz, Vasconcelos et al. (2002) constatou que os caracteres morfológicos ligados ao sistema radicular permitiram reconhecer a tolerância ao alumínio entre cultivares tolerantes e sensíveis, sendo o caráter alongação radicular relativa como caráter eficiente na seleção de genótipos tolerantes. Embora, vários trabalhos mostram os efeitos negativos do Al, existem trabalhos que mostram efeitos benéficos no caso de algumas espécies, como por exemplo arroz, (FAGERIA; ZIMMERMANN, 1979; FAGERIA et al., 1989) em que mostraram que algumas cultivares produziram maior quantidade de matéria seca sob 10 mg.L^{-1} de Al.

A maioria dos estudos com alumínio é relativo a plantas anuais/bianuais ou perenes de elevado valor econômico. Em espécies florestais como o Eucalipto os estudos são mais escassos. Nesta planta foi observado, que doses mais baixas de Al podem até estimular o crescimento e absorção de nutrientes (MULLETTE, 1975). O mesmo efeito foi encontrado com pimenta-preta em trabalho realizado por Veloso et al. (1995), onde valores menores que 15 mg de Al/L possui efeito positivo na produção de matéria seca.

Em plantas de espécies florestais que são utilizadas na arborização urbana, foi encontrado por Polese (2013) que o Al causou fitotoxidez em plântulas de *Delonix regia* (flamboyant). Resultados semelhantes foram relatados por Machado (2014) em plântulas de *Bauhinia variegata* L. Lemos et al. (2015) em *Acacia mangium* W. Vasconcelos Filho (2014) trabalhando com plântulas da espécie florestal de *Anacardium othonianum* Rizz. (caju-do-cerrado), também encontrou efeito fitotóxicos de alumínio. Entretanto, considerando as informações que existem em plantas de maior interesse econômico, as espécies florestais são menos estudadas.

O cultivo em solução nutritiva possui grande relevância para a seleção de genótipos e para estudos específicos de nutrição mineral, devido à facilidade que o método oferece para a avaliação do sistema radicular e da parte aérea (DELHAIZE; RYAN, 1995). Dentre as vantagens do uso de solução nutritiva, Rossiello e Jacob Neto (2006) destacaram o acesso ao sistema radicular, controle do pH e das concentrações do Al e de outros íons relevantes para as expressões das reações de sensibilidade ou tolerância.

Soluções nutritivas simples ou completa têm sido vastamente utilizadas em pesquisas sobre a toxidez do Al em culturas agrícolas e, mais recentemente, em espécies florestais. Dentre as principais vantagens está o maior controle experimental, rapidez, menor custo operacional e facilidade de manejo (JACOB-NETO, 1993; SCHEFFER-BASSO et al., 2000; FORTUNATO; NICOLOSO, 2004; PORTALUPPI et al., 2010).

Em face da ausência de dados relacionados do efeito do Al no crescimento de *Schinus terebinthifolius* R. e devido à importância dessa espécie para a arborização urbana e restauração florestal, o presente trabalho teve como objetivo, avaliar o efeito da toxicidade do alumínio em plântulas de aroeira-vermelha, crescidas em solução nutritiva simples, completa e em solo ácido.

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Localização e descrição das condições experimentais

Todos os experimentos em solução nutritiva simples, completa e de solo foram realizados na câmara de crescimento do Laboratório de Química da Rizosfera, no Departamento de Fitotecnia da Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro Instituto de agronomia da UFRRJ. A câmara de crescimento tinha o ambiente controlado com fotoperíodo de 12h luz/ 12h escuro, sendo a temperatura diurna mantida entre 28-30°C e a noturna em 18-20°C.

3.2 Descrição dos experimentos

Foram utilizadas sementes de aroeira-vermelha (*Schinus terebinthifolius* Raddi) oriundas de uma única matriz adquiridas da empresa Arbocenter – Birigui – SP. Para os

experimentos em solução nutritiva, as sementes foram colocadas para germinação em caixa de areia lavada e umedecidas com água deionizada. Após o período de germinação, as plântulas foram cuidadosamente retiradas do substrato e depois lavadas com água deionizada para a eliminação de partículas de areia. Houve uma seleção quanto à uniformidade do tamanho das plântulas e depois disso foram colocadas nos respectivos copos com capacidade de 300 mL, que foram cobertos com papel alumínio para reduzir a entrada de luz, minimizando o crescimento de algas.

A solução nutritiva simples foi preparada de acordo com a metodologia proposta por Jacob Neto (1993), sendo composta de 0,1mM de Ca. L⁻¹ na forma de CaCl₂.2H₂O e seis concentrações de Al na forma de AlCl₃.6H₂O. O pH da solução foi ajustado para 4,0 a 4,15 utilizando uma de solução de 1 M da HCl e 0,1 M de NaOH. A solução nutritiva foi trocada a cada 72 horas e aerada diariamente com bombas de ar utilizadas para aquário.

A solução nutritiva completa também foi preparada de acordo com a metodologia proposta por Jacob Neto (1993), sendo composta por 0,5mM de N na forma de NH₄NO₃; 0,2mM de Ca na forma de CaCl₂.H₂O; 0,2mM de Mg na forma de MgSO₄.7H₂O; 0,5mM de K na forma de K₂SO₄; 0,1mM de P na forma de NaH₂PO₄.2H₂O; 10μM de Fe na forma de FeNa EDTA; 0,4μM de Mn na forma de MnSO₄.H₂O; 0,16μM de Zn na forma de ZnSO₄; 0,04μM de Cu na forma de CuSO₄; 0,5μM de Mo na forma de MoO₃; 0,04μM de Co na forma de CoSO₄.7H₂O. O pH da solução foi ajustado para 4,0 a 4,15 com uso de solução de 1M da HCl e 0,1M de KOH.

Antes da transferência das plântulas para as soluções nutritivas, foram avaliados o comprimento da raiz principal e da parte aérea, utilizando uma régua com graduação em milímetros. As plântulas foram colocadas nos copos, sendo fixadas com auxílio de esponja na altura do colo e discos de isopor contendo orifício na parte central, permitindo que a plântula permanecesse adequadamente mantendo apenas suas raízes submersas, era apenas uma plântula por vaso (Figura 3).

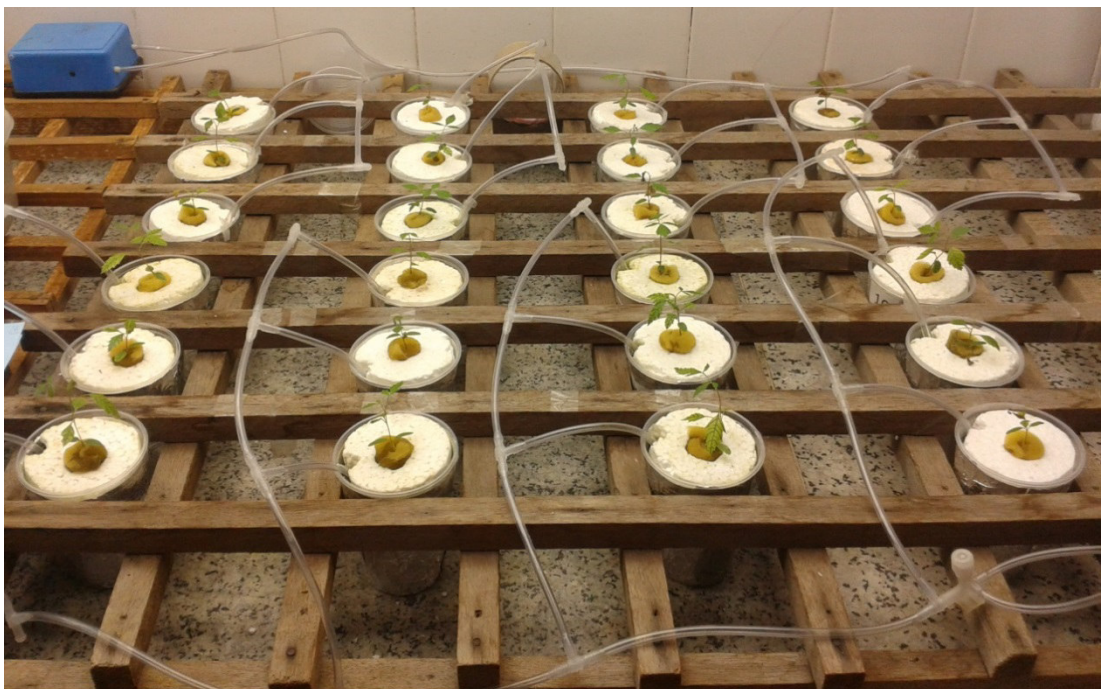


Figura 3. Vista geral do experimento com as plântulas em solução nutritiva recebendo oxigenação em vasos.

A escolha das plântulas a serem transferidas para os copos foram realizadas de forma aleatória. Durante todo o período dos experimentos foram avaliados diariamente o comprimento radicular. Após as coletas dos experimentos, foram avaliados o comprimento da raiz e parte aérea. O material vegetal foi seco em estufa à temperatura de 65 °C até obtenção de massa constante, para determinação da produção de matéria seca. O peso do material foi obtido através do uso de uma balança analítica modelo Kern 420 – 21.

Parâmetros avaliados;

A) Taxa de crescimento radicular (TCR) é calculada através da equação:

$$\text{TCR} = (\text{Cf} - \text{Ci}) / \Delta t$$

Onde: Cf = comprimento radicular final; Ci = comprimento radicular inicial; Δt: Intervalo do tempo em dias.

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

$$\text{ERR} = \frac{(\text{Cf}_{\text{Al}_x} - \text{Ci}_{\text{Al}_x})}{(\text{Cf}_{\text{Al}_0} - \text{Ci}_{\text{Al}_0})} \times 100$$

Onde: Ci_{Al_x} = comprimento radicular inicial da raiz principal medido antes da exposição à solução nutritiva no nível de “x” de Al; Cf_{Al_x} = comprimento radicular final da raiz principal medido após n dias de exposição à solução nutritiva no nível “ x ” de Al; Ci_{Al_0} = Comprimento radicular inicial da raiz principal antes da exposição à solução sem Al; Cf_{Al_0} = Comprimento radicular final da raiz principal medido após n dias de exposição à solução nutritiva no nível “x” de Al.

Através do cálculo da elongação radicular relativa (ERR%), é possível avaliar o comportamento do crescimento radicular das plântulas em contato com a solução de alumínio em relação às plântulas crescidas sem contato com alumínio. Sendo assim, uma avaliação percentual dos efeitos dos tratamentos, retirando o crescimento natural das raízes.

3.2.1 Experimento 1 - Desenvolvimento das raízes das plântulas em solução nutritiva simples – Análise da qualidade da raiz

Teste 1 - 13 dias após a semeadura, 10 dias na solução; Teste 2 - 15 dias após semeadura, 9 dias na solução; Teste 3 – 15 dias após a semeadura, 32 dias na solução; Teste 4 – 18 dias após a semeadura, 10 dias na solução.

No experimento 1, os 4 testes foram realizados em câmara de crescimento. As sementes foram germinadas em areia lavada e dias após a semeadura foram colocados uma plântula por copo de 300 mL de solução nutritiva simples. O dia do transplante foi diferente em cada teste e a permanência das plântulas na solução foi o estipulado para cada teste. Nos testes 1, 2 e 4, o delineamento experimental utilizado foi o de inteiramente casualizado com seis concentrações de alumínio (0, 25, 50, 100, 200 e 400 μM) e quatro repetições. No teste 3, foi suprimida a concentração de 50 μM de Al e acrescentada a concentração de 800 μM de alumínio. O alumínio foi aplicado na forma de $\text{AlCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$. As plântulas foram coletadas e

avaliadas o comprimento da raiz principal e da parte aérea, ERR%, TCR, massa seca de raiz e parte aérea.

No teste 4, foram utilizados dois corantes: hematoxilina (POLLE et al., 1978) e violeta de pirocatecol (PVC-1) (JACOB-NETO, 1993). A solução estoque de hematoxilina foi preparada pela dissolução de 2 g de hematoxilina e 0,2 g de KNO_3 em 1L de água deionizada, além da adição de uma gota de KOH $0,1 \text{ mol.L}^{-1}$ para facilitar a dissolução do corante, segundo Rincón e Gonzales (1992). A solução estoque de violeta de pirocatecol foi feita na concentração de $1,1 \text{ mM. L}^{-1}$.

Posteriormente as plântulas foram colocadas em recipientes com água deionizada por 30 minutos para a retirada do excesso de Al e depois colocadas num recipiente com o corante por 15 minutos. A solução de coloração das plântulas de hematoxilina foi preparada pela diluição de 5ml da solução estoque em 20mL de água deionizada, A solução de coloração das plântulas utilizando o corante violeta de pirocatecol foi realizada adicionado 1mL da solução estoque em 24 mL de água deionizada. As raízes das plântulas foram colocadas em cada uma destas soluções separadamente em recipientes de 50 mL, por 15 minutos. Após esse período, as plântulas eram novamente colocadas num recipiente com água deionizada por mais 30 minutos, retiradas e colocadas em um papel para as avaliações das cores, sendo então aplicados as notas de acordo com a intensidade de coloração das raízes. As notas foram graduadas de zero (0) a cinco (5), sendo as notas mais altas para as raízes mais escuras. Para ambos corantes, o teste de avaliação da coloração de raízes expostas ao Al foi realizado após a medição do comprimento radicular.

A avaliação da coloração foi realizada por análise visual, foram atribuídas notas variando de 1 a 5, sendo 1 a nota dada as raízes não coradas e 5 para as mais coradas. As notas foram obtidas através da média de três avaliadores sem conhecimento prévio do método de avaliação.

3.2.2 Experimento 2 - Crescimento em solução por 37 dias – 15 dias após semeadura

No experimento 2, após 15 dias de semeadura em areia, as plântulas foram transferidas para os copos com a solução nutritiva completa. Foi usado o delineamento experimental inteiramente casualizado, com seis concentrações de alumínio (0, 25, 50, 100, 200 e 400 μM) e quatro repetições. Após 37 dias na solução, foi realizada a coleta das plântulas e foram avaliadas o comprimento da raiz principal e da parte aérea, ERR%, TCR, massa seca de raiz e parte aérea.

3.2.3 Experimento 3 - Crescimento em solução por 47 dias - 15 dias após semeadura

No experimento 3, após 15 dias de semeadura em areia, as plântulas foram colocadas nos copos com a solução nutritiva. Foi usado o delineamento experimental inteiramente casualizado, com seis concentrações de alumínio (0, 25, 50, 100, 200 e 400 μM) e quatro repetições. Após 47 dias na solução, foi realizada a coleta das plântulas e foram avaliadas o comprimento da raiz principal e da parte aérea, ERR%, TCR, massa seca de raiz e parte aérea.

3.2.4 Experimento 4 - Plantas crescendo em solo Latossolo Vermelho Amarelo

Como substrato para o crescimento das plantas, foi utilizado os primeiros 20 cm de um solo Latossolo Vermelho Amarelo, coletado em Ribeirão das Lages, Município de Pirai- RJ. O solo foi peneirado em peneira de 2 mm de mesh e posteriormente colocado em cano com 542 g de solo, sendo esse o recipiente onde a planta se desenvolveu. As análises químicas do solo foram realizadas no Laboratório de Solo-Planta - Departamento de Solos – Instituto de Agronomia, UFRRJ, sendo obtidas as seguinte concentrações: K, Na, Ca, Mg, e Al respectivamente 0,02; 0,02; 0,7; 0,4 e 0,6 Cmolc/dm³, para P, 14 mg/L e pH 3,9.

O delineamento experimental utilizado foi o de inteiramente casualizado com 6 tratamentos 1- (solo com 100 Kg ha⁻¹ de P, 60 Kg ha⁻¹ de K e 30 Kg ha⁻¹ de micronutrientes) e 2 - (solo com 500 Kg ha⁻¹ de calcário, 100 Kg ha⁻¹ de P, 60 Kg ha⁻¹ de K e 30 Kg ha⁻¹ de micronutrientes), 3- (solo com 1000 Kg ha⁻¹ de calcário, 100 Kg ha⁻¹ de P, 60 Kg ha⁻¹ de K e 30 Kg ha⁻¹ de micronutrientes), 4- (solo com 2000 Kg ha⁻¹ de calcário, 100 Kg ha⁻¹ de P, 60 Kg ha⁻¹ de K e 30 Kg ha⁻¹ de micronutrientes), 5- (solo com 4000 Kg ha⁻¹ de calcário, 100 Kg ha⁻¹ de P, 60 Kg ha⁻¹ de K e 30 Kg ha⁻¹ de micronutrientes) e 6- Testemunha (tratamento sem adubação), com 5 repetições.

O calcário dolomítico utilizado possuía o PRNT de 80%, teor de MgO 10,1% e CaO 33,5%. O fósforo foi aplicado na forma de super fosfato simples (P₂O₅) e o potássio na forma de cloreto de potássio (KCl). Para o suprimento de micronutrientes foi aplicado o equivalente a 60 kg/ha de FTE BR – 12. Durante três dias essa mistura foi deixada para que houvesse a sua devida homogeneização, antes da semeadura, ou até a estabilização do pH segundo metodologia descrita no documento Embrapa (1997), sendo em seguida realizado a semeadura. Nas figuras 4 e 5 estão representados o crescimento e desenvolvimento das plantas aos 60 e 90 dias após a semeadura, respectivamente.

Foram colocadas 5 sementes por recipiente, sendo posteriormente desbastado aos 10 dias após a semeadura (DAS), deixando 1 plântula por recipiente. A irrigação foi realizada de forma manual, diariamente, com água deionizada. A coleta das plântulas foi realizada 90 dias após o início do experimento e foram feitas as seguintes avaliações: pH do solo, pH da rizosfera, peso da massa seca da parte aérea e raízes, comprimento da raiz principal e da parte aérea, e diâmetro do colo das plântulas.

A retirada das plântulas foi realizada com cuidado para que não danificasse as suas raízes, que se afetadas pelo alumínio muitas vezes encontram-se mais frágeis e menores do que o tamanho natural. O comprimento da parte aérea e da raiz principal foi feito com o auxílio de régua graduada e o diâmetro do colo das plântulas foi medido com um paquímetro digital modelo Jomarca King Tools. Foram separados o solo rizosférico (solo em contato com as raízes) e o não rizosférico (solo sem contato com as raízes) para a medição do pH. O pH da rizosfera e o pH não rizosférico foi determinado segundo metodologia descrita por EMBRAPA (1997). Foi colocada uma parte de solo para duas partes de água deionizada, agitado com bastão de vidro e mantendo em repouso por um período de uma hora. Cada amostra foi agitada novamente com o bastão de vidro, e a leitura do pH foi realizada com o pHgâmetro calibrado em solução tampão. Após esses procedimentos, a parte aérea foi separada da raiz de cada plântula, identificada e ensacada em saco de papel e levada para serem secas em estufa sem ventilação forçada a 65°C, após a secagem, o material foi pesado em balança analítica modelo Kern 420 - 21.

Em todos os experimentos descritos acima, as análises estatísticas foram realizadas utilizando o programa estatístico Assistat, As análises estatísticas dos experimentos foram realizadas após teste da distribuição normal e homogênea dos dados, realizada pelo teste de Bartlett. Posteriormente, foi realizada a análise de variância (ANOVA), e aplicado o Teste

Tukey a 5% de significância para verificar as diferenças entre as médias. Quando necessário, para a maior homogeneização dos dados, foi realizada a transformação de dados para $(\sqrt{x+1})$, $\log x$ ou $1/x$, conforme o experimento. Por considerar que alguns pesquisadores entendem que as doses de Al são uma “variável quantitativa”, para melhor comparação das médias, foi também realizada análise de regressão além da análise de variância convencional, sendo a equação escolhida aquela que possui o melhor valor de coeficiente de determinação (R^2). Para análise mais detalhada dos dados, foi utilizada a equação de regressão significativa até o segundo grau, desprezando os demais graus.



Figura 4. Experimento de aroeira em solo Latossolo Vermelho Amarelo 60 dias após a semeadura.



Figura 5. Experimento de aroeira em solo Latossolo Vermelho Amarelo 90 dias após a semeadura.

4 RESULTADOS

4.1 Experimento 1 - Desenvolvimento das raízes das plântulas em solução nutritiva simples – Análise da qualidade da raiz

O experimento 1 foi realizado após constatação que as sementes desta planta eram muito pequenas, com pouca reserva, sendo provavelmente necessário estudar o período de crescimento inicial das raízes, adequando o seu desenvolvimento com o tempo de crescimento na areia e sua relação com a toxidez de alumínio na solução. Foi então necessário a realização de 4 testes com diferentes tempos de crescimento das plântulas na areia com diferentes tempos das plântulas permanecendo na solução nutritiva simples para adequar aos estudos do efeito da toxidez de alumínio. Foram estudados apenas os parâmetros que são considerados indicadores de toxidez de alumínio, sendo eles o comprimento radicular, a elongação radicular relativa e a taxa de crescimento radicular, na escolha do período ideal de transferência. As análises estatísticas foram realizadas comparando as médias pelo Tukey 5%, mas os dados da análise de variância e do teste não foram apresentados, somente as equações que mais se adequavam.

Na figura 6, referente ao experimento 1, encontram-se os dados de comprimento radicular (A), elongação radicular relativa (B) e taxa de crescimento radicular (C), analisados em 4 diferentes combinações de tempo de germinação com posterior transferência para as soluções nutritivas: Teste 1 - 13 dias após a semeadura, 10 dias na solução. Teste 2 - 15 dias após semeadura, 9 dias na solução. Teste 3 – 15 dias após a semeadura, 32 dias na solução. Teste 4 – 18 dias após a semeadura, 10 dias na solução. Sendo que o dia após a semeadura, referente a cada teste foi o tempo que a plântula tinha e que posteriormente foi para a solução nutritiva simples.

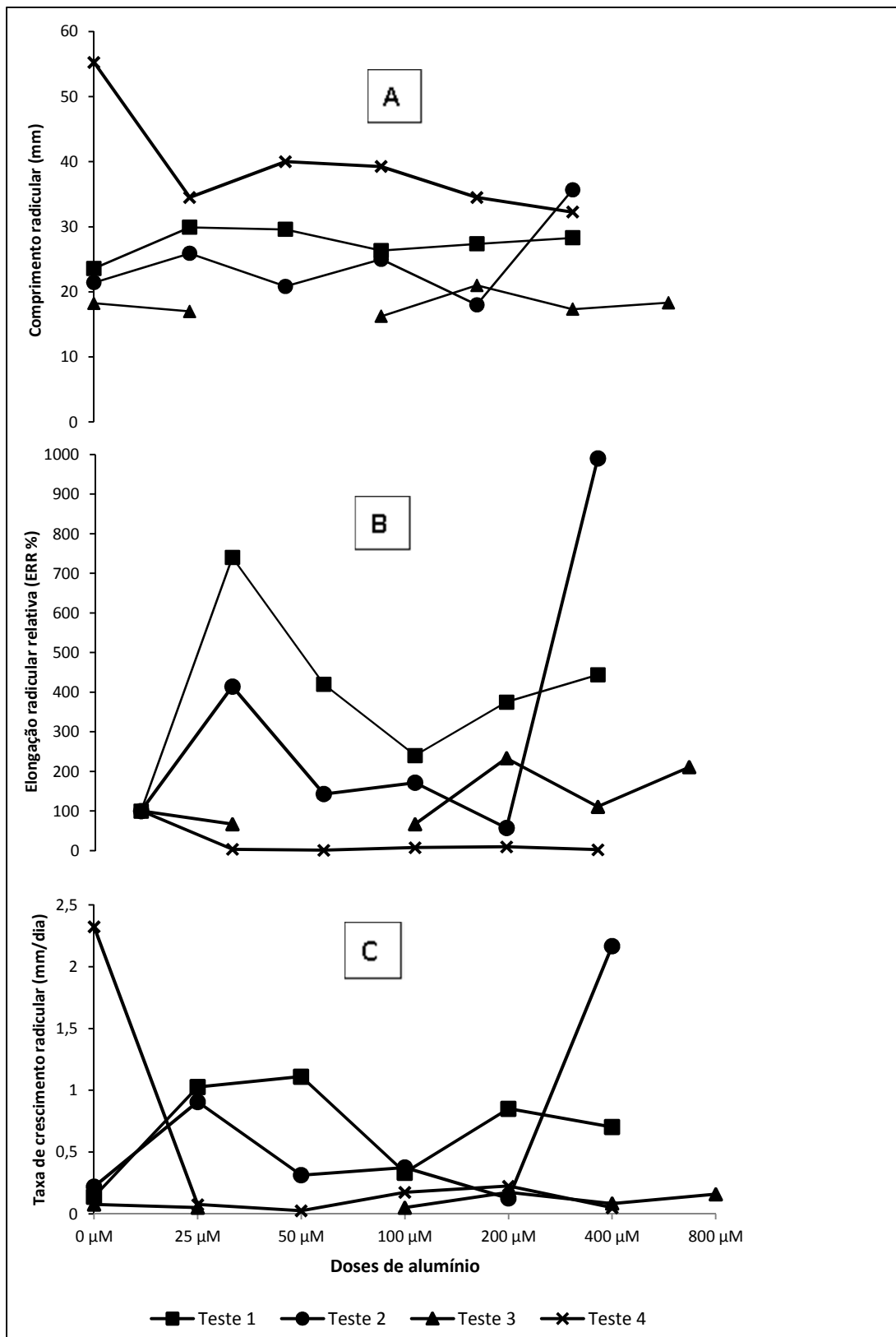


Figura 6. Experimento 1 - Desenvolvimento de plântulas de aroeira-vermelha (*Schinus terebinthifolius* R.) crescidas em solução nutritiva simples com diferentes concentrações de alumínio. **A** - comprimento radicular. **B** - elongação radicular relativa (ERR %). **C** - taxa de crescimento radicular.

No teste 1, as plântulas cresceram em areia por 13 dias, posteriormente sendo transferidas para a solução nutritiva simples onde permaneceram por mais 10 dias. Para os dados de comprimento radicular que se encontram na figura 6A, são apresentados os valores das médias obtidas nestas condições, que não diferiram estatisticamente pelo teste Tukey 5%. Porém a menor média foi na solução sem adição de alumínio com 23,58 mm e a maior média foi de 29,91 mm na concentração de 25 μM de Al. Realizando a regressão dos dados do comprimento radicular, a equação que mais se ajustou aos dados de forma significativa, foi a linear, $y = 0,01636783x + 27,23207143$ com $R^2 = 0,52$, portanto o comprimento radicular não respondeu as adições de alumínio.

No teste 2, as plântulas cresceram em areia por 15 dias, posteriormente sendo transferidas para a solução nutritiva simples onde permaneceram por mais 9 dias. Para os dados de comprimento radicular que se encontram na figura 6A, a menor média encontrada referente a este teste, foi na concentração de 200 μM de alumínio e a maior na concentração de 400 μM de Al, as demais concentrações não diferiram estatisticamente pelo teste Tukey 5%. Realizando a regressão dos dados do comprimento radicular a equação que mais se ajustou aos dados de forma significativa foi a quadrática, $y = - 0,00067074x^2 - 0,05003277x + 22,29775897$ com $R^2 = 0,45$, caracterizando um aumento na concentração em 400 μM o que não era esperado.

No teste 3, as plântulas cresceram em areia por 15 dias, posteriormente sendo transferidas para a solução nutritiva simples onde permaneceram por mais 32 dias. Para os dados de comprimento radicular que se encontra na figura 6A, a menor média de 16,25 mm foi obtida na concentração de 100 μM alumínio e a maior média 21,00 mm na concentração de 200 μM Al. Não ocorreram diferenças significativas estatisticamente entre todas as médias utilizando o teste Tukey 5%. Realizando a regressão dos dados do comprimento radicular, a equação que mais se ajustou aos dados foi a quadrática, $y = - 0,00000444x^2 + 0,00430420x + 17,56233775$ com $R^2 = 0,04$. Esta equação possui um baixo índice de determinação de apenas 0,2, indicando falta de correlação entre o comprimento radicular e a concentração de alumínio. O coeficiente de correlação para a equação da reta foi de um valor muito aproximado ao da equação quadrática possuindo o valor de $R^2 = 0,0396$ para a equação $y = 0,176x + 17,412$.

Ainda neste teste 3, ocorreram muitas quebras das raízes principais, talvez devido a essa espécie apresentar um sistema radicular frágil e muito fino, dificultando assim as suas medições, pois aconteceram quebras em vários tratamentos e repetições. Por esta razão, as medições de sensibilidade ao alumínio só foram computadas até o décimo primeiro dia na solução, sendo esse o período em que a raiz principal ainda estava intacta, entretanto, as plântulas permaneceram nas soluções durante 32 dias após a transferência, Neste experimento foi suprimida a concentração de 50 μM de Al e acrescentada um valor muito alto de alumínio na solução, sendo o de 800 μM de alumínio. Por alguma razão neste teste 3 assim como aconteceu com o experimento 2 a ser discutido mais abaixo, as raízes das plântulas de aroeira-vermelha ficaram muito quebradiças. Mais abaixo se encontra a figura 7, onde esta apresentada o desenvolvimento das raízes durante os 32 dias, com medições das raízes que foram quebradas e as com estagnação do crescimento, ou atrofiamento como no caso da dosagem de 800 μM .

No teste 4, as plântulas cresceram em areia por 18 dias, posteriormente sendo transferidas para a solução nutritiva simples onde permaneceram por mais 10 dias. Para os valores (dados) de comprimento radicular que se encontram na figura 6A, variaram as médias de 55,25 mm na solução sem adição de alumínio e 32,25 mm na concentração de 400 μM de Al. A dose sem adição de alumínio diferiu significativamente da dose de 25 μM , 200 μM e 400 μM de Al, não diferindo das demais médias quando analisadas pelo teste Tukey 5%. Realizando a regressão dos dados do comprimento radicular a equação que mais se ajustou foi

a cúbica, $y = -0,00005823x^3 + 0,01202936x^2 - 0,83418793x + 53,71238450$ e com $R^2 = 0,83$, subtendendo que já na primeira dose de alumínio (25 μM) ocorreria toxidez de alumínio. Isso indicou que neste teste 4 realizado com plântulas que cresceram por um período de tempo maior na areia, o efeito do alumínio poderia ser mais claramente manifestado.

Na figura 6B, o gráfico da elongação radicular relativa apresentou um maior valor na dose de 25 μM de Al referente ao teste 1. Esta variável mede o comportamento do crescimento radicular das plântulas em contato com a solução de alumínio em relação às plântulas sem contato com alumínio. Na presente figura, devido a sua conformação, fica evidenciado que as dosagens de alumínio estimularam o crescimento radicular ou não exerceram nenhum efeito fitotóxico sobre o crescimento das plântulas. No teste 2, pode ser observado no gráfico de elongação radicular relativa (Figura 6B) apresentou na dose de 400 μM de alumínio o maior valor.

No teste 3, na figura 6B o gráfico de elongação radicular relativa, apresenta os dados das plântulas crescendo até aos 11 dias após o transplante, o maior valor encontrado foi na concentração de 200 μM de Al. Foi observado um comportamento diferente daqueles encontrados onde ocorre toxidez de alumínio em grau mais elevado, ou seja, tendendo sempre a decrescer a elongação radicular relativa. Isto foi devido ao maior valor inicial das medições das raízes das plântulas crescidas no tratamento com 200 μM alumínio. Quando isso acontece fica difícil avaliar toxidez de alumínio utilizando a elongação radicular relativa, devendo o pesquisador utilizar a taxa de crescimento radicular.

No teste 4, pode ser observado que a partir da primeira dose de alumínio (25 μM) já apresenta a queda da elongação radicular relativa, que pode ser observado na figura 6B. Ficando evidenciado através da conformação do gráfico, que as dosagens de alumínio causaram efeito fitotóxico sobre o crescimento da raiz, evidenciado que nas condições de crescimento das plântulas foram as ideais para testar a toxidez do elemento, ou seja, 18 dias após a semeadura elas estão aptas para ser realizado o teste de toxidez.

Na figura 6C, estão os dados das taxas de crescimento radicular, que mostra a medição do comprimento final, menos o comprimento inicial, dividido pelo número de dias que as raízes permaneceram na solução. No teste 1, devido as suas conformações, fica evidenciado que as dosagens de alumínio estimularam o crescimento radicular ou não exerceram nenhum efeito fitotóxico sobre os crescimentos das plântulas. No teste 2, pode ser observado na figura 6C, que a solução com 400 μM de Al, teve a maior taxa de crescimento radicular. Após a realização da análise de regressão, foi obtida a equação que mais se ajustou aos dados, encontrando a equação cúbica, $y = 0,00000014x^3 - 0,00005660x^2 + 0,00388787x + 0,41996270$ com $R^2 = 0,95$, indicando que não ocorreu efeito da toxidez do alumínio.

No teste 3, o gráfico da taxa de crescimento radicular (figura 6C) mostrou que a maior taxa foi encontrada na dose de 200 μM de alumínio, os demais tratamentos apresentaram taxa de crescimento inferior, porém não houve diferença significativa estatisticamente entre eles, quando analisados pelo teste de Tukey 5% (dados não tabelados). Para os dados de taxa de crescimento radicular foi realizada a análise de regressão e nenhuma equação se ajustou aos dados de forma significativa pela análise de variância, no intervalo proposto. Os dados indicam que o efeito do alumínio no crescimento radicular não foi significativo nas condições testadas.

No teste 4, o gráfico da taxa de crescimento radicular (figura 6C), após a realização da análise de regressão, foi obtida a equação que mais se ajustou aos dados, encontrando a equação linear $y = -0,01760768x + 1,42154649$ com $R^2 = 0,38$, caracterizando que maiores doses continuaria a diminuir a taxa de crescimento, tendo um ponto crítico de 88,42 μM de alumínio. Novamente, a combinação de tempo de crescimento anterior ao transplante e o contato das raízes com a solução, indicou que as mesmas deveriam crescer por um período maior na areia antes de serem transferidas para a solução nutritiva.

Na figura 7 a seta indica que aos 11 dias, quando começou a ocorrer a quebra das raízes das plântulas no teste 3. Até esta data foi possível fazer uso dos dados para os estudos dos parâmetros comprimento radicular, alongação radicular relativa e taxa de crescimento radicular. As medições nos dias posteriores foram realizadas para averiguar se ocorreria crescimento de possíveis raízes secundárias, porém não foram detectadas.

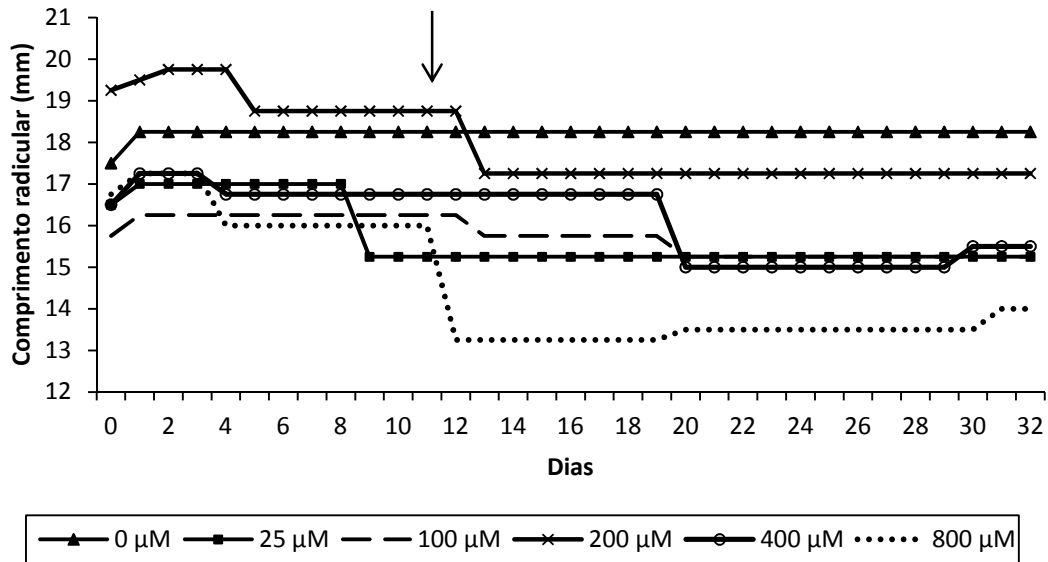


Figura 7. Crescimento radicular das plântulas de aroeira-vermelha (*Schinus terebinthifolius* R.), no decorrer dos 32 dias do experimento 1 teste 3. A seta no 11º dia indica o ponto onde começou a quebra das raízes.

Na figura 8 pode ser visto a fotografia das plântulas de aroeira-vermelha crescidas nestas condições mostrando que realmente não eram muito diferentes os comprimentos do sistema radicular.

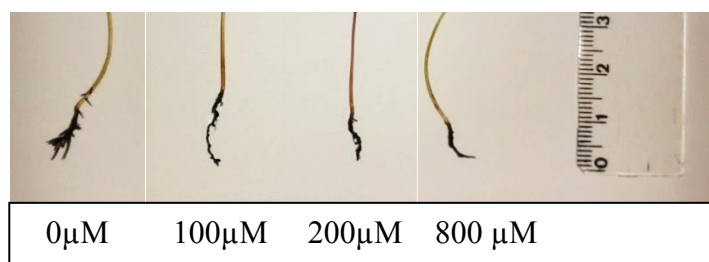


Figura 8. Experimento 1 teste 3 - Avaliação do efeito de diferentes concentrações de alumínio no comprimento radicular, em solução simples com plântulas de aroeira-vermelha (*Schinus terebinthifolius* R.), 32 dias após a transferência, nas concentrações de 0, 100, 200 e 800 μM.

O teste 4 teve as condições mais adequadas para a avaliação de toxidez, ou seja, as plântulas somente com 18 dias após a semeadura é que foram transferidas para a solução, onde permaneceram por mais 10 dias.

Na tabela 1 podem ser observados os dados do comprimento de parte aérea obtidas no teste 4, indicando que houve diferença significativa estatisticamente entre o tratamento sem adição de alumínio e a concentração de 50 μM, sendo respectivamente a maior média 46,50

mm e a menor 32,75 mm. Entre os demais valores do comprimento da parte aérea não ocorreram diferenças significativas pelo teste Tukey 5%.

Não foram encontradas diferenças utilizando o teste Tukey 5%, entre as doses de alumínio na massa seca de parte aérea e raiz. O maior coeficiente de variação do experimento foi o valor de 39,19 % para o parâmetro massa seca de raiz.

Tabela 1. Experimento 1, teste 4 - Comprimento de parte aérea, massa seca de raiz e parte aérea, de plantas de aroeira-vermelha (*Schinus terebinthifolius* R.) de plantas crescendo em soluções simples por 10 dias.

Concentração de Al (μM)	Comprimento (mm)		Massa seca (mg)	
	PA	PA	PA	Raiz
0	46,50 A	9,25 A	2,75 A	
25	43,00 AB	9,50 A	3,50 A	
50	32,75 B	10,50 A	3,75 A	
100	38,75 AB	11,50 A	3,00 A	
200	34,50 AB	10,50 A	4,50 A	
400	39,50 AB	10,00 A	4,00 A	
CV%	3,93	16,12	39,19	

As médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

As raízes das plântulas no tratamento com 400 μM de alumínio apresentaram um mucilagem quando comparado com o tratamento sem alumínio (Figura 9).

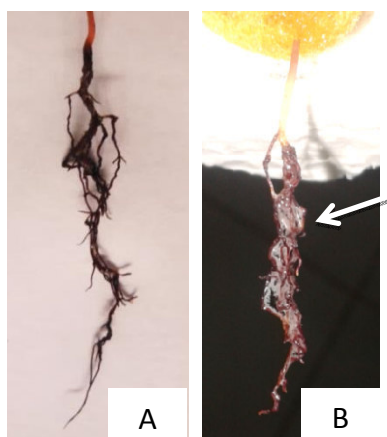


Figura 9. Experimento 1, teste 4 - Raiz de aroeira-vermelha (*Schinus terebinthifolius* R.) após 10 dias em solução nutritiva: A- Sem adição de Al; B- Em solução nutritiva na dose de 400 μM de Al apresentando exsudado nas raízes. Na figura B foi usado o fundo preto para melhor visualização das raízes e a seta indica a mucilagem.

Quando as raízes foram colocadas em contato direto com o corante hematoxilina, elas ficaram pretas, não sendo possível destacar o efeito do tratamento com alumínio como mostrado na figura 10A. O mesmo aconteceu quando elas foram coradas com o corante PVC-1 a base de violeta de pirocatecol (Figura 10B). Esses resultados indicam dificuldades de se selecionar planta de aroeira que sejam tolerantes, ao alumínio utilizando corantes. É necessário acrescentar que naturalmente as raízes desta espécie nestas condições experimentais são naturalmente de cor preta ou tendendo a cor vinho, dificultando a identificação por corantes.

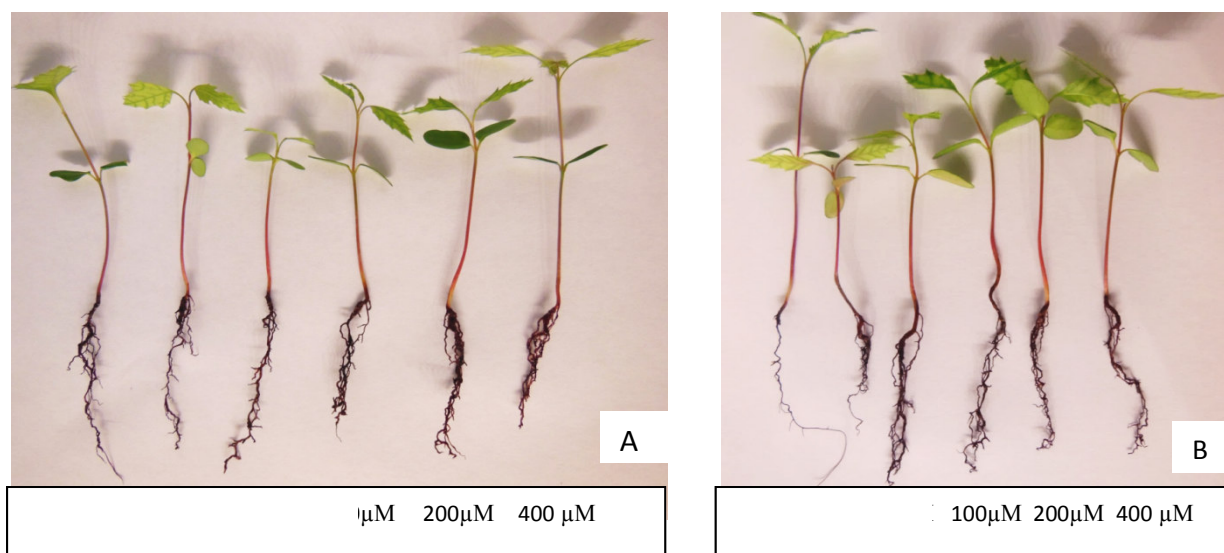


Figura 10. Experimento 1, teste 4 - plântulas de aroeira-vermelha (*Shinus terebinthifolius* R.) com dosagens de 0, 25, 50, 100, 200 e 400 μM de Al, com raízes coradas com Hematoxilina (A) e plântulas de aroeira-vermelha (*Shinus terebinthifolius* R.) com dosagens de 0, 25, 50, 100, 200 e 400 μM de Al, com raízes coradas com Violeta de pirocatecol (PVC-1) (B).

4.2 Experimento 2 - Crescimento em solução nutritiva completa por 37 dias – 15 dias após semeadura

Após a definição que as plântulas de aroeira deveriam crescer por mais tempo em areia antes de serem transferidas para a solução, o experimento 2 foi instalado com plântulas crescidas em areia lavada por 15 e só depois sendo transferidas para solução nutritiva. Entretanto neste caso, a solução foi utilizada foi a completa com todos os nutrientes essenciais e balanceada quimicamente, onde permaneceram por 37 dias.

Na tabela 2 pode ser observado, que não ocorreram diferenças significativas estatisticamente entre os tratamentos quando analisados pelo teste de Tukey 5% para os parâmetros, comprimento da parte aérea e massa seca de parte aérea. Nas medições de massa seca de raiz, o tratamento sem Al apresentou a maior média e diferiu estatisticamente com a concentração de 400 μM de Al, quando analisados pelo teste de Tukey 5%.

Tabela 2. Experimento 2 - Comprimento de parte aérea, massa seca de raiz e parte aérea, de plantas de aroeira-vermelha (*Schinus terebinthifolius* R.) crescidas em solução nutritiva completa por 37 dias.

Concentração de Al (μM)	Comprimento (mm)		Massa seca (mg)
	PA	PA	Raiz
0	64,75 A	24,00 A	8,67 A
25	52,75 A	18,00 A	4,00 AB
50	55,75 A	14,00 A	5,67 B
100	52,50 A	17,00 A	4,33 BC
200	61,00 A	26,00 A	6,00 AB
400	51,50 A	18,00 A	2,33 C
CV%	18,29	11,63	19,89

As médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

Na figura 11, observou-se que ocorreram diferenças significativas estatisticamente entre o tratamento sem adição de alumínio e as concentrações de 100, 200 e 400 μM de Al para o comprimento radicular, quando comparadas as médias pelo teste de Tukey 5%. Não ocorreram diferenças significativas pelo teste Tukey 5% entre o tratamento sem adição de Al e as dosagens de 25 e 50 μM de Al. As médias do comprimento radicular variaram de 123 mm sem presença de alumínio a 47,75 mm na concentração de 400 μM de Al.

Realizando a regressão dos dados do comprimento radicular a equação que mais se ajustou aos dados foi a linear, $y = -0,93158935x + 122,85585542$ com $R^2 = 0,89$. De acordo com essa equação, a concentração de alumínio onde a planta cessaria completamente o crescimento seria na dose de 131,87 μM de Al.

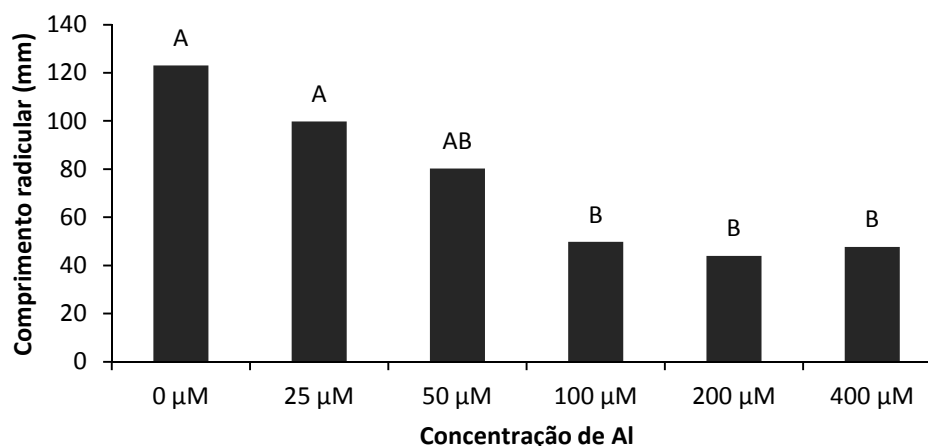


Figura 11. Experimento 2 - Comprimento radicular de plântulas de aroeira-vermelha (*Schinus terebinthifolius* R.), submetidas a diferentes doses de alumínio em solução nutritiva simples por 37 dias. CV % = 7,39.

Na figura 12, o gráfico mostra a alongação radicular relativa, apresentando a sensibilidade da aroeira-vermelha, ao alumínio. O declínio com as doses de alumínio é compatível com outros dados de alongação radicular, para plantas sensíveis ao alumínio.

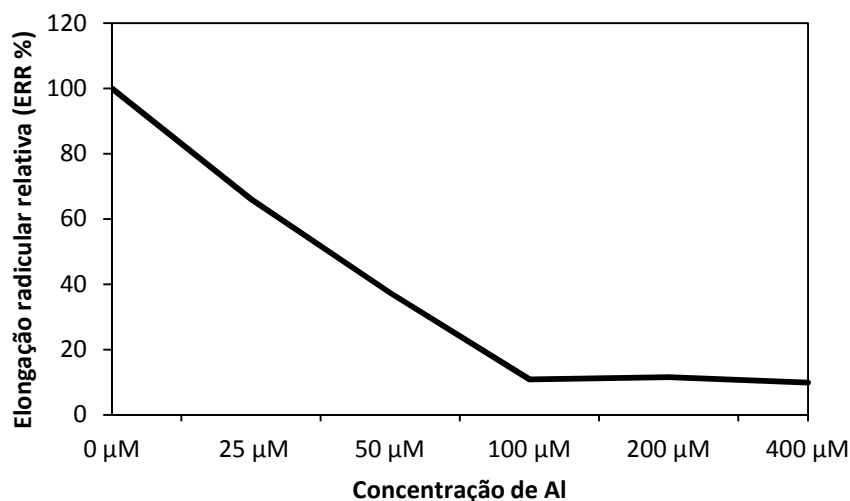


Figura 12. Experimento 2 - Dados médios de alongação radicular relativa (ERR %) de plântulas de aroeira-vermelha (*Schinus terebinthifolius* R.) crescidas por 37 dias em solução nutritiva completa com diferentes concentrações de alumínio.

Para os dados de taxa de crescimento radicular (figura 13) foi realizada a análise de regressão e obtida a equação que mais se ajustou aos dados, sendo encontrada a equação linear $y = - 0,00148096x + 1,29012898$ e com $R^2 = 0,90$. Os dados para elaboração da equação de regressão foram transformados usando $(x + c; \sqrt{x})$ no programa Assistat 7.7 Beta. De acordo com essa equação a raiz irá parar completamente de crescer quando for adicionado na solução nutritiva completa uma dosagem alumínio de cerca 871,14 µM de Al. Na figura 10 pode ser vista uma fotografia onde foi notado o efeito das concentrações deste elemento no sistema radicular.

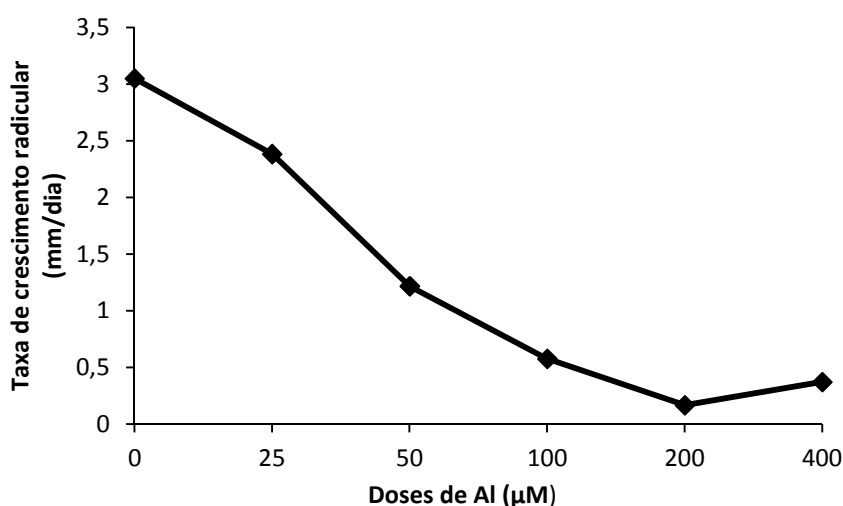


Figura 13. Experimento 2 - Taxa de crescimento radicular (TRC) das plântulas de aroeira-vermelha (*Schinus terebinthifolius* R.) crescidas por 37 dias em solução nutritiva completa com diferentes concentrações de alumínio. Significativo ao nível de 5% de probabilidade. CV % = 20,22.

Através do cálculo da alongação radicular relativa (ERR%), é possível avaliar o comportamento do crescimento radicular das plântulas em contato com a solução de alumínio em relação às plântulas crescidas sem contato com alumínio. Sendo assim, uma avaliação percentual dos efeitos dos tratamentos, retirando o crescimento natural das raízes.

Na figura 14 mostra a avaliação do efeito de diferentes concentrações de alumínio em solução nutritiva completa, em plântulas de aroeira-vermelha (*Schinus terebinthifolius* R.), 37 dias após o transplante para as concentrações de alumínio.



Figura 14. Experimento 2 - Avaliação do efeito de diferentes concentrações de alumínio em solução nutritiva completa, em plântulas de aroeira-vermelha (*Schinus terebinthifolius* R.), 37 dias após o transplante para as concentrações 0, 25, 50, 100, 200 e 400 μM alumínio.

4.3 Experimento 3- Crescimento em solução completa por 47 dias - 15 dias após semeadura

O experimento 3 foi instalado com plântulas de aroeira-vermelha crescidas em areia lavada e depois transferidas para solução nutritiva completa por 47 dias. Neste experimento a partir do quinto dia após as plântulas serem transportadas para a solução nutritiva, as raízes ficaram quebradiças, caindo na solução ou na hora da medição do comprimento. Por esta razão os parâmetros ligados ao comprimento radicular foram apresentados na medição que ocorreu no quinto dia após o transplante.

Na tabela 3 pode ser observado que para comprimento da parte aérea, somente ocorreu diferença significativa estatisticamente quando comparadas pelo teste Tukey 5%, entre o tratamento de 25 μM de Al e a concentração de 400 μM. A maior média encontrada foi no tratamento de 25 μM de Al no valor de 68,75 mm.

Nas medições de massa seca de parte aérea, pode ser observado que houve diferença significativa estatisticamente entre o tratamento sem a presença de Al e o tratamento de 400 μM de Al, quando comparadas as médias pelo teste de Tukey 5%. O maior peso foi no tratamento sem a presença de Al. Para massa seca de raiz, não ocorreu diferença significativa estatisticamente entre os tratamentos. O coeficiente de variação do experimento, não foi muito alto, sendo o maior valor de 15,64 %.

Tabela 3. Experimento 3 - Comprimento radicular e de parte aérea, massa seca de raiz e parte aérea, de plantas de aroeira-vermelha (*Schinus terebinthifolius* R.) crescendo em solução nutritiva completa por 47 dias.

Concentração de Al (μM)	Comprimento (mm)		Massa seca (mg)	
	PA	PA	PA	Raiz
0	61,25 AB	29,00 A	7,75 A	7,75 A
25	68,75 A	24,00 AB	7,25 A	7,25 A
50	58,75 AB	21,00 B	5,25 A	5,25 A
100	53,75 AB	21,00 B	6,00 A	6,00 A
200	53,00 AB	18,00 BC	5,50 A	5,50 A
400	51,25 B	13,00 C	4,00 A	4,00 A
CV%	5,61	15,64	13,59	13,59

As médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

As raízes das plântulas de aroeira-vermelha são muito finas e frágeis, devido a isso ocorreram diversas quebras em várias amostras, tendo como resultado a quebra da raiz principal, prejudicando a medição. Na figura 15, a seta indica o 5º dia de medições do comprimento da raiz principal das plântulas. Após esse dia, ocorreram diversas quebras nas raízes, não podendo mais serem feitas as medições da raiz principal, mesmo assim continuaram as medições das raízes, pois houve o crescimento das raízes secundárias e elas foram medidas diariamente até o 47º dia, quando foi realizada a coleta do experimento. As raízes do tratamento sem adição de alumínio continuaram a crescer mesmo com a quebra da raiz principal.

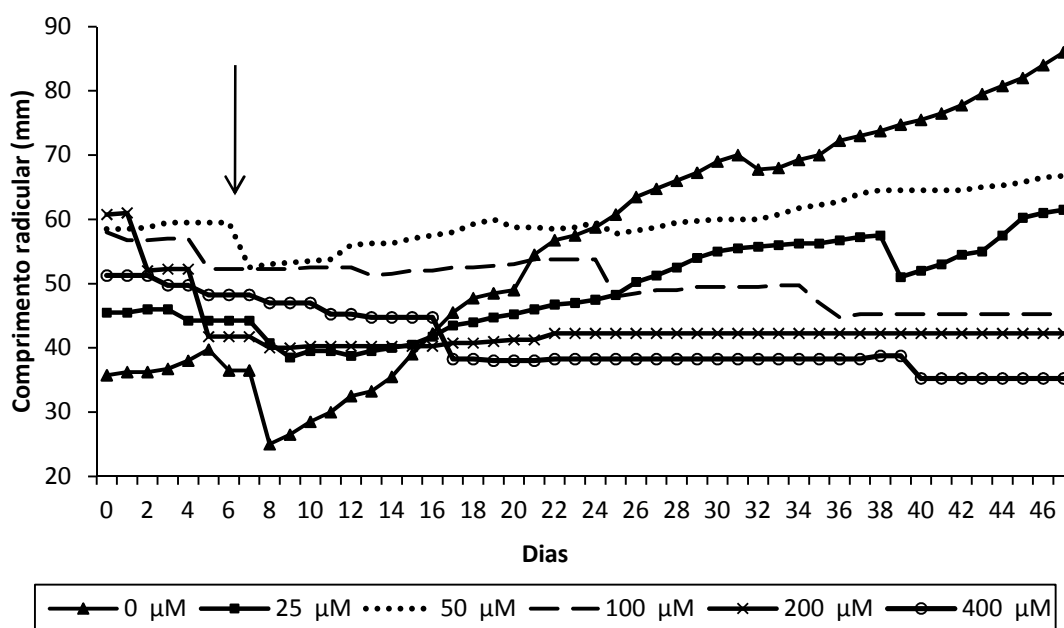


Figura 15. Crescimento radicular das plântulas de aroeira-vermelha (*Schinus terebinthifolius* R.), no decorrer dos 47 dias do experimento 3. A seta no 5º dia indica o ponto onde começou a quebra das raízes.

Nos próximos gráficos referentes ao parâmetro radicular, os resultados são referentes apenas até o quinto dia, devido a quebra da raiz principal.

Na figura 16, são apresentados os valores de comprimento radicular, em que a maior média foi encontrada na concentração de 50 μM de Al, com 67,33 mm e essa dose difere estatisticamente pelo teste Tukey 5%, do tratamento sem adição de alumínio, que obteve 40 mm. Realizando a regressão dos dados do comprimento radicular foi encontrada a equação quadrática, $y = 0,00025703x^2 + 0,09374082x + 48,52187500$ com $R^2 = 0,72$, a que mais se ajustou aos dados. Analisando os dados e a equação fica claro que o alumínio aumentou o comprimento radicular concordando com os dados do experimento 1. Os dados indicam que por alguma razão, também nestas condições as raízes não sofreram efeito do alumínio, mesmo crescendo em uma solução completa, deve ser devido às plântulas no momento do transplante possuir uma diferença marcantes de comprimento. Desta forma para confirmar esse efeito das diferenças iniciais do comprimento radicular, faz uso da alongação radicular relativa e a taxa de crescimento radicular, ambos devem ser avaliados cuidadosamente, antes de admitir que não ocorreu o efeito do alumínio nas raízes.

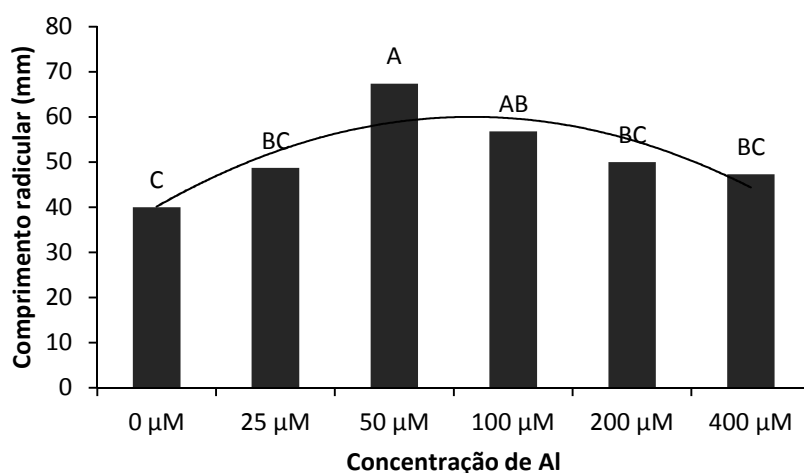


Figura 16. Experimento 3 - Comprimento radicular de plântulas de aroeira-vermelha (*Schinus terebinthifolius* R.), submetidas a diferentes doses de alumínio em solução completa por 5 dias. CV % = 12,06.

Na figura 17, foi mostrado o gráfico de alongação radicular relativa que apresenta uma típica conformação de raízes que sofreram efeito de alumínio contradizendo, portanto os dados de comprimento radicular acima, que foi verificado até efeito positivo do alumínio adicionado na solução. Embora na dose de 50 μM de Al na solução completa, foi visto um aumento da alongação radicular relativa, porém com um valor médio que não ultrapassou a média de crescimento das plântulas na dose sem Al.

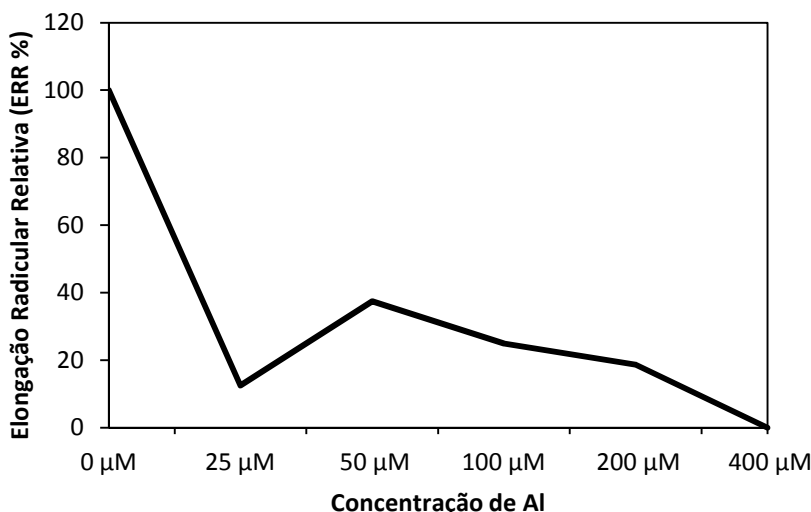


Figura 17. Experimento 3 - Dados médios de alongação radicular relativa (ERR %) de plântulas de aroeira-vermelha (*Schinus terebinthifolius* R.) crescidas por 5 dias em solução nutritiva completa com diferentes concentrações de alumínio.

A figura 18 apresenta os dados de taxa de crescimento radicular. Foi realizada a análise de regressão e nenhuma equação se ajustou aos dados de forma significativa pela análise de variância, no intervalo utilizando o programa Assitat 7.7 Beta, isso pode ter ocorrido devido ao alto coeficiente de variação do experimento 25,26%. Entretanto, a

conformação do gráfico indicou que ocorreu toxidez de alumínio nas raízes, o que pode ser comprovado analisando as fotografias das raízes neste experimento (Figura 19).

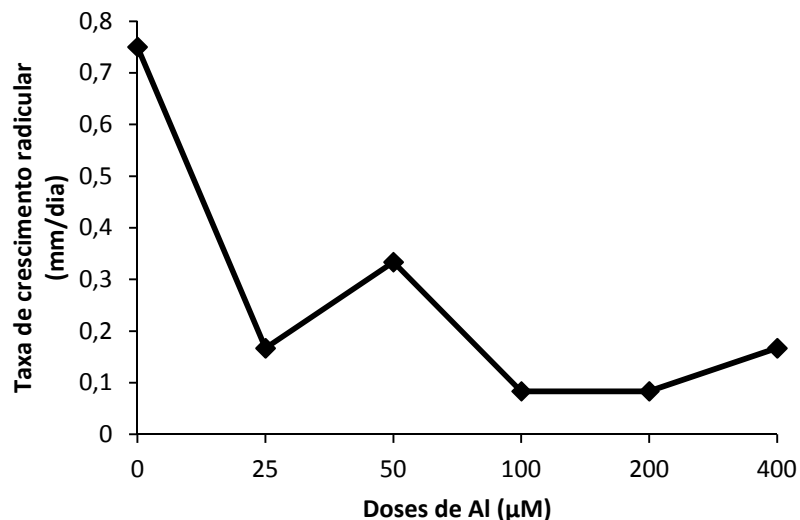


Figura 18. Experimento 3 - Taxa de crescimento radicular (TRC) das plântulas de aroeira-vermelha (*Schinus terebinthifolius* R) crescidas por 5 dias em solução nutritiva completa com diferentes concentrações de alumínio. Significativo ao nível de 5% de probabilidade. CV % = 25,26.



Figura 19. Experimento 3 - Avaliação do efeito de diferentes concentrações de alumínio do experimento 6, em solução nutritiva completa com plântulas de aroeira-vermelha (*Schinus terebinthifolius* R.), 47 dias após o início do experimento nas concentrações 0, 25, 50, 100, 200 e 400 μM de alumínio.

Os resultados obtidos neste experimento 3, onde as plantas cresceram em uma solução que continha todos os elementos químicos essenciais para o seu crescimento e desenvolvimento, pode ser considerados semelhante aos dados obtidos no experimento 2. Portanto, experimentos com esta espécie nestas condições, se forem utilizadas raízes muito jovens, deverá ser usadas desde o início soluções completas diluídas. Entretanto, a taxa de

crescimento radicular e alongação radicular relativa são os parâmetros que devem ser avaliados quando se estuda alumínio em uma condição semelhante, pois são mais próxima da evidência da toxidez, pois esses parâmetros descontam as diferenças iniciais do comprimento radicular.

4.4 Experimento 4 - Plantas crescendo em substrato de um solo Latossolo Vermelho Amarelo

No experimento 4, para confirmar o efeito do alumínio encontrado em solução nutritiva, foi instalado um experimento em um solo Latossolo Vermelho Amarelo, ácido, onde as plantas cresceram por 90 dias no recipientes. Neste experimento o zero absoluto (0 absoluto) foi o tratamento onde não foi feita a calagem, P (100 kg ha⁻¹), K (60 kg ha⁻¹) e micronutrientes (30 kg ha⁻¹). O tratamento zero (0) por sua vez não foi adicionado calcário, entretanto foi adicionado P, K e micronutrientes nas doses mencionadas acima.

Na tabela 4 podem ser observados que não ocorreram diferenças significativas estatisticamente entre os tratamentos, para o parâmetro massa seca de raiz, quando comparadas as médias pelo teste de Tukey 5%. Também podem ser observado na tabela que a maior valor médio da massa seca da parte aérea foi encontrada com a aplicação de 4000 kg ha⁻¹ embora ela só foi diferente dos tratamentos zero absoluto e zero. Nas medições de comprimento de parte aérea, a dosagem de 4000 Kg ha⁻¹ de calcário foi diferente estatisticamente do zero absoluto, quando comparadas as médias pelo teste de Tukey 5%.

Tabela 4. Experimento 4 - Pesos da massa seca de raiz e parte aérea (mg planta⁻¹), comprimento da parte aérea (cm) de plântulas de aroeira-vermelha (*Schinus terebinthifolius* R.), crescidas no solo Latossolo Vermelho Amarelo durante 90 dias com diferentes concentrações de calcário. A ausência de letras nas colunas significa que as médias não diferem pelo teste *Tukey* (5%).

Concentração de Calcário (Kg ha ⁻¹)	Massa seca da raiz (mg planta ⁻¹)	Massa seca da parte aérea (mg planta ⁻¹)	Comprimento da parte aérea (cm)
0 absoluto	45,80 A	157,40 B	14,20 C
0	61,00 A	250,20 B	16,30 BC
500	112,00 A	430,80 AB	21,60 ABC
1000	116,20 A	434,20 A	23,30 AB
2000	52,80 A	302,20 AB	19,4 ABC
4000	84,80 A	481,80 A	26,5 A
CV%	14,49	9,41	22,96

As médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem estatisticamente entre si pelo teste de *Tukey* ao nível de 5% de probabilidade.

Realizando a regressão dos dados do comprimento da parte aérea a equação que mais se ajustou aos dados foi a linear $y = 0,01613354x + 16,26615248$ e $R^2 = 0,55$.

Realizando a regressão dos dados de massa da parte aérea a equação que mais se ajustou aos dados foi a quadrática, $y = -0,00000005x^2 + 0,00018315x + 0,28655446$ e $R^2 = 0,91$. A maior massa obtida pela equação foi de 1831 Kg ha⁻¹ de calcário, sugerindo que doses maiores não traria efeito positivo na massa.

Na tabela 5 podem ser observados os dados de pH do solo onde as maiores médias foram da concentração de calcário com as dosagens de 2000 Kg e 4000 Kg ha⁻¹, sendo os valores de 4,63 e 4,94 respectivamente, diferindo estatisticamente dos demais tratamentos quando comparadas as médias pelo teste de Tukey 5%. Os valores das médias aumentaram conforme as concentrações de calcário aumentavam. Estes valores de pH podem ser considerados ácidos.

Os valores de pH da rizosfera variaram de valores 4,94 na concentração de 4000 Kg ha⁻¹ de calcário, até 3,41 no tratamento sem calcário, tendo diferença significativa estatisticamente entre eles, quando comparadas as médias pelo teste de Tukey 5%.

Tabela 5. Experimento 4 - Dados médios dos valores de pH do solo e pH da rizosfera nos recipientes contendo plântulas de aroeira-vermelha (*Schinus terebinthifolius* R.), crescidas no solo Latossolo Vermelho Amarelo durante 90 dias com diferentes concentrações de calcário.

Doses de Calcário (Kg ha ⁻¹)	pH do solo	pH da rizosfera
0 absoluto	3,85 B	3,87 B
0	3,54 B	3,41 C
500	3,71 B	3,64 C
1000	3,79 B	3,87 B
2000	4,63 A	4,61 AB
4000	4,94 A	4,94 A

As médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade. C.V.solo= 5,31% C.V.rizosfera= 5,30%.

Na figura 20 são observados os valores de comprimento radicular, em que a maior média foi encontrada na concentração de 1000 Kg ha⁻¹ de calcário com 36,40 cm e essa dose somente difere estatisticamente, pelo teste Tukey 5%, da concentração zero absoluto, que obteve 13,06 cm. Realizando a regressão dos dados do comprimento radicular a equação que mais se ajustou aos dados foi a quadrática, $y = -0,00000293x^2 + 0,01268482x - 22,98646154$ e com $R^2 = 0,95$. Utilizando a equação a partir da dose de 2,164.64 Kg ha⁻¹ de calcário, o comprimento radicular desta planta crescidas nestas condições, não responde mais as doses de calcário.

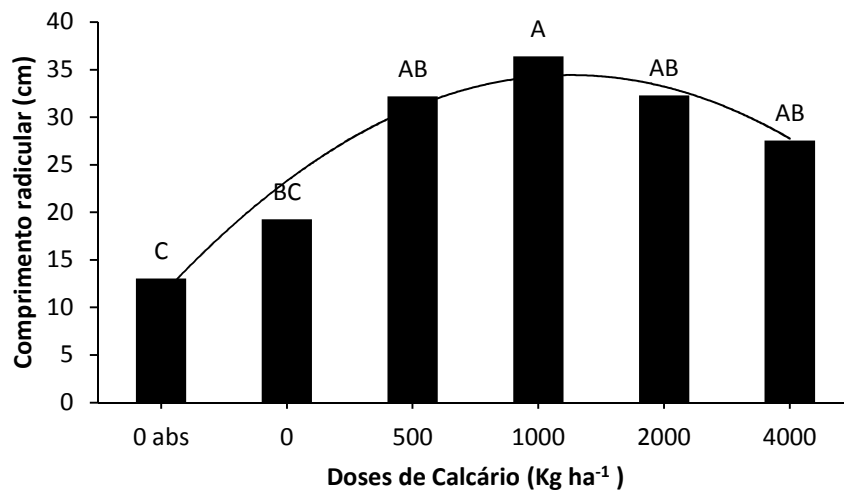


Figura 20. Experimento 4 - Comprimento radicular de plântulas de aroeira-vermelha (*Schinus terebinthifolius* R.) submetidas a diferentes doses de calcário em solo Latossolo Vermelho Amarelo, 90 dias após o início do experimento. CV%= 26,20.

Na figura 21, podem ser observados os valores do diâmetro do colo, onde não foram encontradas diferenças significativas estatisticamente entre os tratamentos quando analisados pelo teste de Tukey 5%.

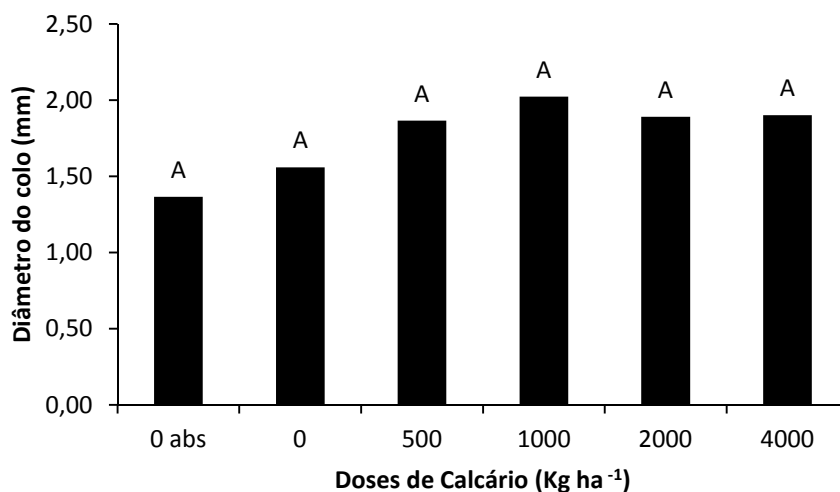


Figura 21. Experimento 4 - Diâmetro do colo de plântulas de aroeira-vermelha (*Schinus terebinthifolius* R.), submetidas a diferentes doses de calcário em solo Latossolo Vermelho Amarelo, 90 dias após o início do experimento.

Na figura 22, podem ser observadas as características morfológicas das plantas de aroeira-vermelha 90 dias após a semeadura, no tratamento zero absoluto e 1000 Kg ha⁻¹ de calcário. Apresentando o menor desenvolvimento da parte aérea e radicular, por parte das amostras no tratamento zero absoluto, comparando-o com as amostras com 1000 Kg ha⁻¹ de calcário.



Figura 22. Experimento 4 - Plantas de aroeira-vermelha (*Schinus terebinthifolius* R.), 90 dias após o início do experimento no tratamento 0 absoluto (A). Plantas de aroeira-vermelha, 90 dias após o início do experimento na dose de 1000 kg há⁻¹ de calcário (B).

Neste experimento 4 foi visto a importância da adição de calagem para o crescimento desta, sugerindo também que é necessário além da calagem a adubação com P, K e micro.

5 DISCUSSÃO

O alumínio é um elemento conhecido por causar toxidez nas plantas podendo levar à morte quando em altas concentrações ou quando as plantas são mais sensíveis à sua presença no solo. Um dado importante encontrado neste presente estudo com a aroeira-vermelha é que ela possui raízes muito finas e delicadas. Por exemplo, elas ficaram muito quebradiças ocasionando perdas, especialmente naquelas crescidas em solução nutritiva apenas com cálcio, tendo esse efeito mais pronunciado quando o tempo da semeadura até o transplante foi menor. Na literatura não foi encontrado relato relacionando tempo de semeadura até o transplante e as respostas ao alumínio em solução nutritiva.

Para essa espécie nas condições de raízes muito quebradiças, se isto ocorrer bem no início do experimento, a alternativa de se utilizar os parâmetros taxas de comprimento radicular e a alongação radicular relativa foram as mais indicadas do que somente utilizar o comprimento. A alongação radicular relativa (ERR%), leva em consideração o comprimento da raiz principal das plântulas crescidas em alumínio e desconta e divide pelo comprimento das plântulas crescidas sem alumínio, descontando o efeito da condição ideal, sem alumínio. Na literatura podem ser encontrados trabalhos sugerindo que o comprimento radicular pode ser utilizado para o processo de seleção de plantas tolerantes ao alumínio (GARLAND-CAMPBELL; CARTER 1990; VASCONCELOS et al., 2002). Nos experimentos deste trabalho o comprimento radicular foi considerado o parâmetro mais importante no processo de seleção a tolerância ao alumínio, como também já relatado por Silva (2009). Outros

autores como Vasconcelos et al. (2002a) e Vasconcelos et al. (2002b) também encontraram resultados semelhantes.

O comprimento da raiz principal é um dos parâmetros mais utilizados na indicação de toxidez de alumínio em plantas (FOY, 1978; SIVAGURU et al., 1999). Inicialmente a toxidez do Al inibe a divisão celular, sendo o ápice da raiz o local mais afetado, conseqüentemente afeta também o crescimento radicular, sendo inibido (MATSUMOTO et al., 2000). Para testar toxidez do alumínio usando a raiz como base de toxidez, foi realizado o experimento 1, nos testes 1, 2 e 4. Neste testes foram utilizadas seis concentrações de alumínio (0, 25, 50, 100, 200 e 400 μM) na forma de $\text{AlCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$. Somente no teste 3, foi suprimida a dose de 50 μM e acrescentada a dose de 800 μM de Al. Neste experimento, foi utilizado a solução nutritiva simples, com as respectivas doses de alumínio e adicionado uma concentração de cálcio (0,1 mM), permitindo a máxima expressão do efeito do Al sem a interferência da deficiência do cálcio (KINRAIDE et al., 1985).

Foi verificado que no teste 1, o menor crescimento das raízes foi encontrado nas doses sem adição de alumínio, sendo um resultado diferente do esperado, que seria de um maior crescimento radicular na dose sem a presença de alumínio, conforme é apresentado na literatura. O crescimento do sistema radicular, assim como a elongação radicular relativa das plantas, sofre redução à medida que são submetidas a crescentes doses de alumínio (FOY, 1978).

Esse tipo de experimento de curta duração, as plântulas sofrem mais rapidamente o efeito da toxidez, mesmo com concentrações menores de alumínio presente no meio de crescimento do que em uma solução nutritiva completa, que é mais concentrada e com maior força iônica. Essa maior força iônica pode modificar as interações físico-químicas, alterando completamente o verdadeiro efeito da toxidez (ROSSIELO; JACOB-NETO, 2006).

No experimento 1 nas concentrações de 200 e/ou 400 μM de alumínio, ocorreram os maiores crescimento das plântulas de aroeira-vermelha, havendo mais crescimento nessas doses do que na dose sem a presença do alumínio. Do ponto de vista convencional este é um resultado difícil de ser explicado, e mais trabalhos precisam ser executados para entender melhor a fisiologias dessa espécie arbórea. Segundo Foy (1974) e Salvador et al. (2000), o alumínio em baixas concentrações pode ser benéfico a algumas espécies de plantas em determinadas situações, estimulando o seu crescimento. O alumínio, em seu primeiro contato com raízes de plantas sensíveis, reduz rapidamente a elongação radicular provocando, por exemplo, a paralisação das zonas de crescimento e rapidamente o surgimento da calose no ápice da raiz principal, (RENGEL et al., 1997). Talvez por serem as sementes desta espécie muito pequenas, 100 sementes possuem apenas 1,16 g, comparando com outras sementes, por exemplo, soja e guapuruvu, que possuem respectivamente 17 g e 200 g, a reserva inicial pode influenciar sua resposta ao alumínio. A aroeira-vermelha por possuir pouca reserva na semente, é necessário ser mais estudada para ser entendido o seu período de crescimento inicial, adequando o seu desenvolvimento com o tempo de crescimento na areia e sua relação com a toxidez de alumínio na solução, em experimentos de toxidez.

As plantas tolerantes podem acumular alumínio na parede celular das raízes, e quando ocorre o contato do alumínio com o ápice radicular, existe a possibilidade da ativação da exsudação de citrato no apoplasma, não provocando a diminuição do crescimento radicular (BABOURINA; RENGEL, 2009). Algumas espécies quando entram em contato com alumínio na solução nutritiva produz mucigel, como descrito por Nascimento (1998). No teste 4 foi verificada a presença de mucilagem em algumas raízes, essa mucilagem é um mecanismo de proteção aos efeitos tóxicos do Al. Neste trabalho, não se quantificou essa mucilagem. Michereff et al. (2005), citam que em solos ácidos uma das funções da mucilagem, é o de proteger o meristema da raiz.

Em estudos envolvendo exposições mais longas do sistema radicular, a toxidez se manifesta por meio de um conjunto de sintomas que expressam o efeito contínuo do Al no crescimento do sistema radicular, da parte aérea e na absorção e utilização de nutrientes (FAGERIA et al., 1988). Nos tratamentos com alumínio usando soluções nutritivas completas, as raízes apresentaram sintomas típicos de toxidez, tendo o encurtamento da raiz principal, engrossamento e até o escurecimento do ápice, sugerindo que o efeito foi dependente do estágio nutricional inicial de crescimento das plântulas.

No teste 4, ainda referente ao experimento 1, com solução nutritiva simples ocorreu o maior crescimento radicular na dose sem adição de alumínio. Provavelmente este efeito tenha ocorrido, por que as plântulas foram transferidas para a solução nutritiva após um período maior de crescimento, 18 dias após a semeadura (DAS), tendo um período maior de crescimento em areia, diferente dos outros testes que ficaram apenas 10 ou 15 dias. Caso se deseje estudar a toxicidade ao Al nessa espécie e nessas condições ambientais, sugere-se que sejam utilizadas o transplante realizado 18 dias após a semeadura e que as plântulas permaneçam 10 dias em solução.

Nessas raízes para avaliar a toxidez, foi utilizada a avaliação da metodologia de corantes químicos, porém não foram observadas diferenças significativas no uso do corante Hematoxilina e Pirocatecol. Embora essa seja uma metodologia eficiente para detectar a presença do alumínio no sistema radicular de plântulas e como exemplo cita-se que o corante PVC-1 auxiliou Jacob Neto (1993) a separar cultivares de feijão em função de sua tolerância ao alumínio, mais ou menos sensíveis, assim como o corante PVC-1 também possibilitou separar concentrações nas espécies avaliadas, de mamão e de maracujá (SILVA, 2009), como as plântulas de aroeira-vermelha possuem raízes naturalmente escuras e muito finas, foi difícil a avaliação da tonalidade do ápice da raiz principal. Então para a atribuição das notas foi observada a coloração de todo o sistema radicular e não apenas o ápice. Braccini et al. (2000), ao utilizar o teste de coloração com hematoxilina para selecionar genótipos de café quanto à tolerância ao Al, verificou também que a hematoxilina não se caracterizou como um método de discriminação promissor.

O crescimento do sistema radicular, assim como a alongação radicular relativa das plantas, sofre redução à medida que são submetidas a crescentes doses de alumínio. O comprimento da raiz principal é um dos parâmetros mais utilizados na indicação de toxidez de alumínio em plantas (FOY, 1978). A influência do alumínio na toxidez da planta pode afetar o crescimento e desenvolvimento do sistema radicular e interferir na absorção de nutrientes e água, reduzindo a produtividade de culturas de interesse econômico em solos com a presença de alumínio (FOY, 1992).

Quando foi utilizada a solução completa, o efeito da toxidez foi mais pronunciado, como aconteceu no experimento 2: nesse experimento o crescimento foi baixo, quase nulo das raízes que se encontravam nas doses de Al e a taxa de crescimento radicular decresceu conforme aumentava-se a dose de Al. Os resultados são semelhantes ao que foram encontrados por Macedo et al. (2011) com pinhão-mansão e Vasconcelos Filho (2014) no estudo com *Anacardium othonianum* R.

Nos tratamentos com Al, as raízes apresentavam sintomas típicos de toxidez, tendo o encurtamento da raiz principal, engrossamento e até o escurecimento do ápice. Os sintomas de toxidez observados, também são relatados por Braccini et al. (2000), ao trabalhar com cafeeiro no estudo de tolerância de genótipos.

Em todos os experimentos, quanto as plântulas possuíam raízes secundárias, essas muitas das vezes eram de número reduzido, curtas e grossas, quando comparadas as raízes no tratamento sem adição de Al. Um dado importante, a espécie utilizada por possuir raízes muito finas e delicadas, alguns dos copos tiveram perda de suas raízes devido à quebra.

No experimento 4, onde as plantas foram crescidas em solo Latossolo Vermelho Amarelo, no parâmetro comprimento radicular, a menor média foi referente ao tratamento zero absoluto, sem adição de nenhum nutriente. O solo utilizado era ácido e com alto teor de Al trocável e a aplicação de calcário favoreceu o desenvolvimento das plantas. Entretanto, foi conceito deste trabalho o de não aumentar demasiadamente o pH utilizando calagem, por ter sido uma das hipóteses que esta planta cresce em ambiente com solos ácidos e não em solos mais neutros. A calagem ao promover a elevação do pH, promove a neutralização do Al, evitando seus efeitos tóxicos sobre o crescimento e desenvolvimento das plantas (MARSCHNER, 1991).

As espécies arbóreas nativas normalmente são capazes de desenvolver mecanismos eficientes e estratégias diferentes para conviver com altos teores de alumínio trocável e com baixos teores de nutrientes disponíveis no solo (VILLA et al., 2015).

Nesse experimento 4, não houve diferença significativa estatisticamente para o parâmetro de massa seca de raiz, como também foi encontrado por GOMES et al. (2004) ao trabalhar com angico-branco. O parâmetro comprimento radicular, apresentou maiores médias nas doses com adição de calcário. O sistema radicular é o local onde são observados os efeitos diretos da toxidez por alumínio, uma vez que são as raízes que penetram no solo para fornecer fixação e absorver nutrientes para a planta (ZONTA, 2006).

A solução dos problemas dos solos ácidos não está relacionada somente com a tolerância ao Al, mas também envolve incremento na eficiência da absorção de fósforo (P) e outros nutrientes limitantes, bem como tolerância a outros metais tóxicos em condições ácidas (HARTWING et al., 2007), como os resultados aqui encontrados, em que ocorreram diferenças no desenvolvimento das plantas em solo adubado e nas plantas testemunha sem adição de nutrientes.

É pouco conhecida a fisiologia das plantas arbóreas. Neste nosso trabalho fica claro que é necessário adubar as plantas de aroeira e que a elevação do pH através da calagem é uma técnica que deve ser recomendada, seja para reflorestamento ou para o plantio na área urbana. Em trabalho realizado por Villa et al. (2015), foi verificado que a aroeira-vermelha teve o menor teor de macronutrientes na biomassa total quando comparado com outras plantas arbóreas, provavelmente, indicando pouca exigência nutricional. Este trabalho de certa forma discorda do presente trabalho que indicou exigência de calagem para o seu crescimento. É necessário ressaltar que o pH do solo usado no presente trabalho foi baixo (pH = 3,85) e a planta respondeu de forma significativa à calagem e à adição de nutrientes.

A maior dificuldade encontrada no trabalho foi em estabelecer um conjunto de plântulas que possuíssem uma mesma morfologia e condições de crescimento. Devido a aroeira-vermelha ser uma planta dióica, ou seja, existem plantas femininas e plantas masculinas, sexo separados, pode haver assim uma grande variação genotípica nas sementes. Outro dado importante, é que essa espécie não foi melhorada geneticamente. Neste trabalho foram utilizadas as sementes provenientes de uma única planta matriz, visando diminuir a variabilidade. Entretanto, ainda foi difícil obter plântulas de raízes uniformes.

Este trabalho é resultante de uma série de projetos executados ou em andamento no laboratório de Química da Rizosfera-IA-UFRRJ onde se procura entender os mecanismos de toxidez de alumínio especialmente em espécies arbóreas, como por exemplo os executados por Polese (2013), Vasconcelos Filho (2014), Lemos (2015), Lemos et al. (2015) e Machado (2015). A aroeira-vermelha é uma planta com relativa importância econômica, no grau de conhecimento atual. Entretanto ficou claro neste trabalho, que são necessárias mais pesquisas científicas com estas espécies, que no momento atual não estão no mesmo nível de importância econômica das grandes culturas produtoras de grãos, mas que são plantas essenciais a um determinado bioma ou que apresentam valor paisagístico na arborização urbana.

6 CONCLUSÕES

A taxa de crescimento radicular e a alongação radicular relativa são métodos que devem ser recomendado em estudos com plantas de aroeira-vermelha.

Soluções nutritivas completas, diluídas e balanceadas, devem ser recomendada em estudos de toxidez de alumínio nesta espécie ao invés de soluções simples apenas com cálcio, devido ao baixo potencial de reserva da semente.

Baixas concentrações de alumínio em solução simples provocou até aumento de crescimento de raízes.

O comprimento de raiz de plântulas de aroeira crescidas em soluções nutritivas completas, paralisaram seu crescimento na concentração de 131,87 μM de Al. Na solução simples só foi possível estabelecer o nível crítico de toxidez utilizando a taxa de crescimento radicular obtendo o valor de 88,42 μM de alumínio.

A aroeira respondeu à aplicação de calagem, P, K e micronutrientes quando crescida em um substrato de solo Latossolo Vermelho Amarelo, sendo a dosagem de 2164,64 Kg ha^{-1} de calcário a dosagem onde foi obtido o maior comprimento radicular. Para massa seca da parte aérea, somente com 1831,50 Kg ha^{-1} de calcário foi suficiente para atingir o maior valor.

Foi verificado que é importante a idade da plântula, antes da transferência das plântulas para a solução nutritiva, sendo indicado 18 dias após a semeadura para solução nutritiva simples e 15 dias após a semeadura para a solução nutritiva completa.

O teste de coloração com hematoxilina e Pirocatecol não se caracterizaram como sendo métodos eficientes para avaliação de tolerância ao Al nas raízes das plântulas de aroeira-vermelha.

7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALMEIDA, A.A.; LEITE, J.P.V. A hora e a vez da aroeirinha. Espaço do Produtor. Disponível em: <https://www2.cead.ufv.br/espacoProdutor/scripts/verArtigo.php?codigo=22&acao=exibir>. Acesso em março de 2015.

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.3.311-318, 2004.

ANIOL, A. Genetics of tolerance to aluminium in wheat (*Triticum aestivum* L. Thell). **Plant and Soil**, Dordrecht, v.123, n.2. p.223-227, Apr. 1990.

BABOURINA, O.; RENGEL, Z. Uptake of aluminium into Arabidopsis root cells measured by fluorescent lifetime imaging. **Annals of Botany** 104, 189–195. 2009.

BARBOSA, L.C.A.; DEMUNER, A.J.; CLEMENTE, A.D.; PAULA, V.F.; ISMAIL, F. M.D. Seasonal variation in the composition of volatile oils from *Schinus terebinthifolius* raddi. **Química Nova**, São Paulo, v. 30, n. 8, p. 1959-1965, 2007.

BARCELÓ, J.; POSCHENRIEDER, C. Fast root growth responses, root exudates, and internal detoxification as clues to the mechanisms of aluminium toxicity and resistance: a review. **Environmental and Experimental Botany**, Oxford, v.48, n.1, p.75-92, 2002.

BATISTA, R.O.; FURTINI NETO, A.E.; DECCETTI, S.F.C. Eficiência nutricional em clones de cedro-australiano. **Science for Piracicaba**, v.43, n. 107, p. 647-655, set. 2015.

BENNET, R. J.; BREEN, C. M. The aluminium signal: new dimensions to mechanisms of aluminium tolerance. **Plant and Soil**, Dordrecht, v.134, n.1, p.153-166, july, 1991.

BEUTLER, A.N.; FERNANDES, L.A.; FAQUIN, V. Efeito do alumínio sobre o crescimento de duas espécies florestais. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.25, p. 923-928, 2001.

BISSINI, C.A.; MEURER, E.J.; BOHNEN, H. Solos ácidos e afetados por sais. In: MEURER, E. J. Fundamentos de química do solo. 3 ed. Porto Alegre, **Evangraf**, p. 181-205. 2006.

BRACCINI, M.C.L.; MARTINEZ, H.E.P.; SILVA, E.A.M.; BRACCINI, A.L.; SCAPIM, C. A. Crescimento da planta e coloração das raízes com hematoxilina como critérios de avaliação de genótipos de café quanto à tolerância à toxidez de alumínio. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG. v.24, n. 1, p. 59-68, 2000.

BRAGA, M.M. Crescimento e qualidade de mudas de cedro australiano (*Toona ciliata* M. Roem var. *australis*) em função da aplicação de calcário e enxofre. Dissertação de mestrado em Fertilidade do Solo e Nutrição Mineral de Plantas. Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG, Brasil. 81f. 2011.

BRASIL. Ministério da Saúde. Secretaria de Ciência, Tecnologia e Insumos Estratégicos. Departamento de Assistência Farmacêutica e Insumos Estratégicos. **Programa Nacional de Plantas Medicinais e Fitoterápicos** / Ministério da Saúde, Secretaria de Ciência, Tecnologia e Insumos Estratégicos. Brasília: Ministério da Saúde, 136 p. 2009.

BRASIL. Ministério da Saúde. Secretaria de Ciência, Tecnologia e Insumos Estratégicos. Departamento de Assistência Farmacêutica. A fitoterapia no SUS e o **Programa de Pesquisa de Plantas Medicinais da Central de Medicamentos** / Ministério da Saúde, Secretaria de Ciência, Tecnologia e Insumos Estratégicos, Departamento de Assistência Farmacêutica. – Brasília : Ministério da Saúde, (Série B. Textos Básicos de Saúde), 148p. 2006.

CAI, M.Z.; WANG, F.M.; ZHANG, S.N.; WANG, N.; XU, GD. Response and tolerance of root border cells to aluminum toxicity in soybean seedlings. **Journal of inorganic biochemistry**, v.105, n.7, p.966-971, 2011.

CAIRES, E.F.; FONSECA, A.F.; MENDES, J.; CHUEIRI, W.A.; MADRUGA, E.F. Produção de milho, trigo e soja em função das alterações das características químicas do solo pela aplicação de calcário e gesso na superfície, em sistema plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.23, p.315-327, 1999.

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

CANÇADO, G.M.A.; CARNEIRO, N.P.; CARNEIRO, A.A.; PURCINO, A.A.C.; GUIMARÃES, C.T.; ALVES, V.M.C.; PARENTONI, S.N.; SOUZA, I.R.P.; PAIVA, E. Novas perspectivas para a adaptação de culturas ao cerrado. **Biotechnology Ciência e Desenvolvimento**, Brasília, DF, n. 23, p. 56-61, 2001.

CARMELLO-GUERREIRO, S.M.; PAOLI, A.A.S. Morfologia e anatomia da semente de *Schinus terebinthifolius* Raddi (Anacardiaceae) em desenvolvimento. **Revista Brasileira de Botânica**, v. 22, n. 1, p. 91-98, 1999.

CARVALHO, P.E.R. Espécies florestais brasileiras: recomendações silviculturais, potencialidades e uso da madeira. Colombo: EMBRAPA - CNPF, 640p. 1994.

CARVALHO, P.E.R. Espécies arbóreas brasileiras. Curitiba: EMBRAPA - CNPF/SPI, v.1. 1039p. 2003.

CASSIOLATO, M.E.; MEDA, A.R.; PAVAN, M.A.; MIYAZAWA, M.; OLIVEIRA, J.C. Evaluation of oat extracts on the efficiency of lime in soil. **Brazilian Archives of Biology and Technology**, Curitiba, v.43, n.5, p.533-536, 2000.

CERUKS, M.; ROMOFF, P.; FÁVERO, O.A.; LAGO, J.H.G. Constituintes fenólicos polares de *Schinus terebinthifolius* Raddi (Anacardiaceae). **Química Nova**, v. 30, n. 3, p. 507-599, 2007.

CESÁRIO, L.F.; GAGLIANONE, M.C. Biologia floral e fenologia reprodutiva de *Schinus terebinthifolius* Raddi (Anacardiaceae) em Restinga do Norte Fluminense. **Acta botânica brasileira**, 22(3): 828-833. 2008.

CHANDRAN, D.; SHAROPOVA, N.; VANDENBOSCH, K.A.; GARVIN, D.F.; SAMAC, D.A. Physiological and molecular characterization of aluminum resistance in *Medicago truncatula*. **BMC Plant Biology**, v. 8, n. 89, 2008.

CODOGNOTTO, L.M.; SANTOS, D.M.M.; LEITE, I.C., ET AL. Efeito do alumínio nos teores de clorofilas de plântulas de feijão-mungo e labe-labe. **Ecossistema**, v.27, n.1-2, p.27-30, jan./dez. 2002.

CUDA, J.P.; FERRITER, A.P.; MANRIQUE, V.; MEDAL, J.C. (EDS.). Florida's Brazilian peppertree management plant: recommendations from the Brazilian pepper Task Force Florida Exotic Pest Council. 81p. April 2006.

DEGÁSPARI, C.H.; WASZCZYNSKYJ, N.; PRADO, M.R.M. Atividade antimicrobiana de *Schinus terebenthifolius* RADDI. **Ciência e agrotecnologia**. Lavras, v.29, n.3, p. 617-622, maio/jun. 2005.

DELHAIZE, E.; RYAN, P.R. Aluminum toxicity and tolerance in plants. **Plant Physiology**, Rockville, v.107, n. 2, p. 315-321, 1995.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. 2. ed. Manual de métodos de análise de solo. Rio de Janeiro: CNPS, 1997. 212p.

ERNANI, P.R.; NASCIMENTO, J.A.; OLIVEIRA L.C. Aumento do rendimento de grãos e de massa verde de milho ocasionado pela calagem. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.22, p.275-280, 1998.

ERNANI, P.R.; RIBEIRO, M.S.; BAYER, C. Modificações químicas em solos ácidos ocasionadas pelo método de aplicação de corretivos da acidez e de gesso agrícola. **Scientia Agricola**, v.58, n.4, p.825-831, out./dez.2001.

FAES & SENAR. Pimenta-rosa desponta para a exportação no Espírito Santo. *Jornal Esta Terra*. Vitória - ES: Federação de Agricultura e Pecuária do Estado do Espírito Santo (FAES) e do Serviço Nacional de Aprendizagem Rural – Administração Regional do Estado do Espírito Santo (SENAR-AR/ES) p. 6-7, 2009.

FAGERIA, N.K.; BALIGAR, V.C.; WRIGHT, R J. The effects of aluminum on growth and uptake of Al and P by rice. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.24, n.6, p.677-682, 1989.

FAGERIA, N.K.; ZIMMERMANN, F.J.P. Seleção de cultivares de arroz para tolerância a toxidez de alumínio em solução nutritiva. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 14, n. 2, p. 141-147, fev. 1979.

FERREIRA, R.P.; MOREIRA, A.; RASSINI, J.B. Toxidez de alumínio em culturas anuais. Documentos, 63. Embrapa Pecuária Sudeste, São Carlos, 35p., 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.; CHANEY, R.L.; WHITE, M.C. The physiology of metal toxicity in plants. Annual Rev. **Plant Physiol**, 29: 511-56, 1978.

FOY, C.D. Effect of aluminum on plant growth. in: CARSON, F.W., (ED.) **The plant root and its environment**. Charlottesville: University of virginia, P.601-642, 1974.

FOY, C.D. Soil chemical factors limiting plant root growth. In: HATFIELD, J.L.; STEWART, B.A. Limitations to plant root growth. New York, **Springer-Verlag**, p.97-149. 1992.

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. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.36, n.1, p.72-79, 2006.

GARLAND-CAMPBELL, K.A.; CARTER, T.E. Jr. Aluminium tolerance in soybean: genotypic correlation and repeatability of solution culture and greenhouse screening methods. **Crop Science**, 30 p. 1049-1054, 1990.

GOMES, K. A. O. et al. Influência da saturação por bases e do fósforo no crescimento de mudas de angico-branco. **Revista Árvore**, v.28, n.6, p.785-792, 2004.

GRISI, F. G. Aspectos fisiológicos de aroeira (*Schinus terbinthifolius* Raddi), sob níveis distintos de saturação hídrica em ambiente protegido, e área ciliar em processo de recuperação. 2010.127f. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal do Paraná. Paraná 2010.

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.

HAYES, L.; PAYNTER, Q. What's New in Biological Control of Weeds. Manaaki Whenua **Landcare Research**, issue 48. 2009.

HARTWING, I.; OLIVEIRA, A.C.DE.; CARVALHO, F.I.F.DE.; BERTAN, I.; SILVA, J.A.G.DA. Mecanismos associados à tolerância ao alumínio em plantas. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v.28, n. 2, p. 219-228, abr./jun. 2007.

HORST, W.J.; WANG, Y.; ETICHA, D. The role of the root apoplast in aluminium-induced inhibition of root elongation and in aluminium resistance of plants: a review **Annals of Botany**, p. 1 - 13 , January 2010.

JACOB NETO, J. The interations of H⁺/ OH⁻ exchanges between roots and rhizosphere with plant nutrition and aluminium effects. Dundee, University of Dundee, 1993. 281p. (Tese de Doutorado).

JACOB NETO, J.; RAVEN , J.A.; WOLLENWEBER, B. Aluminium in the rhizosphere of *Phaseolus vulgaris* L. In: International conference on heavy metals in the environment, Edinburg. Proceedings. Edinburg, CEP Consultants, p. 103-106, 1991.

KAGEYAMA, P.Y.; GANDARA, F.B. Recuperação de áreas ciliares. Pp. 249-269. In: R.R. Rodrigues & H. Leitão Filho (org.). **Matas Ciliares: Conservação e Recuperação**. São Paulo, EDUSP. 2000.

KALOVOULOS, J.M.; MISOPOLINOS, N.D. Aluminium detection on corn roots by the quinizarin method. *journal Plant Soil*, v. 74. p. 131-132, 1983.

KINRAIDE, T.B. Proton extrusion by wheat roots exhibiting severe aluminum toxicity symptoms. *Plant Physiol*, 88: 4 18-423. 1988.

KINRAIDE, T. B.; ARNOLD, R.C.; BALIGAR, V. C. A rapid assay for aluminium phytotoxicity at submicromolar concentrations. *Physiologia Plantarum*, v. 65, p. 245-250, 1985.

KLIEMANN, H.J. Nutrição mineral e adubação do maracujazeiro. In: HAAG, H.P. coord. **Nutrição mineral e adubação de fruteiras tropicais**. Campinas, Fundação Cargil, 1986, p. 247- 284.

KOCHIAN, L.V.; PIÑEROS, M.A.; LIU, J.; MAGALHAES, J.V. Plant Adaptation to Acid Soils: The Molecular Basis for Crop Aluminum Resistance. *Annual Review of Plant Biology*. 66. 23.1–23.28. 2015.

KOCHIAN, L.V. Cellular mechanism of aluminium toxicity and resistance in plants. *Annual Review Plant Physiology Plant Molecular Biology*, 46: 237 -260, 1995.

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

KOCHIAN, L.V.; PINEROS, M.A.; HOEKENGA, O.A. The physiology, genetics and molecular biology of plant aluminum resistance and toxicity. *Plant and Soil*, 274, 175–195. 2005.

LEMONS, J. DE J.; SILVA, A.C.; JACOB NETO, J. Diminuição do crescimento de plântulas de espécies arbóreas utilizadas na arborização urbana em função da indução da toxidez de alumínio. *Semioses*, Rio de Janeiro, v.9, n.2, p. 22 – 37. 2015.

LENZI, M.; ORTH, A.I. Caracterização funcional do sistema reprodutivo da aroeira vermelha (*Schinus terebinthifolius* Raddi), Florianópolis-SC, Brasil. *Revista Brasileira de Fruticultura*, Jaboticabal – SP, v.26, n.2, p. 198-201, Agosto 2004.

LIU, J.; PIÑEROS, M.A.; KOCHIAN, L.V. The role of aluminum sensing and signaling in plant aluminum resistance. *Journal of Integrative Plant Biology*, 56, 221–230. 2014.

LORENZI, H. **Árvores brasileiras**. Nova Odessa: Instituto Plantarum, 352p. 1992.

LORENZI, H.; MATOS, F.J.A. **Plantas medicinais no Brasil: nativas e exóticas cultivadas**. Nova Odessa: Instituto Plantarum, 512 p. 2002.

LORENZI, H. **Árvores Brasileiras: manual de identificação e cultivo de plantas arbóreas nativas do Brasil**. 4ªed. Ed. Instituto Plantarum, v.1, p. 24, 2002.

MA, J.F.; FURUKAWA, J. Recent progress in the Research of external Al detoxification in higher plants: A Minireview. **Journal of Inorganic Biochemistry**, v.97, p.46-51, 2003.

MACEDO, F.L. Efeito do alumínio em plantas de Pinhão-Manso (*Jatropha curcas* L.), cultivadas em solução nutritiva. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v. 32, n. 1, p. 157-164, 2011.

MACHADO, A.L. Toxidez do alumínio e eficiência de diferentes tipos de poda em *Bauhinia variegata* L. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia). Instituto de Agronomia, Departamento de Fitotecnia, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, RJ, 2015.

MALAVOLTA, E. Elementos de nutrição mineral de plantas. São Paulo: Agronômica **Ceres**, 251p. 1980.

MALAVOLTA, E.; VITTI, G.C.; OLIVEIRA, S.A. Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações. 2. ed. Piracicaba: **Potafos**, 319p. 1997.

MARIANO, E.D.; JORGE, R.A; KELTJENS, W.G; MENOSSI, M. Metabolism and root exudation of organic acid anions under aluminium stress. **Braz. Journal Plant Physiology** 17:157-172, 2005.

MARSCHNER, H. Mechanisms of adaptation of plants to acid soils. **Plant and Soil**, The Hague, v.134, n.1, p.1-20, July 1991.

MARTINES, M.J.; ALONSO, N.G.; BETANCOURT, J.B. Actividad antimicrobiana del *Schinus terebinthifolius* Raddi (copal). **Revista Cubana de plantas medicinales**, v.1, n.3, p. 37-39, 1996.

MASSOT, N.; POSCHENRIEDER, C. & BARCELÓ, J. Aluminum tolerance assessment in bush bean cultivars by root growth analysis and hematoxylin staining. **Rev. Suelo Planta**, v. 1. p.25-32, 1991.

MATTIELLO, E.M.; PEREIRA, M.G.; ZONTA, E.; MAURI, J.; MATTIELLO, J.D.; MEIRELES, P.G.; SILVA, I.R. da. 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**, 32:425-434, 2008.

MATOS, F.J.A. **Farmácias vivas: sistema de utilização de plantas medicinais projetado para pequenas comunidades**. 2.ed. Fortaleza: UFC, 2002. 172p

MATSUMOTO, H. Cell biology of aluminum toxicity and tolerance in higher plants. **International Review Cytology**, San Diego, v.200, p.1-46, 2000.

MELO JÚNIOR, A.F.; CARVALHO, D.; POVOA, J.S.R.; BEARZOTI E. Estrutura genética de populações naturais de pequiheiro (*Caryocar brasiliense* Camb.) **Scientia Forestalis**. Piracicaba. n.66, p.56-65, dez. 2004.

Michereff, S. J., Andrade, D.E.G.T. & Menezes, M. (Eds) **Ecologia e Manejo de Patógenos Radiculares em Solos Tropicais**. Recife, UFRPE. 2005.

MIGUEL, P.S.B.; GOMES, F.T.; ROCHA, W.S.D.; MARTINS, C.E.; CARVALHO, C.A.; OLIVEIRA, A.V. Efeitos tóxicos do alumínio no crescimento das plantas: mecanismos de tolerância, sintomas, efeitos fisiológicos, bioquímicos e controles genéticos. **CES Revista**, v.24. Juiz de Fora, 2010.

MORGAN, E.C.; OVERHOLT, W.A. Potential allelopathic effects of Brazilian pepper (*Schinus terebinthifolius* Raddi, *Anacardiaceae*) aqueous extract on germination and growth of selected Florida native plants. **The Journal of the Torrey Botanical Society**, v. 132, n. 1, p. 11-15, 2005.

MULLETTE, K.J. Stimulation of Growth in Eucalyptus due to Aluminium. **Plant and Soil**, v.42, n. p. 495-499. 1975.

NAIDU, R.; TILLMAN, R.W.; SYERS, J.K.; KIRKMAN, J.H. Lime-aluminium-phosphorus interactions and the growth of *Leucaena leucocephala* II. Chemical composition. **Plant and Soil**, The Hague, v.126, n.1, p.9-17, Aug. 1990.

NASCIMENTO, A.G do. Leguminosas Arbóreas de florestas tropicais: comportamento ecofisiológico em relação ao nitrogênio mineral e alumínio. Dissertação (Mestrado em Ciências Ambientais e Florestais) - Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, 1998.

OLIVEIRA, E.L.; PARRA, M.S.; COSTA, A. Resposta da cultura do milho, em latossolo vermelho-escuro Álico, à calagem. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.21, p.65-70, 1997.

PEIXOTO, P.H.P.; PIMENTA, D.S.; CAMBRAIA, J. Alterações morfológicas e acúmulo de compostos fenólicos em plantas de sorgo sob estresse de alumínio. **Bragantia**, Campinas, v. 66, n.1, p.17-25, 2007.

PLANTAS QUE CURAM Disponível em: <<http://www.plantasquecuram.com.br/ervas/arozeira-brasileira.html>>. Acesso em: 20/01/2016.

POLLE, E.; KONZAK, C.F.; KITTRICK, J.A. Visual detection of aluminum tolerance levels in wheat by hematoxilin staining of seedling roots. **Crop Science**, 18:823-827, 1978.

POLESE, V. Efeito de inibidores de crescimento e do tipo de poda em plantas utilizadas na arborização. 89p Dissertação (Mestrado em Fitotecnia). Instituto de Agronomia, Departamento de Fitotecnia, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, RJ, 2013.

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

POTTKER, D.; BEN, J.R. Calagem para uma rotação de culturas no sistema plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.22, p.75-684, 1998.

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

RENGEL, Z.; REID, R.J. Uptake of Al across the plasma membrane of plant cells. **Plant and Soil**, 192: 31–35. 1997.

RIBAS, M.O.; SOUSA, M.H., SARTORETTO, J.; LANZONI, T.A.; NORONHA, L.; ACRA, L. Efeito da *Schinus terebinthifolius* Raddi sobre o processo de reparo tecidual das lesões ulceradas induzidas na mucosa bucal do rato. **Revista Odonto Ciência**, Porto Alegre, v. 21, n. 53, p. 245-52, 2006.

RINCÓN, M.; GONZALES, R.A. Aluminum partitioning in intact roots of aluminum-tolerant and aluminum-sensitive wheat (*Triticum aestivum* L.) cultivars. **Plant Physiology**, 99:1021-1028, 1992.

RHEINHEIMER, D.S.; SANTOS, E.J.S.; KAMINSKI, J.; XAVIER, F.M. Aplicação superficial de calcário no sistema plantio direto consolidado em solo arenoso. **Ciência Rural**, v.30, p.263-268, 2000.

ROCHA, R.P.DA.; MELO, E.DE C.; BARBOSA, L.C.DE A. Efeito do processo de secagem sobre o teor do óleo essencial de pimenta-rosa. **VI Simpósio Iberoamericano de Plantas Mediciniais**, Ponta Grossa-PR, 2012.

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**. 432 p. 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, n.4, p.787-796, 2000.

SCHEFFER-BASSO, S.M.; AGNOL, M.A.; CAETANO, J.H.S.; JACQUES, A.V.A. Growth of *Adesmia spp.* Seedlings submitted to aluminum doses in nutritive solution. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.30, n.2, p. 217-222, 2000.

SCRIVANTI, L.R.; ZUNINO, M.P.; ZYGADLO, J.A. *Tagetes minuta* and *Schinus aroeira* essential oils as allelopathic agents. **Biochemical Systematics and Ecology**, v. 31, n. 6, p. 563-572, 2003.

SILVA I.R.; SMYTH T.J.; BARROS N.F.; NOVAIS R.F. Physiological aspects of aluminum toxicity and tolerance in plants. **Tópicos em Ciência do Solo** 2:277-335. 2002.

SILVA, A.C. Avaliação da tolerância ao alumínio em plântulas de maracujazeiro e mamoeiro. 2009. 72f. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia). Instituto de Agronomia, Departamento de Fitotecnia, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, RJ, 2009.

SIMINOCOVA, M.; HUTTOVA, J.; MISTRİK, I.; SIROKA, B.; TAMAS, L. Root growth inhibition by aluminum is probably caused by cell death due to peroxidase-mediated hydrogen peroxide production. **Protoplasma**, v. 224, p.91-98, 2004.

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.; PALIWAL, K. Differential aluminum tolerance in some tropical rice : I. Growth performance. **Journal of Plant Nutrition**, New York, v. 16, n. 9, p. 1705-1716, 1993.
- SOUZA, P.A.; VENTURINI, N.; MACEDO, R.L.G.; ALVARENGA, M.I.N.; DA SILVA, V.F. Estabelecimento de espécies arbóreas em recuperação de área degradada pela extração de areia. **Cernea**, 7: 43-52, 2001.
- STASI, L.C.; LIMA, C.A.H. **Plantas Medicinais na Amazônia e na Mata Atlântica**. 2ªed. Ed. UNESP: São Paulo, p. 344, 350 e 360, 2002.
- TABUCHI, A.; MATSUMOTO, H. Changes in cell-wall properties of wheat (*Triticum aestivum*) roots during aluminum-induced growth inhibition. **Physiologia Plantarum**, 112, 353–358. 2001.
- TAYLOR, G.J. The physiology of aluminum tolerance in higher plants. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, 19 11 79-1 194. 1988.
- 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.
- VAN, H.L.; KURAI, S.; SAKURAI, N. Aluminum-induced rapid root inhibition and changes in cell-wall components of squash seedlings. **Plant Physiology**, 106, 971–976. 1994.
- 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.
- VASCONCELOS, S.S. Métodos de avaliação da tolerância à toxicidade de alumínio em cultivares de arroz (*Oryza sativa* L.). Seropédica: UFRRJ, 1997, 137p. Tese de Mestrado.
- VASCONCELOS, S.S.; JACOB NETO, J.; ROSSIELLO, R.O.P. Differential root responses to aluminum stress among brazilian rice genotypes. **Journal of Plant Nutrition**, v. 25, n.3, p. 655-669, 2002b.
- 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, 2002a.
- VELOSO, C.A.C.; MURAOKA, T.; MALAVOLTA, E.; DE CARVALHO, J.G. Influência do Manganês Sobre a Nutrição e Crescimento da Pimenteira do Reino. **Scientia Agraria**, v.52, n.2, p. 376-386, 1995.
- VILLA, E.B.; LELES, P.S. DOS S.; PEREIRA, M.G.; NETO, S.N. DE O. Macronutrientes na biomassa de espécies arbóreas em área de restauração florestal. **Restauração Florestal e a Bacia do Rio Guandu**. Seropédica, RJ: Ed. da UFRRJ, 2015.
- VITORELLO, V.A.; CAPALDI, F.R.; STEFANUTO, V.A. Recent advances in aluminum toxicity and resistance in higher plants. **Brazilian Journal Plant Physiology**, 17:129-143. 2005.

WAGATSUMA, T.; KAWASHIMA, T.; TAWARYA, K. Comparative stainability of plant root cells with basic dye (methylene blue) in association with aluminium tolerance. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, v.19. p. 1207-1215, 1998.

WATANABE, T.; OSAKI, M. Mechanisms of adaptation to high aluminum condition in native plant species growing in acid soils: a review. **Communications in Soil Science and Journal Plant Analysis**, v. 33, p. 1247-1260, 2002.

WEIRICH NETO, P.H.; CAIRES, E.F.; JUSTINO, A.; DIAS, J. Correção da acidez do solo em função de modos de incorporação de calcário. **Ciência Rural**, v.30, p.257-261, 2000.

YANG, Z.B.; ETICHA, D.; RAO, I.M.; HORST, W.J. Alteration of cellwall porosity is involved in osmotic stress-induced enhancement of aluminium resistance in common bean (*Phaseolus vulgaris* L.). **Journal of Experimental Botany**, 61, 3245–3258. 2010.

ZHANG, G & TAYLOR, G. J. Effect of aluminum on growth and distribution of aluminum in tolerant and sensitive cultivars of *Triticum aestivum* L. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, v. 19, n. 7 – 12, p. 1195-1205, 1998.

ZONTA, E.; BRASIL, F.C.; GOI, SR. & ROSA, M.M.T. O sistema radicular e suas interações com o ambiente edáfico. In: **Nutrição mineral de plantas**, 432p. Ed. FERNANDES, M.S. SBCS, Viçosa, 2006.