

UFRRJ
UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO RIO DE JANEIRO
INSTITUTO DE AGRONOMIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM FITOTECNIA

TESE

**ALUMÍNIO E INIBIDORES DE CRESCIMENTO NO MANEJO DA
PODA E NO DESENVOLVIMENTO DE ESPÉCIES UTILIZADAS NA
ARBORIZAÇÃO URBANA**

ALESSANDRA DE LIMA MACHADO

2019



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

**ALUMÍNIO E INIBIDORES DE CRESCIMENTO NO MANEJO DA
PODA E NO DESENVOLVIMENTO DE ESPÉCIES UTILIZADAS NA
ARBORIZAÇÃO URBANA**

ALESSANDRA DE LIMA MACHADO

Sob a Orientação do Professor
Jorge Jacob Neto

Tese submetida como requisito parcial para obtenção do grau de **Doutora em Fitotecnia**, no Programa de Pós-Graduação em Fitotecnia, Área de concentração em Fisiologia da Produção.

Seropédica, RJ
Fevereiro, 2019

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

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

M113a Machado, Alessandra de Lima, 1977-
Alumínio e inibidores de crescimento no manejo da
poda e no desenvolvimento de espécies utilizadas na
arborização urbana / Alessandra de Lima Machado. - ,
2019.
105 f.: il.

Orientador: Jorge Jacob Neto. Tese(Doutorado).
- Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro,
Fitotecnia, 2019.

1. Arborização urbana. 2. Toxicidade de alumínio. 3.
Inibidores de crescimento vegetal. I. Jacob Neto,
Jorge , 1955-, orient. II Universidade Federal Rural
do Rio de Janeiro. Fitotecnia III. Título.

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

ALESSANDRA DE LIMA MACHADO

Tese submetida como requisito parcial para obtenção do grau de **Doutora em Fitotecnia**, no Programa de Pós-Graduação em Fitotecnia, Área de concentração em Fisiologia da Produção.

TESE DE DOUTORADO APROVADA EM ___/___/2019

Jorge Jacob Neto (Ph.D.) UFRRJ
(Orientador)

Alexander Silva de Resende (Dr.) EMBRAPA Agrobiologia

Vera Lucia Divan Baldani (Dra.) EMBRAPA Agrobiologia

Alexandre Porto Salmi (Dr.) UFRRJ

Silvia Regina Goi (Ph.D.) UFRRJ

“Porque se chamavam homens
Também se chamavam sonhos
E sonhos não envelhecem.”
(Marcio Borges)

Aos meus queridos,
Jorge (*in memoriam*),
Glória,
Adriana,
Jorge Alexandre e
Pedro Sereno,

Aos que lutam pela ciência e pela educação,

Com amor e gratidão, o
meu trabalho
Dedico!

AGRADECIMENTOS

O presente trabalho foi realizado com o apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001. Agradeço à **CAPES** pela bolsa de estudos concedida.

Pela conclusão deste trabalho, gratidão e alegria se misturam. Tenho a satisfação de agradecer a instituições e pessoas que possibilitaram e enriqueceram minha trajetória até aqui.

À Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) e às empresas **AMPLA** e **LIGHT** pelo apoio técnico e financeiro aos projetos nos quais foi iniciada a linha de pesquisa desenvolvida neste trabalho.

Ao professor orientador **Jorge Jacob Neto** pela dedicação em compartilhar comigo os seus conhecimentos e o seu tempo. Também por todas as experiências proporcionadas através convivência e que fazem parte do meu crescimento pessoal.

À UFRRJ, ao Instituto de Agronomia e ao Departamento de Fitotecnia, também aos seus colaboradores, pela estrutura técnica e científica, e pela beleza que me abrigou. Dedico uma gratidão singular aos colaboradores **Marcos, Tatiane, Valdeir, Félix e Lili** (*in memoriam*).

Aos professores **Pedro Damasceno** e **Aroldo Machado** por me dedicarem tempo, conhecimento, paciência e credibilidade.

Aos professores do Programa de Pós-graduação em Fitotecnia. Ao grupo de pesquisa Plantas Daninhas e Pesticidas no Ambiente – UFRRJ.

Tive a sorte de colaborações muito especiais e por elas agradeço carinhosamente: **Fernando (Zezão), Carlos Antônio, Isabela Diegues e Vinicius Andrade (Xuxu)**.

Àqueles que me auxiliaram com seus conhecimentos e amizade, pessoas das quais me lembrarei sempre com alegria, gratidão e muito carinho: **Tiago Andrade, Hercides Junior (Punk), Aldir Carlos, Nubia Permanhani, Miquéias Permanhani, Joice Lemos, Nathália Bugni, Juçaria e Thamara Mendonça**.

Aos que me acompanham, apoiam e ensinam deste sempre: **Jorge** (*in memoriam*), **Gloria, Adriana e Jorge Alexandre**.

Nas palavras de Vinicius de Moraes: a vida é a arte do encontro, embora haja tanto desencontro pela vida. À **Deus**, por todos os encontros que fizeram desta caminhada um aprendizado feliz e promissor!

**“Nós, para os outros, apenas
criamos pontos de partida.”**

(Simone de Beauvoir)

RESUMO

MACHADO, Alessandra de Lima. **Alumínio e inibidores de crescimento no manejo da poda e no desenvolvimento de espécies utilizadas na arborização urbana**. 2019. 112p. Tese (Doutorado em Fitotecnia). Instituto de Agronomia, Departamento de Fitotecnia, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, RJ, 2019.

Este trabalho foi realizado com objetivo de desenvolver técnica de poda, associada ou não ao uso de inibidores de crescimento, que possibilite a diminuição da frequência de podas em árvores urbanas; avaliar o Al como inibidor do desenvolvimento vegetal e também de utilizar esse elemento para aumento da eficiência de herbicidas visando à diminuição de doses de aplicação. Foram utilizadas quatro espécies arbóreas de usos múltiplos: *Schinus terebinthifolia* (aroeira), *Bauhinia sp.* (pata-de-vaca), *Inga sp.* (ingá) e *Mimosa caesalpinifolia* (sabiá). Plântulas de diferentes genótipos de aroeira foram estudadas em uma solução nutritiva completa e com doses crescentes de Al, com o objetivo de identificar variáveis morfológicas que indiquem suscetibilidade ou tolerância da espécie ao Al^{3+} , e estimar parâmetros genéticos associados ao caráter de suscetibilidade ou tolerância. Com o objetivo de avaliar a toxicidade de uma formulação composta pela mistura de $AlCl_3$ com 2,4-D + picloram e a ação isolada do $AlCl_3$ aplicados sobre a parte aérea, foi realizado um experimento de campo com espécies herbáceas crescidas espontaneamente e dois em casa de vegetação com *Ageratum conyzoides* (mentrasto) e aroeira. Após testar os produtos, foram realizados três experimentos de poda com as espécies pata-de-vaca, ingá e sabiá objetivando avaliar o surgimento e sobrevivência das brotações em função do tipo de corte e do uso de $AlCl_3$, 2,4-D + picloram e da mistura de $AlCl_3$ com 2,4-D + picloram. Também foi avaliado o efeito residual no solo, após o uso de $AlCl_3$ e 2,4-D + picloram aplicados na parte aérea das plantas de ingá. Os resultados indicaram que Al^{3+} provocou alteração morfológica nas raízes dos genótipos de aroeira. As variáveis crescimento radicular, taxa de crescimento radicular e alongação radicular relativa foram mais apropriadas à avaliação dos efeitos tóxicos do Al nessa espécie. O $AlCl_3$ aumentou a eficiência de controle do herbicida aplicado em plantas de mentrasto e quando aplicado de forma isolada na parte aérea inibiu o desenvolvimento das plantas. O tipo de corte rente sem aplicação de produtos químicos foi eficiente para diminuir o surgimento de brotações em pata-de-vaca, mas não em sabiá. A mistura de 60 mM de $AlCl_3$ com 2,4-D + picloram a 1% foi eficiente para inibir o crescimento e desenvolvimento de brotações em ingá, sem ocorrência de efeitos residuais no solo. A solução de 2,4-D + picloram a 1% foi suficiente para inibir o crescimento e desenvolvimento de brotações em sabiá.

Palavras-chave: Toxicidade de alumínio. 2,4-D + picloram. Brotações.

ABSTRACT

MACHADO, Alessandra de Lima. **Aluminum and growth inhibitors in pruning management and in the development of species used in urban forest.** 2019. 112p. Tese (Doutorado em Fitotecnia). Institute of Agronomy, Department of Crop, Rural Federal University of Rio de Janeiro, Seropédica, RJ, 2019.

This work was carried out with the objective of developing pruning technique, associated or not to the use of growth inhibitors, that allows the reduction of the frequency of pruning in urban trees; to evaluate Al as an inhibitor of plant development and also to use this element to increase the efficiency of herbicides to reduce application rates. Four tree species of multiple uses were studied: *Schinus terebinthifolia*, *Bauhinia sp.*, *Inga sp.* and *Mimosa caesalpiniiifolia*. Seedlings of different genotypes of *S. terebinthifolia* were studied in a complete nutrient solution and with different doses of Al, aiming to identify morphological variables that indicate susceptibility or tolerance of the species to Al^{3+} , and to estimate genetic parameters associated to the susceptibility or tolerance character. In order to evaluate the toxicity of a formulation composed of the mixture of $AlCl_3$ with 2,4-D + picloram and the isolated action of $AlCl_3$ applied on the shoot, a field experiment was carried out with herbaceous species grown spontaneously and two at greenhouse with *Ageratum conyzoides* and *S. terebinthifolia*. After testing the products, three pruning experiments were carried out with the species *Bauhinia sp.*, *Inga sp.* and *M. caesalpiniiifolia*, aiming to evaluate the ability of sprout and survival of according to the type of cut and the use of $AlCl_3$, 2,4-D + picloram and the $AlCl_3$ mixture with 2,4-D + picloram. It was also evaluated the residual effect in the soil, after the use of $AlCl_3$ and 2,4-D + picloram applied in the aerial part of the *Inga sp.* plants. The results indicated that Al^{3+} caused a morphological alteration in the roots of the *S. terebinthifolia* genotypes. The variables root growth, root growth rate and relative root elongation were more appropriate to evaluate the toxic effects of Al in this species. $AlCl_3$ increased the control efficiency of the herbicide applied in *A. conyzoides* plants and when applied in an isolated way in the aerial part inhibited the development of the plants. Only the close cut without application of chemicals was efficient to diminish the emergence of sprouts in *Bauhinia sp.*, but not in *M. caesalpiniiifolia*. The mixture of 60 mM $AlCl_3$ with 2,4-D + picloram at 1% was efficient to inhibit the growth and development of *Inga sp.* sprouts without occurrence of residual effects in the soil. The solution of 2,4-D + picloram at 1% was sufficient to inhibit the growth and development of sprouts in *M. caesalpiniiifolia*.

Key words: Aluminum toxicity. 2,4-D + picloram. Epicormic shoots.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO GERAL	x
2. REVISÃO DA LITERATURA.....	2
2.1. Arborização urbana.....	2
2.2. Caracterização da espécies utilizadas nos estudos	3
2.2.1. <i>Schinus terebinthifolia</i> Raddi.	3
2.2.2 <i>Bauhinia</i> sp. L	3
2.2.3 <i>Inga</i> sp. Mill	4
2.2.4 <i>Mimosa caesalpinifolia</i> Benth.....	4
2.3 Atividade fitotóxica do alumínio e efeitos no crescimento e desenvolvimento de espécies arbóreas.....	5
2.4 Técnicas de avaliação de plantas quanto à tolerância ao Al.....	7
2.5 Efeitos da poda relacionados ao crescimento de brotações	8
2.6 Inibidores de crescimento.....	9
2.6.1 Ácido 2,4-Diclorofenoxiacético (2,4-D)	10
2.6.2 Ácido 4-amino-3,5,6-tricloro-2-piridinocarboxílico (picloram).....	11
CAPÍTULO I EFEITOS DO ALUMÍNIO NO CRESCIMENTO DE GENÓTIPOS DE AROEIRA (<i>Schinus terebinthifolia</i>).....	13
RESUMO	13
ABSTRACT.	13
3. INTRODUÇÃO.....	14
4. MATERIAL E MÉTODOS	15
4.1 Experimento 1 - Reação de genótipos de aroeira (<i>Schinus terebinthifolia</i>) ao Al.....	15
5 RESULTADOS.	18
6. DISCUSSÃO.....	32
7. CONCLUSÕES.....	38
CAPÍTULO II USO ASSOCIADO DE ALUMÍNIO E MOLÉCULAS HERBICIDAS NA INIBIÇÃO DO CRESCIMENTO VEGETAL.....	39
RESUMO	39
ABSTRACT.	39
8. INTRODUÇÃO.....	40
9. MATERIAL E MÉTODOS.....	41
9.1 Ensaio 1. Preparo de mistura de AlCl ₃ + 2,4-D + picloram.	41

9.2 Experimento 2. Uso associado de AlCl ₃ e 2,4-D + picloram no controle de plantas daninhas no campo.	42
9.3 Experimento 3 - Uso associado de AlCl ₃ e 2,4-D + picloram no controle de <i>Ageratum conyzoides</i> (mentrasto), em casa de vegetação.	45
9.4 Experimento 4 - Uso associado de AlCl ₃ e 2,4-D + picloram no controle de <i>Schinus Terebinthifolia</i> (aroeira), em casa de vegetação.	46
10 RESULTADOS.	47
10.1 Ensaio 1. Preparo de mistura de AlCl ₃ + 2,4-D + picloram	47
10.2 Experimento 2 - Uso associado de AlCl ₃ e 2,4-D + picloram no controle de plantas daninhas no campo.	48
10.3 Experimento 3 - Uso associado de AlCl ₃ e 2,4-D + picloram no controle de <i>Ageratum conyzoides</i> (mentrasto).	50
10.4 Uso associado de AlCl ₃ e 2,4-D + picloram no controle de <i>Schinus Terebinthifolia</i> (aroeira), em casa de vegetação.	54
11. DISCUSSÃO.	57
12. CONCLUSÕES.	61
CAPÍTULO III INIBIDORES DE CRESCIMENTO PARA O CONTROLE DE BROTAÇÕES APÓS PODA EM <i>Bauhinia sp.</i>, <i>Inga sp.</i> E <i>Mimosa caesalpinifolia</i>	62
RESUMO.	62
ABSTRACT.	62
13. INTRODUÇÃO.	63
14. MATERIAL E MÉTODOS.	64
14.1 Experimento 5. Avaliação de tipos de corte em poda e uso de inibidor de crescimento em <i>Bauhinia sp</i> (pata-de-vaca).	64
14.2 Experimento 6. Avaliação de tipo de corte em poda e uso de inibidor de crescimento em <i>Inga sp</i> (ingá).	65
14.3 Ensaio 2. Bioensaio com pepino (<i>Cucumis sativus</i>).	66
14.4 Experimento 7. Avaliação de tipo de corte em poda e uso de inibidor de crescimento em <i>Mimosa caesalpinifolia</i> (sabiá).	66
15 RESULTADOS.	67
15.1 Experimento 5. Avaliação de tipos de corte em poda e uso de inibidor de crescimento em <i>Bauhinia sp</i> (pata-de-vaca).	67

15.2 Experimento 6 - Avaliação de tipo de corte em poda e uso de inibidor de crescimento em <i>Inga sp.</i> (ingá).....	71
15.3 Ensaio 2. Bioensaio com pepino (<i>Cucumis sativus</i>).....	73
15.4 Experimento 7. Avaliação de tipo de corte em poda e uso de inibidor de crescimento em <i>Mimosa caesalpinifolia</i> (sabiá).....	76
16. DISCUSSÃO	79
17. CONCLUSÕES	82
18. CONCLUSÕES GERAIS.....	82
19. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.	84

1 INTRODUÇÃO GERAL

O plantio de espécies arbóreas tem ganhado destaque devido às urgências impostas pelas mudanças climáticas globais. Melhorias no ambiente urbano, recuperação de áreas degradadas e sequestro de carbono estão entre os objetivos relacionados aos plantios (KENNEY et al., 2011; ARMSON et al., 2012; McPHERSON et al., 2017; MESQUITA et al., 2017). Têm-se ainda uma crescente demanda por produtos florestais, resultando em substanciais aumentos das áreas de florestas plantadas (IBÁ, 2017; SNIF, 2017). Para o sucesso da exploração e manutenção em termos ambientais e econômicos, tal quais as espécies agrícolas, as espécies arbóreas necessitam de práticas corretivas e de disponibilização de nutrientes (SORREANO et al., 2013). Mesmo em espécies reconhecidamente resistentes ou tolerantes a estresses ambientais, como a toxicidade do alumínio (Al), a correção e adubação do solo podem promover benefícios ao seu desenvolvimento (HARIDASAN, 1986 e 2008).

O Al é um dos fatores mais limitantes ao crescimento vegetal em solos ácidos (KAMPRATH e FOY, 1985). Alguns estudos revelaram que esse elemento pode limitar o crescimento de espécies utilizadas em povoamentos florestais e na arborização urbana (KUMAR, 1981; BEUTLER et al., 2001; LEMOS et al., 2015; PRESOTTO et al., 2018). O sintoma mais evidente da toxicidade do Al é a inibição do crescimento radicular, sendo observadas mudanças na morfologia da raiz (GUPTA et al., 2013). Os efeitos provocados no sistema radicular resultam em alterações na absorção de nutrientes e de água, e na menor capacidade de exploração do solo (KOCHIAN, 2004). Não obstante, são reconhecidas espécies arbóreas que apresentam crescimento e desenvolvimento normais mesmo na presença de concentrações elevadas desse elemento. Algumas dessas espécies são consideradas acumuladoras de Al, concentrando quantidades significativas de Al em tecidos de parte aérea. Contudo, são ainda poucos os estudos com espécies arbóreas, nativas dos biomas brasileiros, que toleram condições de solo ácido com altos teores de Al (JANSEN et al., 2002; WATANABE e OSAKI, 2002; HARIDASAN, 2008; MOREIRA, 2016; SILVA, 2017).

Dada a grande variabilidade genética das espécies arbóreas e considerando a diversidade de condições edáficas, principalmente das regiões tropicais, as informações disponíveis sobre o comportamento das espécies no que diz respeito à nutrição mineral são ainda escassas. Com relação ao potencial fitotóxico do Al, as técnicas de seleção de tolerância são baseadas principalmente no cultivo das plantas em solução nutritiva contendo doses crescentes desse elemento, com posterior medição da inibição do crescimento radicular (HORST e KLOTZ, 1990) e da utilização de corantes específicos (JACOB NETO, 1993). Essa técnica permite a realização de estudos genéticos e caracterização de germoplasmas tolerantes ao Al.

Além das questões referentes à nutrição mineral, as árvores que compõe o espaço verde de ruas e praças apresentam condições especiais no que se refere à possibilidade de interferência no mobiliário urbano, redes de distribuição de energia elétrica e telecomunicações. Nesses casos, é comum a prática de podas como manejo da arborização (SEITZ, 1990; VELASCO, 2003). A poda, associada ao uso de inibidores de crescimento, pode ser um método eficiente para diminuir brotações (POLESE; 2013; LEMOS, 2015; MACHADO, 2015). Torna-se então possível o melhor aproveitamento dos benefícios gerados pela arborização, com diminuição dos custos de manutenção e dos riscos de interferências, principalmente nas redes de distribuição de energia elétrica.

A diminuição, ou mesmo a erradicação, de brotações é de interesse tanto no campo da arborização urbana como nas florestas plantadas para fins comerciais, por esta razão o uso de

um inibidor de crescimento como o AI foi avaliado no presente trabalho, podendo ser considerado como de pequeno impacto ao meio ambiente. Para a arborização urbana, um menor número de brotações pode aperfeiçoar os resultados dos processos de poda, proporcionando eficácia e maior intervalo entre as podas, bem como a diminuição de custos. A redução do crescimento da planta, devido à ausência ou menor vigor de brotações, nesse caso, deverá permitir a manutenção do plantio com menores riscos de intervenções das copas das árvores.

Machado (2015) verificou que o AI aplicado nos cortes após a realização da poda em *Bauhinia variegata* apresentou resultados favoráveis, com diminuição do número e vigor das brotações. Estima-se que o elemento exerça influência no metabolismo celular de maneira semelhante ao que ocorre em células de raízes. Estudos relativos a este tipo de técnica têm sido desenvolvidos no Laboratório de Química da Rizosfera do Departamento de Fitotecnia da UFRRJ, os resultados são ainda preliminares, porém mostram-se promissores (POLESE, 2013; LEMOS, 2015; MACHADO, 2015). Estudos básicos de suscetibilidade das espécies arbóreas à toxicidade do AI são necessários para identificação do possível efeito desse elemento no crescimento da planta. Posteriormente, poderão ser estabelecidas correlações entre o efeito inibidor do AI no crescimento e desenvolvimento de raízes e de parte aérea.

É bastante difundido o uso de herbicidas, com diferentes modos e mecanismos de ação, no controle de rebrota em espécies lenhosas e semi-lenhosas. Norman et al. (2003), utilizando o herbicida 2,4-D amina, e Silva et al. (2014) com o uso do glyphosate, comprovaram a eficiência do controle químico da rebrota em diferentes cultivares de algodoeiro. Polese (2013) avaliou o uso de picloram e da mistura de 2,4-D + picloram no controle de rebrotas de *Mimosa caesalpinieafolia*, seus resultados indicaram eficiência de controle. Apesar da comprovada eficiência de herbicidas no controle de rebrotas de espécies herbáceas e lenhosas, seu uso nem sempre é indicado ou possível, em função das questões ambientais pertinentes. No Brasil, a legislação vigente não permite o uso de herbicidas em áreas urbanas (ANVISA, 2010), por considerar os potenciais riscos ao ambiente e à população. Em perspectiva futura, a utilização de subdoses de herbicidas para o controle, e não erradicação, do crescimento de espécies lenhosas pode vir a ser uma técnica a ser utilizada na arborização urbana.

O presente trabalho foi realizado em etapas. Na primeira foi realizado um estudo do efeito do AI no crescimento inicial de genótipos de *Schinus terebinthifolia*, na segunda foi analisada a mistura de $AlCl_3$ com 2,4-D + picloram e a ação isolada do $AlCl_3$ no controle de plantas, posteriormente as soluções compostas pela mistura de $AlCl_3$ com 2,4-D + picloram e o $AlCl_3$ foram utilizadas para o controle do surgimento de brotações após a poda em *Inga* sp e *M. caesalpiniiifolia*.

2 REVISÃO DA LITERATURA

2.1 Arborização Urbana

Rodrigues et al. (2002) sintetizam a conceituação de arborização urbana ao descreverem que “entende-se por arborização urbana toda cobertura vegetal de porte arbóreo existente nas cidades”. Essa vegetação ocupa basicamente três espaços distintos: as áreas livres de uso público, as áreas livres particulares e as áreas que acompanhando o sistema viário. Internacionalmente, o termo mais utilizado é “*urban forest*”, enunciado como o conjunto de todas as árvores dentro das áreas urbanas (McPHERSON et al., 2017).

A presença das árvores no ambiente urbano, seja na forma de remanescentes ou fragmentos florestais, aglomerados ou ainda indivíduos isolados, pode ser a maior

proximidade da população com o meio ambiente natural e seus benefícios (MORERO et al., 2007; BARGOS e MATIAS, 2011). Diante das transformações sofridas pelas cidades, tanto no Brasil quanto no mundo, a necessidade de preservação ou introdução do componente arbóreo no ambiente urbano ganhou destaque. A atenção voltada para as áreas verdes das cidades se dá devido ao seu potencial de melhoria das condições ambientais (EDWARD et al., 2017; CARDOSO et al., 2017). No Brasil, o Plano Diretor da Arborização Urbana (PDAU) é um instrumento complementar ao Plano Diretor das Cidades, sendo uma exigência do Estatuto das Cidades – Lei 10.257 de 10 de julho de 2001. Esta legislação visa a gestão ambiental do território urbano.

Antes dos problemas ambientais vivenciados mundialmente nos últimos anos, a arborização urbana tinha como função o embelezamento das cidades (BARCENA et al., 2011). A dimensão que se toma hoje é de essencialidade para manutenção do equilíbrio ecológico, social e econômico. Atualmente, a arborização urbana deve ser gerida tendo em vista a diversificação de espécies para manter as diversidades biológica e genética, pois elas fundamentam a estabilidade, resistência e resiliência da comunidade vegetal diante de condições ambientais adversas (GALVIN, 1999; RAUPP et al., 2006; NAGENDRA e GOPAL, 2010; KENNEY et al., 2011; BOBROWSKI e BIONDI, 2016).

2.2 Caracterização das Espécies Utilizadas nos Estudos

2.2.1 *Schinus terebinthifolia* Raddi

Schinus terebinthifolia Raddi (sinonímia *Schinus terebinthifolius* Raddi) pertence à família Anacardiaceae. Sua ocorrência natural se dá nas regiões Sul, Sudeste, Centro-Oeste e Nordeste, nos domínios fitogeográficos do Cerrado, Mata Atlântica e Pampa. É típica de áreas de Restinga e compõe também os seguintes tipos de vegetação: Área Antrópica, Campo Limpo, Cerrado (*lato sensu*), Floresta Ciliar ou Galeria, Floresta Estacional Semidecidual, Floresta Ombrófila (Floresta Pluvial), Floresta Ombrófila Mista, Manguezal (SILVA-LUZ e PIRANI, 2015).

A espécie é popularmente conhecida como aroeira-da-praia, aroeira-de-remédio, aroeira-vermelha, aroeira-mansa e aroeira, entre outros (SILVA-LUZ e PIRANI, 2015). Possui hábito arbustivo ou arbóreo com crescimento rápido, podendo chegar a 15 m de altura e diâmetro de 50 – 60 cm (REITZ et al., 1983; SANCHOTENE, 1985). O fuste é geralmente curto e tortuoso e a copa arredondada, pouco densa e muito formosa, principalmente durante a floração (pequenos cachos de flores brancas) e frutificação (cachos de frutos globulosos, vermelhos) (REITZ et al., 1983). Seus principais usos e produtos são: recuperação de áreas degradadas, cerca-vivas, medicinal, cosmético, paisagismo, arborização urbana, alimentação humana e animal (BAGGIO, 1988; JOSÉ et al., 2005; MARCUZZO et al., 2015).

S. terebinthifolia é uma espécie pioneira que apresenta alta capacidade de rebrota e elevada aptidão de ocupação de áreas degradadas (BAGGIO, 1988). Por possuir intensa capacidade reprodutiva pode se tornar uma espécie invasora, principalmente fora de suas regiões de origem (SANCHOTENE, 1985; BAGGIO, 1988). É considerada uma espécie com potencial invasor em pastagens (SANTOS et al., 2006).

2.2.2 *Bauhinia* sp. L.

O gênero *Bauhinia* pertence à família Fabaceae (Leguminosae), subfamília Caesalpinioideae. Espécies desse gênero ocorrem em todas as regiões brasileiras, nos domínios fitogeográficos da Amazônia, Caatinga, Cerrado, Mata Atlântica, Pampa e Pantanal. O tipo de vegetação é de ocorrência em Áreas Antrópicas, Caatinga (*stricto sensu*), Campo Limpo, Campo Rupestre, Carrasco, Cerrado (*lato sensu*), Floresta Ciliar ou Galeria, Floresta de Terra Firme, Floresta de Várzea, Floresta Estacional Decidual, Floresta Estacional

Semidecidual, Floresta Ombrófila (Floresta Pluvial), Floresta Ombrófila Mista, Palmeiral e Restinga. As espécies desse gênero têm formas de vida arbóreas, arbustivas, subarbustivas e lianas. São 61 espécies nativas do Brasil, sendo 31 endêmicas, 2 subespécies e 6 variedades (VAZ, 2015).

As espécies do gênero *Bauhinia* são popularmente conhecidas como pata-de-vaca, pata-de-boi, unha-de-vaca e bauínia. Os nomes populares fazem referência às folhas que são fendidas no meio formando dois lobos ou folíolos, de forma que se assemelham a uma pata de bovino (LUSA e BONA, 2008). São muito utilizadas na arborização urbana e no paisagismo devido ao porte médio (5 a 7 m de altura) e aspecto ornamental da copa e das flores (LUSA e BONA, 2008, CARVALHO, 2003). As plantas são hermafroditas, com flores vistosas, de coloração branca ou rosa com pétalas de até 9 cm de comprimento (CARVALHO, 2003). No Brasil, muitas espécies de *Bauhinia* são utilizadas com fins medicinais (NOGUEIRA e SABINO, 2012), algumas se destacam devido as suas propriedades antifúngicas, antibacterianas e anti-inflamatórias (DOMINGOS e CAPELLARI JÚNIOR, 2016). Suas folhas são utilizadas como alimentação animal e as espécies utilizadas no paisagismo urbano apresentam aspectos ecológicos e interações com polinizadores que favorecem a manutenção de populações de abelhas (NASCIMENTO et al., 2005).

2.2.3 *Inga sp.* Mill.

O gênero *Inga* pertence à família Fabaceae (Leguminosae - Mimosoideae). Possui cerca de 300 espécies lenhosas, higrófitas, com ocorrência em florestas tropicais e subtropicais, do sul do México até o Uruguai (PENNINGTON, 1997). No Brasil são descritas 132 espécies, sendo 51 endêmicas e 10 subespécies, 3 destas endêmicas. O maior número de endemismos foi encontrado para a Mata Atlântica (GARCIA 1998; GARCIA, 2015). As espécies estão distribuídas em todas as regiões brasileiras, nos domínios fitogeográficos da Amazônia, Caatinga, Cerrado, Mata Atlântica e Pantanal. Ocorrem nos seguintes tipos de vegetação: Área Antrópica, Campinarana, Campo Rupestre, Cerrado (lato sensu), Floresta Ciliar ou Galeria, Floresta de Igapó, Floresta de Terra Firme, Floresta de Várzea, Floresta Estacional Decidual, Floresta Estacional Semidecidual, Floresta Ombrófila (Floresta Pluvial), Floresta Ombrófila Mista, Restinga, Vegetação Sobre Afloramentos Rochosos (GARCIA, 2015).

As espécies do gênero *Inga* são facilmente reconhecidas pelas folhas pinadas e pela polpa branca que envolve as sementes, com notável uniformidade de morfologia (LÉON, 1966). O hábito de crescimento pode ser arbustivo ou arbóreo, podendo atingir de 15 a 20 m de altura em locais abertos e até 40 m dentro de florestas (FALCÃO e CLEMENT, 2000). As espécies são tradicionalmente utilizadas no sombreamento de café e cacau (BILIA et al., 2003). Por serem plantas que se associam com bactérias fixadoras de nitrogênio e terem rápido desenvolvimento são muito utilizadas em reflorestamentos, recuperação ambiental e na arborização urbana. São também utilizadas na alimentação animal e humana (NOGUEIRA, 1977; BILIA et al., 2003; MARCUZZO et al., 2015).

2.2.4 *Mimosa caesalpiniiifolia* Benth.

Mimosa caesalpiniiifolia Benth., família Fabaceae (Leguminosae - Mimosoideae) é uma espécie endêmica do Brasil com distribuição geográfica em todas as regiões do país. É típica de vegetações de Caatinga (*stricto sensu*), Cerrado (*lato sensu*) e Floresta Ombrófila (Floresta Pluvial) (DUTRA e MORIN, 2015). Ocorre nos domínios fitogeográficos da Caatinga, Amazônia, Cerrado e Mata Atlântica. A espécie é popularmente conhecida como unha-de-gato, no estado do Piauí (CNC FLORA, 2012) e como sansão-do-campo ou sabiá, em diversas regiões (CARVALHO, 2007; GONÇALVES et al., 2010; DUTRA e MORIN, 2015).

Trata-se de uma espécie de hábito arbustivo ou arbóreo, perenifolia, podendo atingir dimensões de 10 m de altura e 30 cm de diâmetro à altura do peito (DAP). Em geral, o tronco e os ramos são dotados de acúleos, sendo encontrados também exemplares inermes. A copa é espalhada e pouco densa com muitas ramificações. As folhas são compostas, bipinadas e alternas, constituídas por quatro a seis folíolos. Apresenta látex branco nos ramos e nas folhas jovens. É uma espécie monóica com inflorescências em espigas cilíndricas, as flores são brancas e com perfume suave (RIZZINI, 1976; CARVALHO et al., 1999; CARVALHO, 2007).

M. caesalpiniifolia pertence ao grupo ecológico das espécies pioneiras e ocorre tanto em formações primárias como secundárias. Desenvolve-se naturalmente em solos de textura arenosa. É pouco exigente em fertilidade e unidade, o que facilita o seu plantio em áreas degradadas (CARVALHO, 2007). Relata-se, contudo, que a espécie responde à adubação nos casos de solos muito degradados e de baixa fertilidade (RIBASKI et al., 2003; MARQUES et al., 2006; GONÇALVES et al., 2010).

Essa espécie apresenta crescimento rápido e rebrota vigorosa. Em geral, a brotação tem início a partir de 7 dias após o corte do tronco. O número de brotos pode ser superior a 12 por toco (DRUMOND et al., 1999; RIBASKI et al., 2003; CARVALHO et al., 2004). O sabiá é muito cultivado devido a sua rusticidade e incremento rápido em crescimento. Seus principais produtos e usos são: celulose e papel, carvão vegetal, estacas, mourões e varas, alimentação animal, apícola, medicinal para o tratamento de bronquite e ferimentos, cercas vivas, paisagismo, recuperação e restauração ambiental (AUGUSTO e SOUZA, 1995; DRUMOND et al., 1999; RIBASKI et al., 2003; CARVALHO et al., 2004; BARBOSA et al., 2008).

O plantio do sabiá é recomendado para revegetação de áreas degradadas (FARIA e CAMPELLO, 2000). As raízes associam-se a bactérias do gênero *Rhizobium* originando um grande número de nódulos responsáveis pela fixação de nitrogênio (DÖBEREINER, 1994). Também foi relatada a associação com fungos vesículo-arbusculares que favorecem a absorção de fósforo (MENDES, 1989).

O uso de cercas vivas é uma importante estratégia para utilização de espécies arbóreas em sistemas produtivos, principalmente no caso de pequenas propriedades, fornecendo diversos serviços ecossistêmicos (CHAVES, 2016). O sabiá é bastante utilizado para este fim em áreas urbanas e peri-urbanas, fazendo parte da composição paisagística (BARBOSA et al., 2008).

2.3 Atividade Fitotóxica do Alumínio e Efeitos no Crescimento e Desenvolvimento de Espécies Arbóreas

O Al é o terceiro elemento mais abundante da crosta terrestre (depois do oxigênio (O) e do silício (Si)), representando aproximadamente 8% do seu conteúdo em peso (ROSSIELO e JACOB NETO, 2006). A especiação do Al depende do pH e do ambiente químico da solução (KISNIERIENÉ e LAPEIKAITĖ, 2015). O efeito tóxico das diferentes formas do Al no crescimento da planta diminui na seguinte ordem: Al^{3+} , $Al(OH)^{2+}$, $Al(OH)_2^+$, $Al(OH)_3$, $Al(OH)_4^-$. Em valores reduzidos de pH, abaixo de 4,3, predomina o Al trivalente (forma hexahidratada – $Al(H_2O)_6^{3+}$), considerada a sua forma mais tóxica. Em contraste, o Al precipitado ou quelado em compostos orgânicos não é tóxico para plantas (NOGUEIRO et al., 2015).

Solos ácidos possuem valor de pH em torno de 5,5, ou inferior, e ocorrem majoritariamente em regiões tropicais e subtropicais, onde a acidificação é um processo natural. Constituem aproximadamente 30% da área total do planeta e 50% das terras aráveis (SADE et al., 2016). São caracterizados por deficiência em nutrientes e toxicidade por metais, como manganês (Mn), ferro (Fe) e Al. Sendo que, a toxicidade por Al é o principal fator que

limita o crescimento das plantas nestes solos (KOCHIAN et al., 2004; GUPTA et al., 2013; BOSE et al., 2015). Desta forma, a diminuição do pH do solo é potencialmente prejudicial em termos de susceptibilidade das plantas à toxicidade do Al, devido ao aumento de sua solubilidade (LIN e WU, 1994). Além de fatores naturais (material de origem e pedogênese, p. ex.) a acidificação dos solos pode ocorrer por alterações antropogênicas. A lixiviação, que promove a perda de cátions, tais como Na^+ , K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} , por exemplo, é um processo natural que pode ser intensificado por desmatamentos e práticas agrícolas inadequadas. A acidificação também ocorre por contaminação ambiental, através do uso de fertilizantes e substâncias acidificantes, bem como o uso de fontes de energia fóssil. O uso de carvão mineral como fonte de energia é mundialmente reconhecido na formação de chuvas ácidas, importante fator de acidificação dos solos. A queima do carvão libera dióxido de nitrogênio (NO_2) e dióxido de enxofre (SO_2) para a atmosfera que, na presença de agentes oxidantes, dão origem ao ácido nítrico (HNO_3) e ácido sulfúrico (H_2SO_4), promovendo a formação de chuva ácida (KRUG e FRINK, 1983; GUO et al., 2010).

As pesquisas relacionadas ao Al em ecossistemas florestais tiveram início com o intuito de identificar as causas da degradação das florestas da América do Norte e da Europa em função de chuvas ácidas. Trabalhos iniciais foram realizados em casas de vegetação para avaliar a tolerância das espécies arbóreas a diferentes níveis de Al (NOSKO et al. 1988; JOSLIN e WOLF, 1989; DEWALD et al. 1990; KUHN et al. 1995). Em 1988, Godbold *et al.* indicaram a acidificação do solo e altas concentrações de Al trocável como maior causa de declínio de florestas na Alemanha. Kreutze e Weiss (1998) realizaram estudos com chuva ácida artificial em áreas de florestas na Noruega e na Suécia, buscando simular condições de campo com o uso de irrigação. Os resultados destes trabalhos não apresentaram indicações claras em relação à toxidez do Al, indicando apenas, em alguns casos, a ocorrência de deficiência de Mg. De forma semelhante, no sul da Alemanha, a irrigação ácida causou diminuição no crescimento da raiz, mas não houve correlação com a concentração de Al ou a razão molar entre Ca e Al na solução do solo, e sim, com altas concentrações de H^+ na água de irrigação (HAHN e MARSCHNER, 1998), embora seja muito difícil separar estes efeitos. Nesta mesma área experimental, Wissmeier et al. (1998), concluíram que para avaliar o suplemento de Al, em condições de campo, a formação de calose é um parâmetro mais sensível que o comprimento da raiz. Estes trabalhos tiveram condições experimentais, espécies e objetivos distintos, não há, portanto um padrão nos resultados obtidos. Pode-se, contudo, concluir que o Al afeta as espécies arbóreas de formas diferentes conforme diferenças nas condições experimentais e da diversidade de espécies.

Uma pesquisa diferenciada teve início na Noruega no ano de 1996, quando os pesquisadores passaram a investigar em campo os efeitos de concentrações crescentes de Al no solo de uma floresta natural (WIT et al., 2001). As concentrações de Al na solução do solo foram manipuladas por adições periódicas de AlCl_3 diluído na água de irrigação. Após 3 anos de manipulação os autores verificaram que o crescimento das árvores e o desenvolvimento de raízes finas não foram afetados pelas concentrações potencialmente tóxicas de Al. Houve diferença nos teores de Mg e na relação Mg/Al nos tecidos das raízes. Em continuidade a este trabalho, Eldhuset et al. (2006) publicaram os resultados da pesquisa para a espécie *Picea abies* (L.) Karst. A adição de AlCl_3 foi realizada no período de 1997-2002. O Al não provocou mudanças significativas na biomassa de raízes finas, houve aumento da concentração de Al nas raízes e diminuição da relação Mg/Al.

Rehmus et al. (2014) estudaram níveis críticos de toxidez do Al em plântulas de 3 espécies de floresta tropical. Os resultados indicaram que os níveis de toxidez para estas espécies é maior do que os encontrados em camadas de lixiviados orgânicos presentes na área de estudo. Estudos recentes desenvolvidos na UFRRJ indicam que o Al pode limitar o crescimento de espécies importantes para a indústria e para a arborização urbana. Níveis

críticos de Al foram encontrados para *Delonix regia* (POLESE, 2013), *Anacardium othonianum* (VASCONCELOS FILHO, 2014) e *Bauhinia variegata* (MACHADO, 2015), *S. terebinthifolia* (MEZZAVILLA, 2016) e *Anadenanthera macrocarpa* (MENDONÇA, 2016).

O sintoma inicial de toxicidade de Al é a inibição do alongamento das raízes (DELHAIZE e RYAN, 1995). Por se um elemento altamente reativo, existem inúmeros mecanismos de toxicidade de Al envolvendo a parede celular (JONES et al., 2006; ZHANG et al., 2007) e membrana plasmática, onde pode modificar sua estrutura, bem como o meio iônico próximo à parede, e ambos podem interferir no transporte de íons e causar desequilíbrio nutricional (BOSE et al., 2011). Além disso, o Al pode afetar os componentes do simplasto (TOKIZAWA et al., 2015), e apoplasto (ETICHA et al., 2005; DELHAIZE et al., 2007) e afetar a replicação de DNA em células de raízes (KOCHIAN et al., 2004; SADE et al., 2016).

Apesar de o efeito do Al ser visualizado primeiramente no ápice da radicular, o mecanismo da inibição do crescimento induzido por Al é ainda controverso (KOCHIAN, 1995; TAYLOR, 1995; SIVAGURU et al., 1999). Recentemente, Kopittke et al. (2015) relataram que, imediatamente após a exposição ao Al, ocorre sua ligação às paredes celulares externas da superfície radicular, assim, concluem que a lesão primária do Al é apoplástica.

Tóxico para a maioria das plantas, há uma série de sintomas causados por toxicidade do Al associados a mudanças graves no sistema radicular (KOPITTKKE e BLAMEY, 2016; SADE et al., 2016). O Al interfere na divisão celular das células do ápice da raiz principal e nas raízes laterais, aumenta a rigidez da parede celular através da reticulação de pectinas e reduz a replicação de DNA por causar rigidez na dupla hélice (ZHANG et al., 2014; EEKHOUT et al., 2017). Além disso, o Al induz uma série de alterações relativas à divisão celular, localização e expressão de proteínas nucleolares (ZHANG et al., 2014). Provoca também a diminuição da respiração das raízes, interfere com enzimas que regem a deposição de polissacarídeos em paredes celulares, diminui a síntese e o transporte de citocininas e modifica a estrutura e a função das membranas plasmáticas, o que interfere diretamente na absorção, transporte e uso de múltiplos nutrientes (Ca, Mg, P e K). Provoca também diminuição da absorção de água. (FOY et al., 1978; KOCHIAN et al., 2004; MATTIELLO et al., 2008).

Pela sua expressiva presença nos solos, o Al pode ser facilmente verificado em quase todas as formas de vida (POSCHENRIEDER, 2008). Contudo, apesar de estar presente e disponível durante o ciclo de vida das plantas, o Al não possui reconhecida função biológica (FOY et al., 1978; POSCHENRIEDER et al., 2008; SCHMITT et al., 2016). O poder fitotóxico do Al decorre da atividade de suas espécies iônicas na interface raiz-solução e não necessariamente de sua concentração solúvel total, havendo para cada espécie menor ou maior grau de fitotoxicidade (ROSSIELO e JACOB NETO, 2006).

Atualmente, há pesquisas voltadas à investigação de possíveis efeitos benéficos do Al no crescimento e metabolismo das plantas. Estas pesquisas são realizadas majoritariamente com espécies arbóreas adaptadas a solos ácidos (OSAKI et al., 1997; HAJIBOLAND et al., 2013; REHMUS et al., 2014). Existem também resultados para culturas agrícolas de importância econômica, como o arroz (*Oryza sativa*) e milho (*Zea mays*) (WATANABE et al., 1997; FAMOSO et al., 2011; WANG et al., 2015; MORENO-ALVARADO et al., 2017).

A maioria das plantas é sensível ao Al mesmo em baixas concentrações. No entanto, existem algumas espécies que acumulam quantidades significativas de Al nas folhas (JANSEN et al., 2002; WATANABE e OSAKI, 2002; HARIDASAN, 2008). Assim, as espécies vegetais são classificadas como sensíveis, resistentes ou tolerantes ao Al. Plantas sensíveis são aquelas que apresentam efeitos negativos da toxicidade do Al em seu metabolismo e desenvolvimento. Aquelas que crescem e se desenvolvem normalmente na

presença do Al, ou sem grandes prejuízos metabólicos, são chamadas de resistentes ou tolerantes. Os mecanismos de tolerância ao Al são descritos em duas classes principais: aqueles que atuam no sentido de impedir a entrada do Al pela raiz – plantas resistentes; e aqueles que permitem à planta acumular o Al em locais específicos – plantas tolerantes. A principal diferença entre eles é o local de resposta ao Al: apoplasto ou simplasto (Kochian et al, 2004).

2.4 Técnicas de Avaliação de Plantas quanto à Tolerância ao Al

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 e RYAN, 1995). Neste método é possível uma rápida obtenção de resultados, além do controle das variáveis não experimentais o que aumenta a precisão de testes de toxicidade e de estudos de fisiologia e nutrição (SPEHAR, 1994). Vários fatores, tais como pH, composição iônica e disponibilidade de elementos trocáveis, influenciam na disponibilidade e efeitos do Al, o que dificulta os estudos da toxicidade em condições não controladas. Assim, a solução nutritiva torna-se uma alternativa viável e eficiente (MAGNAVACA, 1991).

Estudos foram conduzidos no sentido de avaliar a correspondência entre os resultados obtidos nas avaliações da identificação da tolerância ao Al, de culturas agrícolas, em testes de campo e em solução nutritiva, sendo constatada a correspondência entre os resultados (SPEHAR, 1989; CAMPBELL e CARTER JUNIOR, 1990).

Dentre as vantagens do uso de solução nutritiva, pode-se destacar 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. Pavan et al. (1982), constataram que a diluição da concentração da solução de Hoagland e Arnon, reduz a concentração de íons que formam pares iônicos com o Al. Neste sentido, Jacob Neto (1993) e Rossiello e Jacob Neto (2006), relataram que solução nutritiva em alta concentração iônica reduz a fitotoxicidade do Al devido às interações físico-químicas estabelecidas entre este e outros íons presentes na solução. Tal observação levou à formulação de soluções salinas, de baixa força iônica, a partir da dissolução de cloretos de Ca e Al em meio ácido, reduzindo a precipitação do Al. Considerando o comportamento das espécies iônicas de Al, foi descrito que o poder fitotóxico da solução é maximizado em valores de pH próximos a 4,0 (ROSSIELLO e JACOB NETO, 2006).

2.5 Efeitos da Poda Relacionados ao Crescimento de Brotações

A poda é o principal manejo das árvores em espaço urbano. Para muitas espécies a rápida rebrota de ramos laterais e a deformação da copa são processos indesejáveis, por questões econômicas e práticas. Neste contexto, os processos de regulação hormonal e dominância apical, desencadeados pelo corte dos galhos, são de grande interesse (KERR e HARMER, 2001; DEAL et al., 2008).

As brotações que se verificam após o processo de poda podem estar relacionadas à produção de etileno e estimulação de gemas em fase de dormência (MURPHY e LUGO, 2003). Segundo Taiz e Zeiger (2004), com a dominância apical o eixo central da planta apresenta maior crescimento que os ramos laterais, e estes possuem crescimento dominante em relação aos ramos deles emergentes. Ocorre baixo ou menor desenvolvimento das gemas laterais. A auxina, cujo principal local de síntese é a gema apical e é transportada de modo polar para as raízes, é o hormônio que promove a regulação da dominância apical. O crescimento das gemas laterais é inibido pela presença da auxina. Os meristemas dos ápices das raízes são as regiões de maior síntese de citocininas livres. Estas são transportadas passivamente a partir das raízes até a parte aérea através do xilema. A citocinina inibe o

crescimento e a divisão celular das raízes, promovem o crescimento das gemas laterais e modificam a dominância apical. A auxina faz do ápice caulinar um dreno para a citocinina produzida na raiz. Com a retirada, pela poda, da gema apical, ocorre maior concentração de citocinina nas gemas laterais ocasionando o seu desenvolvimento. A presença de auxina no ápice caulinar também regula a biossíntese de giberelina, além de causar um decréscimo na capacidade de resposta do alongamento do caule à presença deste hormônio. As giberelinas estimulam o crescimento do caule por promoverem o alongamento e a divisão celular (TAIZ e ZEIGER, 2004).

De acordo com Lacher (2000), após a poda ocorre alta estimulação de gemas dormentes resultando em maior produção de biomassa de galhos e folhas. O crescimento de gemas dormentes pode estar relacionado ao ABA. Quando o ápice caulinar é retirado a concentração de ABA nas gemas dormentes diminui, o que pode provocar o seu desenvolvimento (TAIZ e ZEIGER, 2004). Piza Júnior (1994) e Simão (1998) relataram que quanto mais severa for a poda, maior será o vigor das brotações.

2.6 Inibidores de Crescimento

De acordo com Rademacher (2000), os inibidores ou retardantes de crescimento vegetal são compostos sintéticos utilizados para reduzir o crescimento indesejável da parte aérea das plantas, sem que ocorra diminuição de sua produtividade. Mudanças estruturais ocorridas na planta, por ação de inibidores de crescimento, estão associadas a alterações metabólicas (MARTINS et al., 1999). Herbicidas como o 2,4-D e glyphosine (antecessor do glyphosate), foram inicialmente utilizados em baixas concentrações, como reguladores de crescimento, apresentando-se eficientes na estimulação da síntese de auxina (HALTER, 2009).

Herbicidas são compostos químicos que interferem no crescimento das plantas visando o seu controle, podendo influenciar vários processos metabólicos. O uso de herbicidas auxilia na condução de plantio agrícolas e na produção de forrageiras, eliminando de maneira eficiente os efeitos negativos da matocompetição. No entanto, o seu uso pode causar danos ao meio ambiente e à saúde animal e humana (VIEIRA et al., 1999).

O comportamento do herbicida no ambiente depende das características química, físicas e biológicas do solo e está relacionado às suas propriedades físico-químicas. Estas características são: coeficiente de partição octanol-água (Kow), constante de equilíbrio de ionização ácido (pKa) ou base (pKb), constante da lei de Henry (H), solubilidade em água (Sw), pressão de vapor (P), e a meia-vida (Dt) (OLIVEIRA e BRIGHENTI, 2011). O Dt é o tempo (em dias) necessário para que metade da concentração total seja degradada, independentemente da sua concentração inicial do herbicida no solo. É um indicador da persistência de um herbicida no solo. A degradabilidade de um herbicida, geralmente expressa pela meia-vida, é muito variável, podendo ser em dias, meses ou anos. Assim, a meia-vida de um herbicida deve ser determinada em condições normais de uso, na região em que o composto orgânico será utilizado.

A primeira lesão bioquímica ou biofísica que o herbicida causa na planta caracteriza o seu mecanismo de ação. A sequência completa de reações, que ocorrem do contato com a planta até a ação final do produto, caracteriza o seu modo de ação (SILVA e SILVA et al, 2007). Tanto o 2,4-D quanto o picloram são classificados quanto ao mecanismo de ação como reguladores de crescimento (auxinas sintéticas). Da classe dos herbicidas auxínicos (ou mimetizadores de auxina), são sistêmicos, seletivos para plantas de folhas largas e de aplicação em pós-emergência.

As plantas tratadas com o herbicida, em geral, exibem má formação das folhas, hastes e raízes. Afeta o seu metabolismo por estimular sínteses nucleicas e de proteínas, influenciando a atividade enzimática, respiração e divisão celular. Frequentemente, as células no floema de plantas tratadas com o produto são destruídas ou desconectadas, interferindo no

transporte de nutrientes e água (MULLISON, 1987). São provocados distúrbios no metabolismo dos ácidos nucleicos, aumentando assim a atividade enzimática e a destruição do floema. Também são provocados alongamento celular, turgescência e rompimento das células (CARMO et al., 2008). Em consequência desses efeitos, as plantas apresentam como sintomas de intoxicação a epinastia das folhas, retorcimento do caule, engrossamento das gemas terminais e destruição do sistema radicular.

De acordo com Silva (2007), os herbicidas auxínicos 2,4-D e picloram são aplicados em pós-emergência, ou seja, diretamente sobre a parte aérea da planta, assim as folhas são a principal via de penetração. Além da sensibilidade da planta à molécula herbicida ou aos seus metabólicos, a atividade do herbicida é função da sua absorção, translocação e metabolismo. Para facilitar ou otimizar a penetração do herbicida na folha, as fórmulas comerciais são preparadas com o uso de surfactantes que melhoram a sua penetração. A translocação do 2,5-D ocorre pelo xilema e pelo floema, sendo espalhado rapidamente por toda a planta e não ocorre acumulação na raiz. Já o picloram pode ser acumulado nas raízes em baixas concentrações. De maneira geral, o 2,4-D é mais ativo que picloram, porém este apresenta alta estabilidade na planta e consequentemente possui maior tempo de ação.

2.6.1 Ácido 2,4-Diclorofenoxiacético (2,4-D)

O ácido 2,4-diclorofenoxiacético (2,4-D) é largamente utilizado em todo o mundo, e um dos mais utilizados no Brasil, para o controle de uma variedade de ervas daninhas em culturas de cereais, cana-de-açúcar, pomares, pastagens, gramados e em controle florestal (SILVA et al., 2006).

2,4-D é um composto orgânico sintético que possui massa molar de 224,01g/mol, dois átomos de cloro nas posições 2 e 4 do anel aromático e ligado ao carbono alfa do ácido acético conforme a Figura 1. É um ácido fraco e em meio aquoso permanece na forma desprotonada. Dependendo do pH e dos componentes químicos da solução, a molécula de 2,4-D pode ficar disponível para reagir com outros elementos, formando conjugados menos ativos (AMARANTE JUNIOR, 2002; SILVA et al., 2007). É comercializado em formulações de sais, amina e éster. Tem solubilidade de 600 mg L⁻¹, pKa de 2,8; o Koc é de 100 mg g⁻¹ de solo para formulações ésteres e de 20 mg g⁻¹ de solo para formulações com sais ou ácidos. Os sais do 2,4-D são formulados como soluções aquosas.

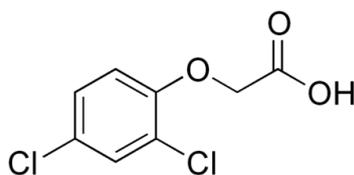


Figura 1. Fórmula estrutural do 2,4-D

O 2,4-D puro é branco e pode ser inodoro ou ter um aroma fenólico. Pode apresentar comercialmente a forma flocos, pó, pó cristalino ou material maciço. É um composto estável com ponto de fusão entre 135 - 142 °C. O herbicida forma sais solúveis em água com metais alcalinos e aminas. Em geral, são adicionados agentes sequestrantes para evitar a precipitação de sais de cálcio e de magnésio na água dura. O composto é solúvel na maioria de solventes orgânicos, porém, é insolúvel em óleos de petróleo e benzeno (EPA, 1988; WALTERS, 1991).

Não é recente a larga aplicação do 2,4-D, pertencente à classe dos ácidos fenoxiacéticos. Ele é conhecido por ter formado o “agente laranja”, usado pela força aérea norte-americana na guerra do Vietnã como agente desfolhante, junto com o ácido 2,4,5-

triclorofenoxiacético (2,4,5-T) e o pentaclorofenol (PCF). Deste então, o 2,4-D vem substituindo a capina manual e mecânica. Embora o herbicida seja comercializado desde a década de 1940, ainda existem ausências de informações relativas aos efeitos à saúde humana e riscos ao ambiente. É classificado pela Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA) como um herbicida hormonal de toxicidade II. Igual classificação é dada pela Organização Mundial de Saúde (World Health Organization - WHO) e pela Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos (United States- Environmental Protection Agency – US-EPA) (RODRIGUES e SERRA, 1996; KAMRIN, 1999; VIEIRA et al., 1999; ANVISA, 2017).

O herbicida tem ação pós-emergente e sua eficiência é otimizada quando aplicado em fase de intensa atividade metabólica da planta. Sua translocação pode se dar tanto pelo floema quanto pelo xilema, sendo acumulado nas regiões meristemáticas dos pontos de crescimento. Durante a fase de florescimento, ou quando a planta está mais velha, a ação deste herbicida é reduzida (EPA, 1988; MULLISON, 1987; SILVA et al., 2007). O 2,4-diclorofenol (2,4-DCF) é o principal produto de degradação do herbicida 2,4-D (Amarante Junior, 2003) (Figura 2).

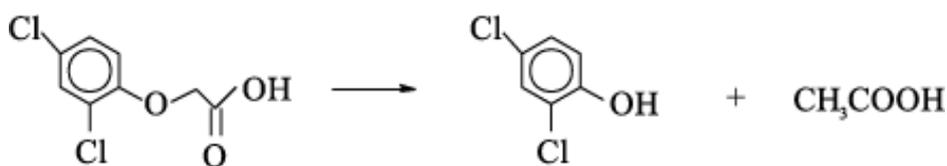


Figura 2. 2,4-D e seu principal produto de degradação 2,4-DCF

O comportamento do 2,4-D no ambiente é caracterizado pela solubilidade em água, composto hidrofílico, tende a não adsorção no solo e apresenta D_t média ou curta. A volatilização no ar é considerada insignificante para a maioria de suas formulações à exceção dos ésteres de alta volatilidade. Possui relativa mobilidade, contudo, pode sofrer degradação microbiana e possivelmente não sofre lixiviação (MACHADO, 2004; SILVA et al., 2007). No entanto, segundo Pernak et al. (2012), apesar da meia-vida curta no solo e em ambientes aquáticos, o composto foi detectado em fontes de água subterrânea na Polônia e também em águas superficiais em todo os Estados Unidos.

2.6.2 Ácido 4-amino-3,5,6-tricloro-2-piridinocarboxílico (picloram)

O ácido 4-amino-3,5,6-tricloro-2-piridinocarboxílico (picloram) é um herbicida sistêmico pertencente ao grupo químico dos ácidos piridinocarboxílicos. É utilizado para controle de plantas lenhosas e plantas herbáceas de folha larga, em mistura com o 2,4-D para pastagens ou isoladamente em culturas como arroz, cana-de-açúcar e trigo. Possui longo período residual, aumentando os riscos de contaminação do solo e água, além de outras culturas cultivadas em sucessão ao seu uso (FAIRCHILD et al., 2009; FAO, 2012; MAPA, 2014; MACIEL et al., 2013).

O picloram é extremamente ativo em dicotiledôneas. Apresenta longa persistência no solo, com meia vida de 90 dias, podendo ser encontrado até dois ou três anos após a aplicação em área total (MACIEL et al., 2013). Pela persistência no solo pode inviabilizar a rotação de culturas (FAIRCHILD et al., 2009; CHEN et al., 2010). Possui alta solubilidade em água, pK_a 2,3; K_{ow} 1,4 a pH 7,0 e 83,2 a pH 1; e K_{oc} médio de 16 mL g⁻¹ de solo (SILVA et al., 2007). Na Figura 3 é apresentada a sua fórmula estrutural.

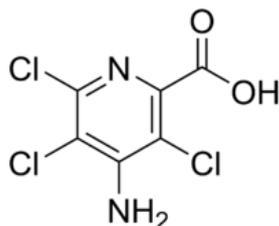


Figura 3. Fórmula estrutural do Picloram.

Por apresentar longa persistência e baixo Koc é muito lixiviado, sendo considerado um herbicida com alto potencial de contaminação de águas subterrâneas (CELIS et al., 2002; INOUE et al., 2003; MARCO-BROWN et al., 2014). É classificado pela ANVISA como um herbicida hormonal de toxicidade I.

A mistura formulada 2,4-D + picloram é uma das mais utilizadas no controle de plantas consideradas daninhas em pastagens. A mistura dessas moléculas resulta em um herbicida seletivo para gramíneas que controla uma ampla gama de espécies de folha larga, herbáceas, arbustivas ou arbóreas (RODRIGUES e ALMEIDA, 2011; POLESE, 2013).

Este trabalho foi composto por três capítulos. No primeiro foi realizado um estudo com o objetivo de avaliar os efeitos do Al no crescimento e desenvolvimento inicial de genótipos de *Schinus terebinthifolia* e analisar se há variabilidade genética na resposta à toxicidade do Al para essa espécie. No segundo, foram realizados estudos com o objetivo de avaliar a formulação composta pela mistura de $AlCl_3$ com 2,4-D + picloram e a ação isolada do $AlCl_3$ na inibição do crescimento de plantas. Em condições de campo foram utilizadas espécies herbáceas que cresceram espontaneamente na área experimental, e em casa de vegetação as espécies *Ageratum conyzoides* e *S. terebinthifolia*. Já no terceiro capítulo foram realizados três experimentos de poda com as espécies arbóreas *Bauhinia sp.*, *Inga sp.* e *M. caesalpiniifolia* objetivando avaliar a capacidade de rebrota e sobrevivência das brotações em função do uso de $AlCl_3$, 2,4-D + picloram e da mistura de $AlCl_3$ com 2,4-D + picloram. Também foi avaliado o efeito residual no solo, após o uso de $AlCl_3$ e 2,4-D + picloram aplicados na parte aérea das plantas de *Inga sp.*

CAPÍTULO I

EFEITOS DO ALUMÍNIO NO CRESCIMENTO DE GENÓTIPOS DE AROEIRA (*Schinus terebinthifolia*)

RESUMO

A espécie arbórea *Schinus terebinthifolia*, conhecida popularmente como aroeira, possui grande plasticidade ecológica e ocorre em todo ambiente litorâneo de domínio da Mata Atlântica. Além da exploração de seus frutos, chamados de pimenta-rosa, é utilizada na restauração ecológica e na arborização urbana. O conhecimento sobre a influência do Al^{3+} no desenvolvimento inicial da espécie é importante para a implantação dos cultivos. Nesse sentido, os objetivos deste trabalho foram avaliar os efeitos do Al no crescimento e desenvolvimento inicial de genótipos de aroeira; identificar variáveis morfológicas que melhor indiquem a suscetibilidade ou tolerância da aroeira aos efeitos tóxicos do Al; analisar se há variabilidade genética na resposta à toxicidade do Al e estimar parâmetros genéticos associados ao caráter de suscetibilidade ou tolerância, visando auxiliar na seleção de genótipos de aroeira tolerantes ao Al. Para o estudo, plântulas de seis genótipos de aroeira foram cultivadas durante 32 dias em uma solução nutritiva completa de baixa força iônica, com concentrações crescentes de Al. Os resultados indicaram que o Al provocou alteração da morfologia das raízes, com variabilidade genética entre os genótipos. As variáveis redução do crescimento radicular (CR), taxa de crescimento radicular (TCR) e alongação radicular relativa (ERR%) são as mais apropriadas à avaliação dos efeitos tóxicos do Al em plântulas de aroeira.

ABSTRACT

The tree species *Schinus terebinthifolia* has great ecological plasticity and occurs in every coastal environment of the Atlantic Forest. In addition to the exploitation of its fruits is used in ecological restoration and urban afforestation. The knowledge about the influence of Al^{3+} on the initial development of the species is important for the implantation of the crops. In this sense, the objectives of this work were to evaluate the effects of Al on the growth and initial development of *S. terebinthifolia* genotypes; to identify morphological variables that best indicate the susceptibility or tolerance of *S. terebinthifolia* to the toxic effects of Al; to analyze if there is genetic variability in the response to Al toxicity and to estimate genetic parameters associated to the susceptibility or tolerance character, aiming at assisting the selection of Al tolerant *S. terebinthifolia* genotypes. Six seedlings of the *S. terebinthifolia* genotypes were cultivated for 32 days in a complete nutrient solution of low ionic strength, with increasing concentrations of Al. The results indicated that Al caused a change in root morphology, with genetic variability among the genotypes. The variables root growth reduction, root growth rate and relative root elongation are the most appropriate to evaluate the toxic effects of Al on *S. terebinthifolia* seedlings.

3 INTRODUÇÃO

Espécie arbórea pioneira, *Schinus terebinthifolia* é uma Anacardiaceae típica de vegetação de manguezais e restingas, ocorrendo em todo ambiente litorâneo de domínio da Mata Atlântica. É popularmente conhecida como aroeira, aroeira-da-praia, aroeira-mansa, aroeira-vermelha e pimenta rosa. Possui grande plasticidade ecológica, o que permite sua ocorrência natural em diversos ambientes e formações vegetais. Seus usos incluem a restauração ecológica, a silvicultura e a arborização urbana (FLEIG e KLEIN, 1989; SILVA-LUZ e PIRANI, 2015). Trata-se de uma espécie multifuncional própria para usos em sistemas integrados de produção.

Os frutos, conhecidos como pimenta-rosa, são os principais produtos de exploração da aroeira. Até recentemente, sua exploração se restringia à coleta manual em populações naturais, principalmente em áreas de restinga (LENZI & ORTH, 2004). A pimenta-rosa é uma importante fonte de renda adicional para famílias de agricultores e comunidades tradicionais. Atualmente, iniciativas técnico-científicas têm sido implantadas para a sustentabilidade da produção de aroeira, principalmente para a produção comercial de frutos (SIQUEIRA, 2005; GOMES et al., 2013; NEVES et al., 2016).

A aroeira apresenta grande variabilidade genética. É uma espécie dioica, com sistema de fecundação cruzada (alógama), o que confere a ela intensa segregação de caracteres genotípicos (LENZI e ORTH, 2004). Informações sobre a diversidade genética da aroeira e principalmente sobre sua variabilidade quanto à suscetibilidade aos efeitos tóxicos do Al^{3+} devem oferecer subsídios para o conhecimento do manejo mais adequado ao cultivo comercial dessa espécie, bem como seu uso na restauração de áreas degradadas e na arborização urbana.

O Al é um constituinte predominante da maioria dos solos e é um dos principais fatores de estresses para as plantas em solos ácidos. Sob condições ácidas o íon tóxico Al^{3+} é liberado na solução do solo (KINRAIDE, 1997). O Al^{3+} é capaz de inibir o crescimento das raízes e danificar as células no ápice radicular, que é a parte da raiz mais sensível à sua toxicidade (RYAN et al., 1993; KOCHIAN, 1995). Os mecanismos de toxicidade do Al incluem modificação da parede celular, ruptura da membrana plasmática e ligação do Al^{3+} ao DNA (KOCHIAN et al., 2005). A toxicidade Al é um tópico importante de pesquisa porque muitas plantas cultivadas são suscetíveis à presença do Al em solos ácidos, afetando negativamente a produção. As espécies vegetais são classificadas como sensíveis, resistentes ou tolerantes ao Al. Plantas sensíveis são aquelas que apresentam efeitos negativos da toxicidade do Al em seu metabolismo e desenvolvimento. Aquelas que crescem e se desolvem normalmente na presença do Al, ou sem grandes prejuízos metabólicos, são chamadas de resistentes ou tolerantes (RYAN e DELHAIZE, 2010; HORST et al., 2010).

A redução do crescimento radicular é o sintoma primário do efeito tóxico do Al^{3+} , que pode ocorrer em concentrações micromolares na solução do solo (KOCHIAN et al., 2004). Estudos foram conduzidos no sentido de avaliar a correspondência entre os resultados obtidos nas avaliações da identificação da tolerância ao Al em testes de campo e em solução nutritiva, sendo constatada a correspondência entre os resultados (CAMPBELL e CARTER JUNIOR, 1990; SPEHAR e SOUZA, 2006; PORTALUPPI et al., 2010). Assim, os resultados alcançados auxiliam na compreensão de alguns dos principais aspectos relativos ao crescimento das plantas em condições de acidez e altas concentrações de Al trocável. O cultivo em hidroponia oferece facilidade na avaliação do sistema radicular e da parte aérea, além de permitir maior controle das variáveis não experimentais, aumentando a precisão de estudos de fisiologia e nutrição de plantas (SPEHAR, 1994; DELHAIZE e RYAN, 1995). Esse método é utilizado na avaliação da tolerância ao Al e possibilita estudos genéticos e

caracterização de germoplasma.

Experimentos com plântulas crescidas em soluções nutritivas com concentrações de Al^{3+} são utilizados com eficiência para discriminar fenotipicamente genótipos como tolerantes ou sensíveis à toxicidade deste elemento (CAMARGO e OLIVEIRA, 1981; FERREIRA et al., 1997). A tolerância genética ao Al varia entre espécies e entre indivíduos de uma mesma espécie (TABALDI et al., 2007). A existência de variabilidade genética é determinante para o melhoramento de plantas (CRUZ et al., 2004). Diversos estudos relatam ampla variabilidade genética no comportamento de espécies agrícolas e forrageiras em condições de estresse por Al. Essa variabilidade possibilita a seleção de genótipos mais adaptados às condições de toxidez por este elemento (SILVA et al., 2001; CAMARGO et al., 2000; CRESTANI et al., 2009; MATINS et al., 2011; OLIVEIRA, 2012; FIDELIS et al., 2018). Para espécies arbóreas são raros os estudos nesse sentido.

São escassas as informações científicas sobre a nutrição mineral da aroeira (MEZZAVILLA e JACOB NETO, 2018) e não foram encontrados trabalhos avaliando a variabilidade genética desta planta em relação à tolerância ao Al. Nesse sentido, este trabalho foi realizado com os objetivos de avaliar os efeitos do Al no crescimento e desenvolvimento inicial de genótipos de aroeira; identificar variáveis morfológicas que melhor indiquem a suscetibilidade ou tolerância da aroeira aos efeitos tóxicos do Al; analisar se há variabilidade genética na resposta à toxicidade do Al e estimar parâmetros genéticos associados ao caráter de suscetibilidade ou tolerância, visando auxiliar na seleção de genótipos de aroeira tolerantes ao Al.

4 MATERIAL E MÉTODOS

4.1 Experimento 1 - Reação de Genótipos de Aroeira (*Schinus terebinthifolia*) ao Al

Localização do experimento e delineamento experimental

O trabalho foi conduzido em câmara de crescimento do Laboratório de Química da Rizosfera do Departamento de Fitotecnia – Instituto de Agronomia da Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro (UFRRJ) com condições controladas de temperatura e luminosidade; fotoperíodo de 12h luz/12h escuro e temperaturas entre 25 e 35°C.

O delineamento experimental adotado foi o inteiramente casualizado, com quatro repetições, em esquema fatorial pela combinação de 6 genótipos (UFRRJ ARO071, UFRRJ ARO079, UFRRJ ARO136, UFRRJ ARO025, UFRRJ ARO050, UFRRJ ARO094) e 5 concentrações de Al^{3+} - 0 (testemunha), 50, 100, 150 e 200 μM , totalizando 30 tratamentos. As concentrações de Al foram definidas baseadas em resultados relatados por Mezzavilla (2016) e por ensaio realizado com 3 genótipos de aroeira.

Material vegetal e condições experimentais

As sementes utilizadas foram provenientes da coleção de germoplasma de *S. terebinthifolia* da UFRRJ. A semeadura foi realizada em areia lavada, irrigada com água deionizada. Os recipientes para germinação foram mantidos em bancada sob luz natural. A germinação ocorreu sete dias após a semeadura. Decorridos oito dias após a germinação, plântulas com raízes de 6 a 7 cm foram selecionadas quanto à uniformidade de comprimento da raiz principal e da parte aérea, e transplantadas para vasos com capacidade de 0,4 L, sendo colocada uma planta por vaso. As plântulas foram apoiadas em um suporte de isopor.

As plântulas foram crescidas em uma solução nutritiva completa balanceada, de baixa força iônica conhecida, preparada de acordo com a metodologia proposta por Jacob Neto (1993), composta por 0,5 mM de N na forma de NH_4NO_3 ; 0,1 mM de Ca na forma de $CaCl_2.H_2O$; 0,2 mM de Mg na forma de $MgSO_4.7H_2O$; 0,5 mM de K na forma de K_2SO_4 ; 50 μM de P na forma de $NaH_2PO_4.2H_2O$; 10 μM de Fe na forma de FeNa EDTA; 0,4 μM de Mn

na forma de $\text{MnSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$; $0,16 \mu\text{M}$ de Zn na forma de ZnSO_4 ; $0,04 \mu\text{M}$ de Cu na forma de CuSO_4 ; $0,5 \mu\text{M}$ de Mo na forma de MoO_3 ; $0,04 \mu\text{M}$ de Co na forma de $\text{CoSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$. O pH da solução foi ajustado para $4,0 \pm 2$ utilizando solução 1M de HCl e/ou 1M NaOH, conforme necessário, para manter as concentrações de Al a níveis de toxidez. A aeração foi mantida constante através do uso de compressor de ar. A troca de solução nutritiva ocorreu a cada 4 dias (96 h), quando foram realizadas medições do comprimento da raiz principal, com o uso de régua graduada, até 32 dias após o transplântio, quando foi verificado severo danos na raiz principal.

Avaliações realizadas

A partir da instalação do experimento, foi feita a medida do comprimento da raiz principal das plântulas, em intervalos de 4 dias até os 32 dias, para avaliar o desenvolvimento das raízes.

Aos 32 dias após a instalação do experimento, as plântulas foram retiradas da solução nutritiva e avaliadas quanto às variáveis:

- Crescimento radicular, em cm, calculado através da equação:

$$\text{CR} = C_f - C_i$$

C_f = comprimento final da raiz principal

C_i = comprimento inicial da raiz principal

- Taxa de crescimento radicular (TCR), em cm/dia, calculada através da equação:

$$\text{TCR} = (C_f - C_i) / \Delta t$$

C_f = comprimento radicular no final do cultivo;

C_i = comprimento radicular no momento da transplântio para a solução nutritiva;

Δt = intervalo de tempo em dias.

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

$$\text{ERR} = ((C_f \text{ Al}_x - C_i \text{ Al}_x) / (C_f \text{ Al}_0 - C_i \text{ Al}_0)) * 100$$

$C_i \text{ Al}_x$ = comprimento radicular inicial da raiz principal (cm) medido antes da exposição à solução nutritiva no nível de "x" de Al;

$C_f \text{ Al}_x$ = comprimento radicular final da raiz principal (cm) medido após n dias de exposição à solução nutritiva no nível "x" de Al;

$C_i \text{ Al}_0$ = Comprimento radicular inicial da raiz principal (cm) antes da exposição à solução sem Al;

$C_f \text{ Al}_0$ = Comprimento radicular final da raiz principal (cm) medido após n dias de exposição à solução nutritiva no nível "x" de Al.

- Grau de tortuosidade da raiz (GTR), determinado pela avaliação visual do sistema radicular utilizando uma escala de 1 a 5, conforme demonstrado na Figura 4. O grau 1 representa raízes com desenvolvimento normal, com ápice radicular claro; 2, raiz principal com tortuosidade leve e poucas raízes secundárias normais, podendo o ápice radicular apresentar, ou não, cor escura; 3, raiz principal curta e com tortuosidade e poucas raízes secundárias normais, ápice radicular com cor escura; 4, raiz principal curta, grossa e tortuosa, poucas raízes secundárias e ápice engrossado e escuro; e 5, tortuosidade severa da raiz principal que se apresenta curta e grossa e raízes secundárias, quando presentes, também tortas e engrossadas, ápice radicular engrossado e escuro (raízes com aspecto de corais).

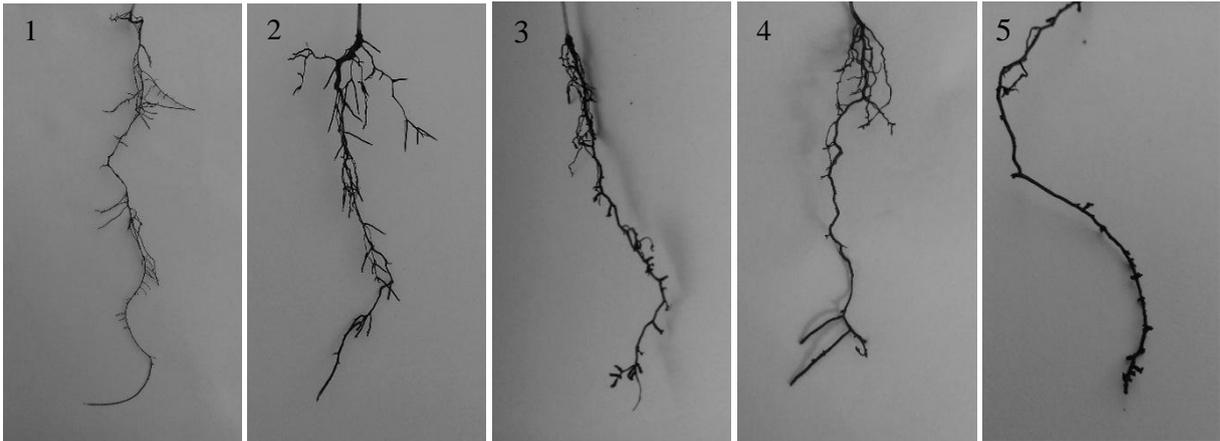


Figura 4. Escala visual de grau de tortuosidade da raiz (GTR).

- Crescimento de parte aérea (CPA), em cm, calculada através da equação:

$$CPA = C_f - C_i$$

C_f = comprimento final da parte aérea, medida efetuada do colo da planta até a gema apical;

C_i = comprimento inicial da parte aérea, medida efetuada do colo da planta até a gema apical.

- Matéria seca de raízes (MSR), em mg, determinada pela pesagem das raízes após terem sido secas em estufa sem ventilação forçada, a 90 °C até peso constante.

- Matéria seca de parte aérea (MSPA), em mg, determinada pela pesagem da parte aérea após ter sido seca em estufa sem ventilação forçada, a 90 °C até peso constante.

- Relação MSR / MSPA

Análises estatísticas

Os dados obtidos foram submetidos à análise de variância, utilizando o teste F a 5% de probabilidade. O desdobramento dos efeitos da interação entre os fatores, ou do efeito isolado de cada fator, foram analisados a partir da indicação de significância pelo teste F. As médias foram comparadas através do teste de Tukey a 5% de probabilidade. Todas as diferenças ditas significativas no texto são baseados na análise estatística, através do teste Tukey a 5%. Também foi feito, quando necessário, o uso da regressão com análise de variância, que se justifica pela existência de uma correspondência funcional entre as concentrações crescentes de Al e as variáveis analisadas (PIMENTEL-GOMES, 1978). A equação de regressão escolhida foi aquela que apresentou o maior valor do coeficiente de determinação (R^2). As análises foram realizadas com o auxílio do Programa germoplasma, versão 5.6 (FERREIRA, 2015).

Parâmetros genéticos avaliados

Estimativas de parâmetros genéticos relacionados a variáveis morfológicas foram realizadas para avaliar as possíveis diferenças genótípicas em relação à suscetibilidade ou tolerância dos genótipos de aroeira aos efeitos tóxicos do Al. As análises foram realizadas através do Programa GENES, versão 2.0.0 (CRUZ, 2007) e as variáveis utilizadas foram CR, TCR, CPA, MSR e MSPA. O modelo estatístico em delineamento inteiramente casualizado foi fixo, com 6 genótipos, 5 ambientes (concentrações de Al) e 4 repetições.

$$Y_{ijk} = m + G_i + A_j + GA_{ij} + E_{ijk}, \text{ onde:}$$

Y_{ijk} = valor observado referente ao i-ésimo genótipo, no j-ésimo ambiente da repetição k;

m = média geral;

G_i = efeito do i-ésimo genótipo;

A_j = efeito do j-ésimo ambiente (concentrações de Al);
 GA_{ij} = efeito da interação do i-ésimo genótipo com o j-ésimo ambiente;
 E_{ijk} = erro médio associado à observação Y_{ijk} .

A partir das estimativas obtidas na ANOVA foram estimados os seguintes parâmetros estatísticos e genéticos: coeficiente de variação experimental (CVe); coeficiente de variação genético (CVg); variabilidade genotípica (σ^2_g); coeficiente de determinação genotípico em porcentagem (H^2) e índice de variação (IVg).

5 RESULTADOS

Os valores das médias do comprimento real das raízes, aferidos em cada medição, são expostas na Figura 5 e apresentadas para uma visualização dos comportamentos dos genótipos nas respectivas concentrações de alumínio utilizadas no experimento.

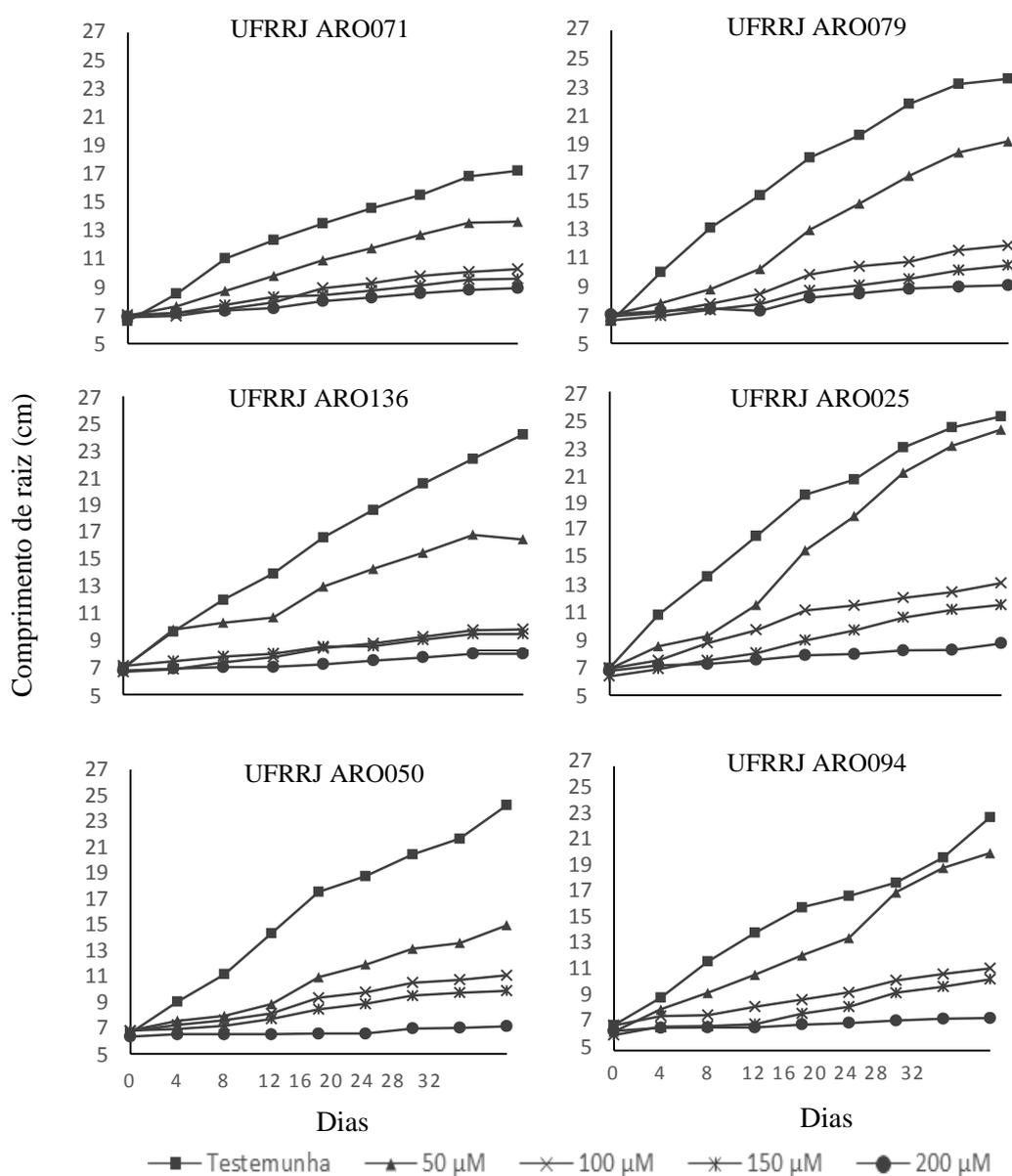


Figura 5. Valores médios do comprimento radicular (cm) de 6 genótipos de *Schinus terebinthifolia* cultivados em solução nutritiva completa com 5 concentrações de Al (μM), durante 32 dias.

A avaliação do crescimento real das raízes através da medida do comprimento da raiz principal, realizada em intervalos de 4 dias, foi base para o cálculo das variáveis crescimento radicular (CR), taxa de crescimento radicular (TCR) e alongação radicular relativa (ERR%), que serão discutidas detalhadamente.

Crescimento Radicular

A análise de variância para a variável CR (Tabela 1) demonstrou efeito significativo dos genótipos e das concentrações de Al, ao nível de 1% de probabilidade, e não evidenciou significância da interação entre esses fatores. O valor do coeficiente de variação (CV%) foi de 48,11.

Tabela 1. Análise de variância do crescimento radicular (CR) de genótipos de *Schinus terebinthifolia* crescidos durante 32 dias em solução nutritiva completa.

FV	GL	QM	Fc	Pr>Fc
Genótipos	5	49,79250	3,930	0,0029**
Concentrações de Al	4	893,3455	70,507	0,0000**
Genótipos x Concentrações de Al	20	13,5959	1,073	0,3911 ^{ns}
Resíduo	90	12,6703		
Total	119			
CV (%)	48,11			

**significativo ao nível de 1% de probabilidade; ^{ns} não significativo.

O efeito isolado dos genótipos, pela comparação entre médias realizada através do teste de Tukey 5%, revelou que os genótipos UFRRJ ARO071 e UFRRJ ARO025 tiveram, respectivamente, o menor e o maior CR. Para os demais genótipos não foi encontrado diferença significativa entre os valores das médias dos genótipos (Tabela 2).

Tabela 2. Efeito isolado de genótipos de *Schinus terebinthifolia* no crescimento radicular (CR) após o cultivo em solução nutritiva completa durante 32 dias, com 5 concentrações de Al.

Genótipos	CR (cm)
UFRRJ ARO071	5,10 b
UFRRJ ARO079	8,03 ab
UFRRJ ARO136	6,71 ab
UFRRJ ARO025	9,78 a
UFRRJ ARO050	6,81 ab
UFRRJ ARO094	7,95 ab

Médias com letras iguais nas colunas não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Pelos dados apresentados na Tabela 3, observou-se que o tratamento sem alumínio na solução apresentou a maior média de crescimento, que diferiu significativamente dos demais tratamentos. Houve diferença significativa entre o tratamento com 50 μM de Al e os demais tratamentos com concentrações superiores (100, 150 e 200 μM), que não diferiram entre si.

Tabela 3. Dados médios do efeito das concentrações de Al no crescimento radicular (CR) de genótipos de *Schinus terebinthifolia* após o cultivo em solução nutritiva completa com 5 concentrações de Al, durante 32 dias.

Concentrações de Al (μM)	CR (cm)
0	16,14 a
50	11,27 b
100	4,41 c
150	3,60 c
200	1,56 c

Médias com letras iguais nas colunas não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Na figura 6 são representadas as correlações entre o crescimento radicular e as concentrações de alumínio. A regressão linear foi a que melhor se ajustou a distribuição dos dados, com exceção apenas para o genótipo UFRRJ ARO136 em que o melhor ajuste foi oferecido pela regressão polinomial (equação quadrática), dados baseados nos coeficientes de determinação (R^2). Os CV% encontrados foram: UFRRJ ARO071 – 55,18; UFRRJ ARO079 – 44,82; UFRRJ ARO136 – 33,3; UFRRJ ARO025 – 37,72; UFRRJ ARO050 – 67,65 e UFRRJ ARO094 – 49,2 (dados não tabelados).

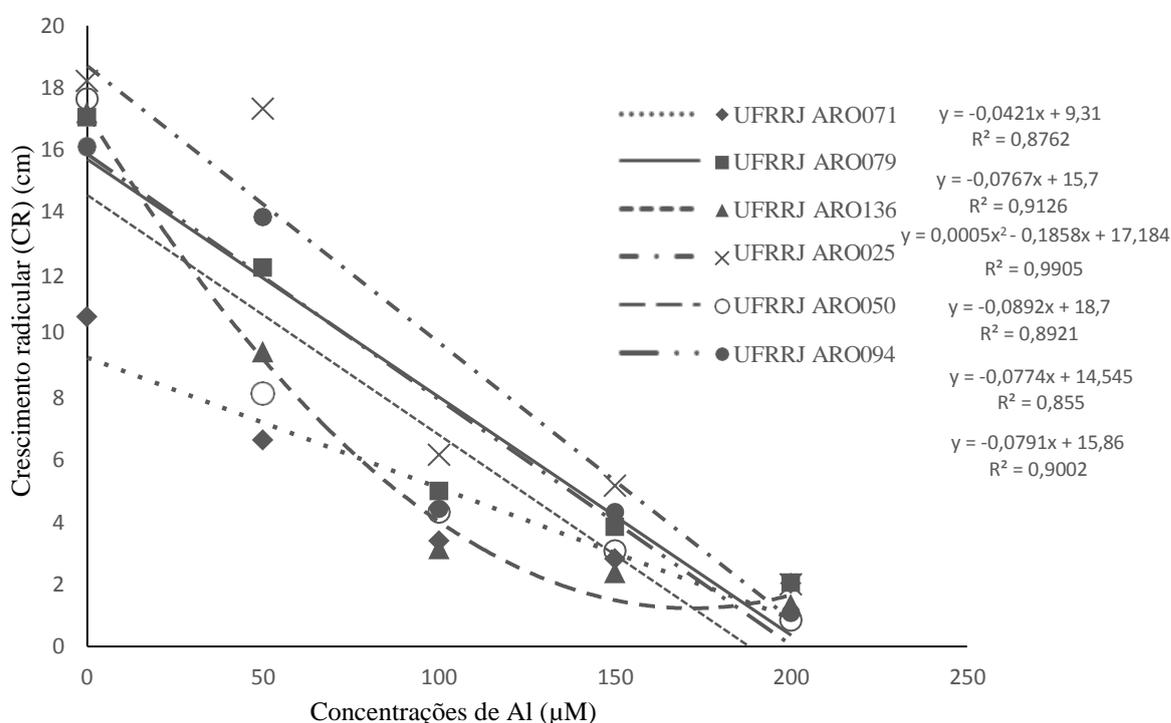


Figura 6. Correlação entre as taxas de crescimento radicular (TCR) de genótipos de *Schinus terebinthifolia* e concentrações crescentes de Al em solução nutritiva completa.

Os valores dos níveis críticos de toxidez de Al em solução para o CR dos seis genótipos de aroeira, nestas condições experimentais, calculados através das equações obtidas pela análise de regressão foram: UFRRJ ARO071 – 221,14 μM ; UFRRJ ARO079 – 204,7 μM ; UFRRJ ARO136 – 185,65 μM ; UFRRJ ARO025 – 209,64 μM ; UFRRJ ARO050 – 187,92 μM e UFRRJ ARO094 – 200,50 μM .

Taxa de crescimento radicular

Os resultados da análise de variância para a TCR indicou efeito significativo dos genótipos e das concentrações de Al, ambos ao nível de 1% de probabilidade, e não significância da interação entre esses fatores. O valor do coeficiente de variação (CV%) foi de 48,44 (Tabela 4).

Tabela 4. Análise de variância da taxa de crescimento radicular (TCR) de genótipos de *Schinus terebinthifolia* crescidos durante 32 dias em solução nutritiva completa.

FV	GL	QM	Fc	Pr>Fc
Genótipos	5	0,049750	3,981	0,0026**
Concentrações de Al	4	0,873784	69,926	0,0000**
Genótipos x Concentrações de Al	20	0,013376	1,07	0,3938 ^{ns}
Resíduo	90	0,012496		
Total	119			
CV (%)	48,44			

**significativo ao nível de 1% de probabilidade; ^{ns} não significativo.

Através da avaliação do efeito isolado dos genótipos, pela comparação entre médias realizada através do teste de Tukey a 5% de probabilidade, verifica-se que os genótipos UFRRJ ARO071 teve a menor TCR e o genótipo UFRRJ ARO025 a maior TCR. As médias dos demais genótipos não diferiram significativamente entre si (Tabela 5).

Tabela 5. Efeito isolado de genótipos de *Schinus terebinthifolia* na taxa de crescimento radicular (TCR) após o cultivo em solução nutritiva completa durante 32 dias, com 5 concentrações de Al.

Genótipos	TCR (cm/dia)
UFRRJ ARO071	0,16 b
UFRRJ ARO079	0,25 ab
UFRRJ ARO136	0,21 ab
UFRRJ ARO025	0,30 a
UFRRJ ARO050	0,21 ab
UFRRJ ARO094	0,25 ab

Médias com letras iguais nas colunas não difere entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. CV% = 48,44.

O efeito isolado das concentrações de Al, apresentado na Tabela 6, demonstrou que o a média da TCR foi maior no tratamento testemunha, diferindo de todos os demais tratamentos. Ficou demonstrado que o tratamento com a menor concentração de Al (50 μM) resultou em maior média de TCR, quando comparado aos tratamentos com concentrações de Al superiores. Pode-se observar que as médias da TCR diminuíram conforme o aumento da concentração de Al, não sendo indicada diferença significativa entre as três maiores concentrações (100, 150 e 200 μM).

Tabela 6. Dados médios do efeito das concentrações de Al na taxa de crescimento radicular (TCR) de genótipos de *Schinus terebinthifolia* após o cultivo em solução nutritiva completa com 5 concentrações de Al, durante 32 dias.

Concentrações de Al (μM)	TCR (cm/dia)
0	0,50 a
50	0,35 b
100	0,14 c
150	0,11 c
200	0,05 c

Médias com letras iguais nas colunas não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. CV% = 48,44.

A TCR foi avaliada pelo uso da regressão na análise de variância com o objetivo de verificar o efeito das concentrações de Al no desenvolvimento das raízes, para cada genótipo em estudo. Foi verificado efeito significativo das concentrações de Al, ao nível de 1% de probabilidade, para todos os genótipos. Os resultados apresentados na figura 7 permitem constatar que o Al interferiu negativamente na TCR das plântulas de aroeira, ocorrendo diminuição progressiva da TCR conforme o aumento das concentrações do Al em solução. Apenas para o genótipo UFRRJ ARO136 a regressão polinomial foi a mais adequada à distribuição dos dados, para os demais genótipos a regressão linear ofereceu o melhor ajuste. Os CV% encontrados para a TCR foram: UFRRJ ARO071 – 61,77; UFRRJ ARO079 – 48,99; UFRRJ ARO136 – 35,36; UFRRJ ARO025 – 35,28; UFRRJ ARO050 – 70,09 e UFRRJ ARO094 – 50,07 (dados não tabelados).

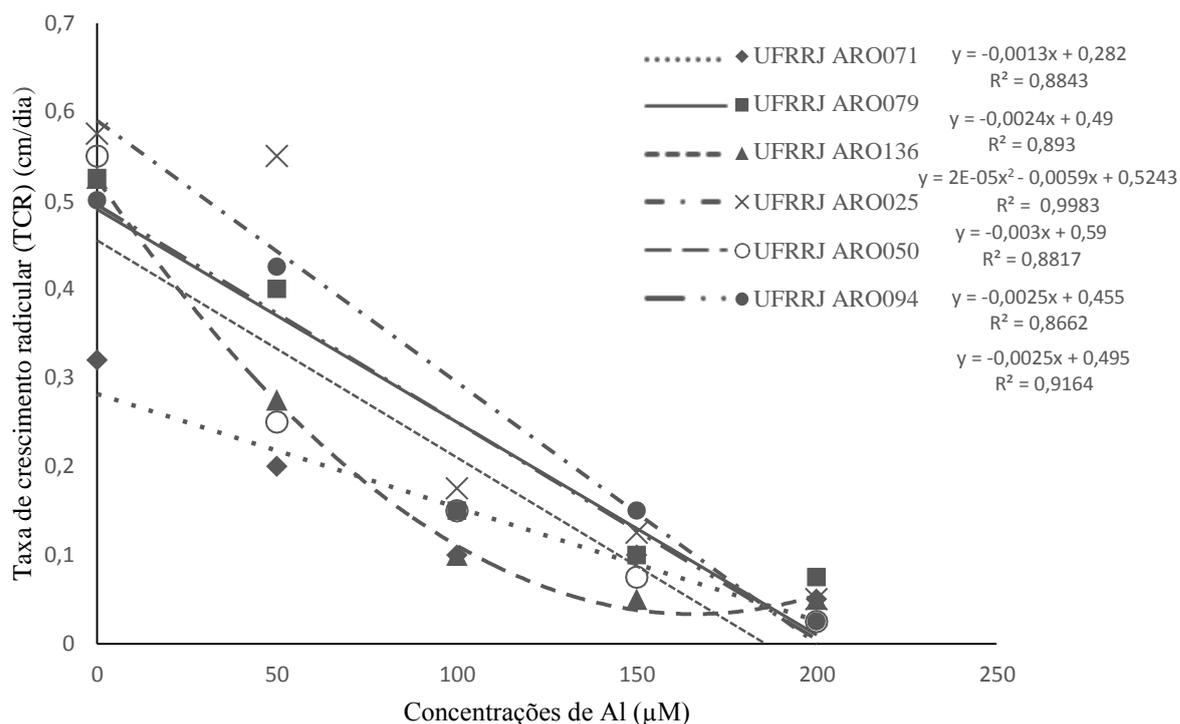


Figura 7. Correlação entre a taxa de crescimento radicular (TCR) de genótipos de *Schinus terebinthifolia* e concentrações crescentes de Al em solução nutritiva completa.

Os valores dos níveis críticos de toxidez de Al em solução para a TCR dos seis genótipos de aroeira, nestas condições experimentais, calculados através das equações obtidas pela análise de regressão foram: UFRRJ ARO071 - 216,92 μM ; UFRRJ ARO079 - 204,70 μM ; UFRRJ ARO136 - 161,27 μM ; UFRRJ ARO025 - 196,67 μM ; UFRRJ ARO050 - 182,00 μM e UFRRJ ARO094 - 198,00 μM .

Para verificar o comportamento dos genótipos de aroeira dentro de cada concentração de Al presente na solução nutritiva, realizou-se a análise de variância e teste de médias para a variável TCR, usando-se a concentração de Al como valor fixo e os genótipos como fonte de variação. O resultado da análise de variância foi significativo apenas para a concentração de 50 μM . Na figura 8, observa-se que o genótipo UFRRJ ARO071 teve a menor TCR e o genótipo UFRRJ ARO025 o maior valor de TCR.

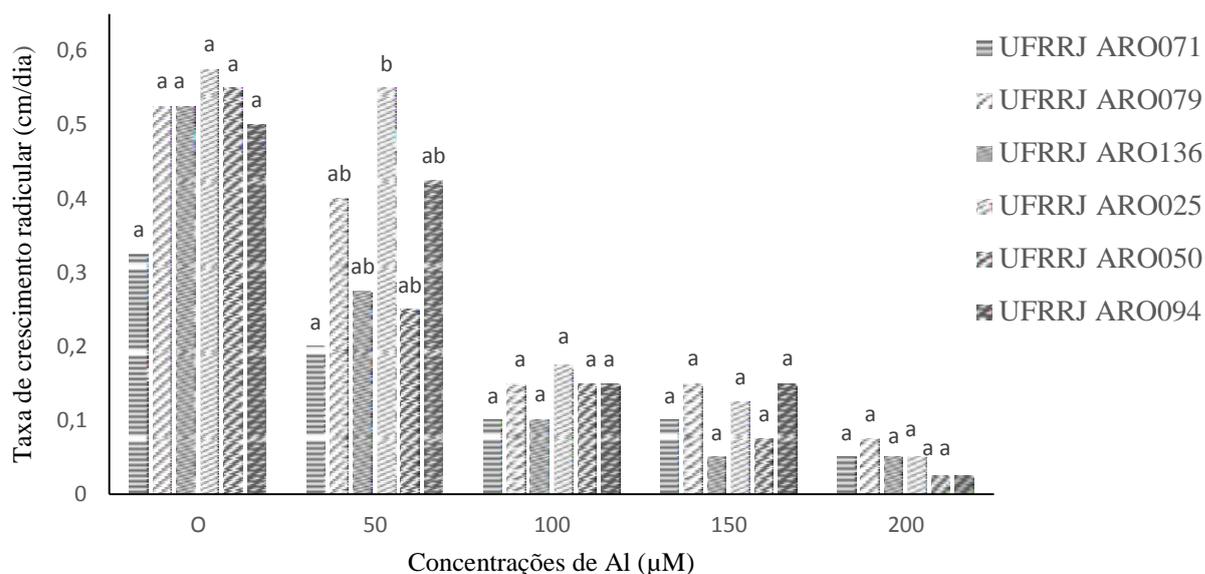


Figura 8. Valores médios das taxas de crescimento radicular (TCR) de seis genótipos de *Schinus terebinthifolia* aos 32 dias de cultivo em solução nutritiva completa com diferentes concentrações de Al. Em cada concentração de Al, médias com letras iguais nas colunas não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. CV% = 28,28; 44,42; 72,22; 72,65 e 156,41 para as 5 concentrações de Al, respectivamente.

Elongação Radicular Relativa

O cálculo da ERR%, representado na figura 9, permite avaliar o comportamento do crescimento radicular na presença do Al em solução em comparação ao crescimento na ausência deste elemento (tratamento testemunha). Desta forma, é feita uma avaliação percentual do efeito dos tratamentos com concentrações crescentes de Al. Quanto maior o valor da ERR% menor será o valor da diminuição do crescimento radicular. Neste trabalho, os seis genótipos avaliados apresentaram decréscimo nos valores da ERR% desde a menor concentração de Al (50 µM). Nesse tratamento com concentração de 50 µM de Al, o genótipo UFRRJ ARO025 apresentou o maior valor de ERR% (95,1%), ou seja, uma menor redução do crescimento radicular, e o genótipo UFRRJ ARO050 a maior redução, com valor de ERR% igual a 53,8%. A partir da concentração de 100 µM todos os genótipos demonstraram decréscimo acentuado da ERR%. Na maior concentração de Al (200 µM) os valores de ERR% foram de: UFRRJ ARO071 – 19,1%; UFRRJ ARO079 – 12,0%; UFRRJ ARO136 – 7,3%; UFRRJ ARO025 – 11,0%; UFRRJ ARO050 – 4,5% e UFRRJ ARO094 – 6,2%.

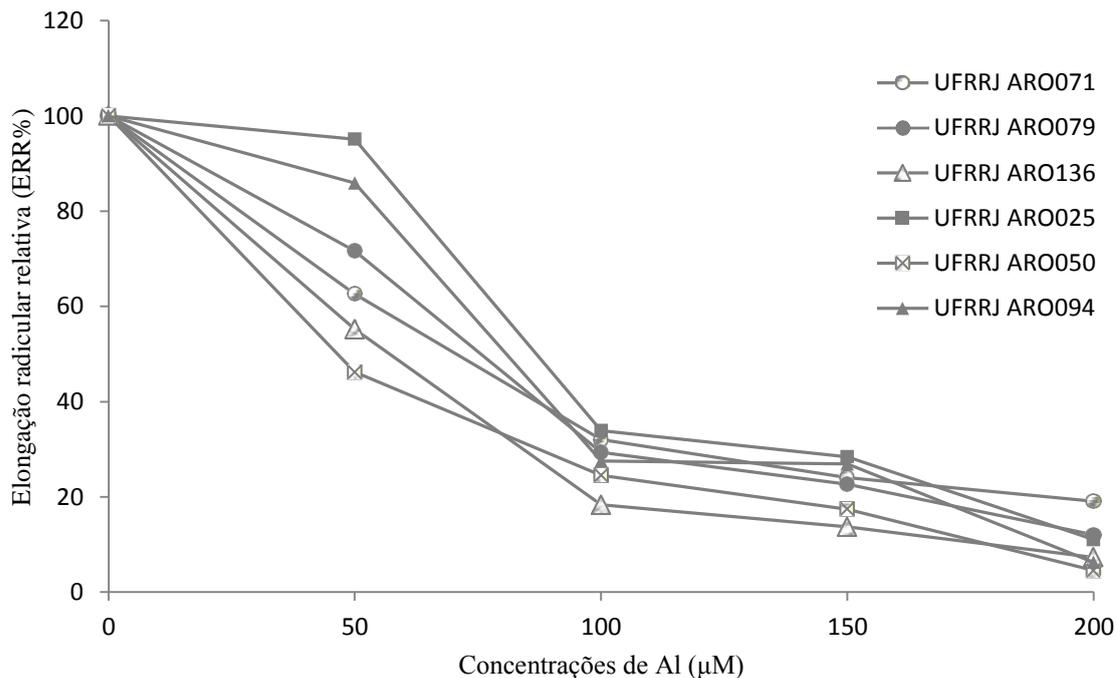


Figura 9. Elongação radicular relativa (ERR%) de genótipos de *Schinus terebinthifolia* cultivados em solução nutritiva completa com doses crescentes de Al, durante 32 dias.

Grau de tortuosidade da raiz

O GTR apresentado neste trabalho estabelecendo uma escala para avaliação dos efeitos da toxicidade do Al na morfologia das raízes, observados visualmente. Os valores atribuídos variam de 1 a 5, onde 1 representa o desenvolvimento normal das raízes e 5 grau severo dos efeitos de toxicidade. Os resultados obtidos neste experimento revelaram que na menor concentração de Al na solução (50 µM) o genótipo UFRRJ ARO079 apresentou desenvolvimento normal das raízes, no que diz respeito a sua morfologia, os demais genótipos apresentam tortuosidade leve, com poucas raízes secundárias e, em alguns casos, ápice radicular escurecido. Na maior concentração de Al (200 µM), os efeitos foram mais severos nos genótipos UFRRJ ARO079 e UFRRJ ARO050, com GTR de valor 4 - raiz principal tortuosa, poucas raízes secundárias e ápice engrossado e escuro (Tabela 7). A maior média de tortuosidade do genótipo crescendo em soluções de Al foi encontrada para o genótipo UFRRJ ARO050 e a menor para UFRRJ ARO071.

Tabela 7. Grau de tortuosidade da raiz (GTR) de genótipos de *Schinus terebinthifolia* cultivados em solução nutritiva completa com concentrações crescentes de Al, durante 32 dias.

Grau de tortuosidade da Raiz (GTR)					
Genótipos	Concentrações de Al (μM)				
	0	50	100	150	200
UFRRJ ARO071	1	2	2	2	3
UFRRJ ARO079	1	1	3	3	4
UFRRJ ARO136	1	2	3	3	3
UFRRJ ARO025	1	2	3	3	3
UFRRJ ARO050	1	2	3	3	4
UFRRJ ARO094	1	2	3	2	3

Crescimento de parte aérea

Com relação ao desenvolvimento da parte aérea das plântulas de aroeira, a análise de variância para a variável CPA mostrou que houve efeito significativo dos genótipos e das concentrações de Al, ambos ao nível de 1% de probabilidade, e não revelou significância da interação entre esses fatores. O CV% encontrado foi de 33,33 (Tabela 8).

Tabela 8. Análise de variância do crescimento de parte aérea (CPA) (cm) de genótipos de *Schinus terebinthifolia* crescidos durante 32 dias em solução nutritiva completa.

FV	GL	QM	Fc	Pr>Fc
Genótipos	5	2,15413	5,250	0,0003**
Concentrações de Al	4	7,30487	17,805	0,0000**
Genótipos x Concentrações de Al	20	0,34042	0,830	0,6721 ^{ns}
Resíduo	90	0,41027		
Total	119			
CV (%)	33,33			

**significativo ao nível de 1% de probabilidade; ^{ns} não significativo.

Os resultados do teste de média, para o efeito isolado dos genótipos, indicaram que o genótipo UFRRJ ARO079 teve o maior valor médio de CPA e o genótipo UFRRJ ARO050 o menor valor (Tabela 9).

Tabela 9. Efeito isolado de genótipos de *Schinus terebinthifolia* no crescimento de parte aérea (CPA) (cm), após o cultivo em solução nutritiva completa, durante 32 dias, com 5 concentrações de Al.

Genótipos	CPA (cm)
UFRRJ ARO071	2,14 abc
UFRRJ ARO079	2,29 a
UFRRJ ARO136	2,02 abc
UFRRJ ARO025	1,56 bc
UFRRJ ARO050	1,47 c
UFRRJ ARO094	2,04 abc

Médias com letras iguais nas colunas não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Os resultados do teste de média para o efeito isolado das concentrações de Al no CPA indicaram que houve diminuição do valor médio dessa variável à medida do aumento das concentrações de Al na solução. A média do tratamento testemunha diferiu estatisticamente das médias dos demais tratamentos (Tabela 10).

Tabela 10. Dados médios do efeito das concentrações de Al no crescimento de parte aérea (CPA) de genótipos de *Schinus terebinthifolia* após o cultivo em solução nutritiva completa com 5 concentrações de Al, durante 32 dias.

Concentrações de Al (μM)	CPA (cm)
0	2,77 a
50	2,05 b
100	1,92 bc
150	1,50 cd
200	1,36 d

Médias com letras iguais nas colunas não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

De maneira similar às análises realizadas para os dados de desenvolvimento das raízes, o CPA foi avaliado pelo uso da regressão na análise de variância para os seis genótipos utilizados nesse experimento (Figura 10). Os resultados da análise de variância não revelaram efeito significativo das diferentes concentrações de Al no CPA dos genótipos UFRRJ ARO136 e UFRRJ ARO094. Para os demais genótipos, foi revelado efeito significativo das concentrações de Al (Figura 6). Os CV% encontrados para a regressão foram: UFRRJ ARO071 – 27,09; UFRRJ ARO079 – 21,17; UFRRJ ARO025 – 30,14; UFRRJ ARO050 – 36,62 (dados não tabelados).

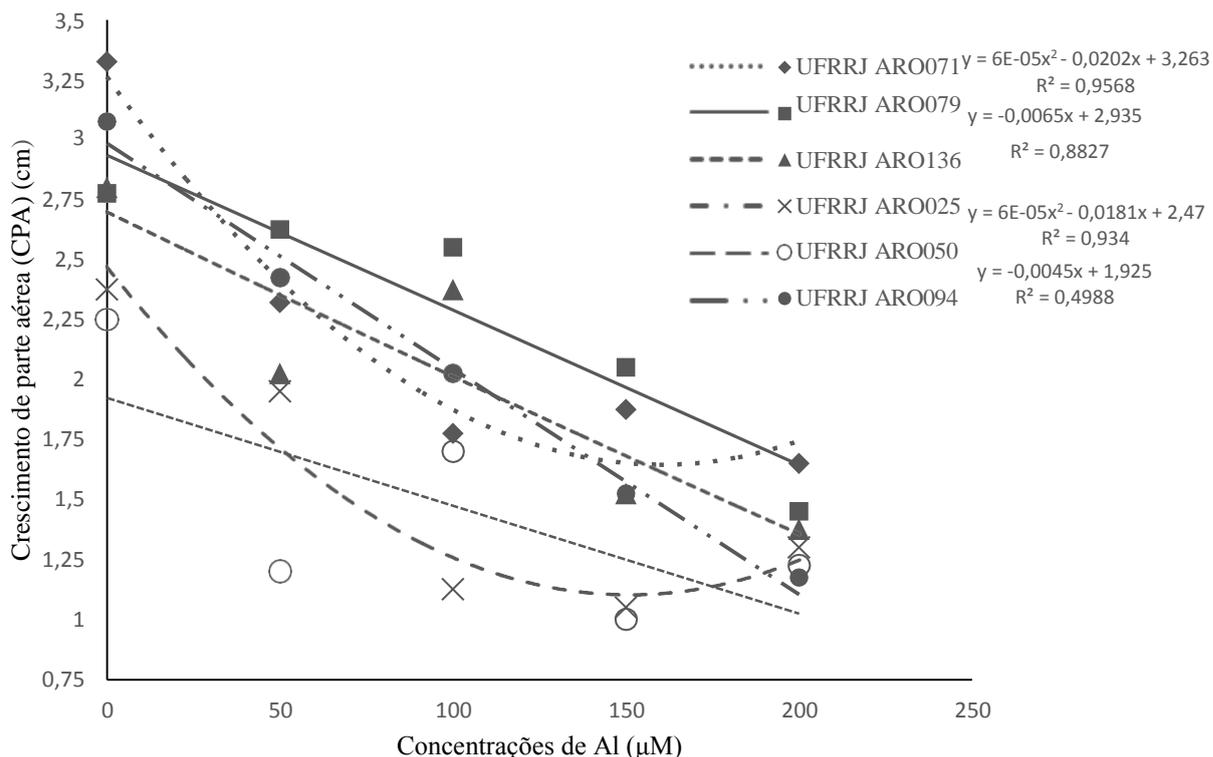


Figura 10. Correlação entre o crescimento de parte aérea (CPA) de genótipos de *Schinus terebinthifolia* e concentrações crescentes de Al em solução nutritiva completa.

Os valores de doses críticas de Al em solução para o CPA, nessas condições experimentais, dos quatro genótipos de aroeira foram calculados através das equações obtidas pela análise de regressão e são: UFRRJ ARO071 – 165,20 μM ; UFRRJ ARO079 – 451,54 μM ; UFRRJ ARO025 – 148,62 μM ; UFRRJ e ARO050 – 427,78 μM .

Massa seca de raízes

A análise de variância da MSR revelou efeito significativo dos genótipos e das concentrações de Al e não significância para a interação entre eles. O valor encontrado para o CV% foi de 38,00 (Tabela 11).

Tabela 11. Análise de variância da massa seca de raiz (MSR) de genótipos de *Schinus terebinthifolia* crescidos durante 32 dias em solução nutritiva completa.

FV	GL	QM	Fc	Pr>Fc
Genótipos	5	71,67560	3,176	0,0110*
Concentrações de Al	4	117,1744	5,192	0,0008**
Genótipos x Concentrações de Al	20	23,0843	1,023	0,4447 ^{ns}
Resíduo	90	22,5674		
Total	119			
CV (%)	38,00			

**significativo ao nível de 1% de probabilidade; *significativo ao nível de 5% de probabilidade; ^{ns} não significativo.

O efeito isolado dos genótipos, apresentado na Tabela 12, revelou que o genótipo UFRRJ ARO079 teve o maior valor médio de MSR.

Tabela 12. Dados médios do efeito isolado dos genótipos de *Schinus terebinthifolia* na massa seca de raiz (MSR) após o cultivo em solução nutritiva completa com 5 concentrações de Al, durante 32 dias.

Genótipos	MSR (mg)
UFRRJ ARO071	11,55 b
UFRRJ ARO079	16,15 a
UFRRJ ARO136	12,02 ab
UFRRJ ARO025	12,85 ab
UFRRJ ARO050	11,06 b
UFRRJ ARO094	11,37 b

Médias com letras iguais nas colunas não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

A análise do efeito das concentrações de Al na MSR revelou diferenças significativas entre as médias. Não foi verificada diferença significativa entre o tratamento testemunha e os demais tratamentos. Foi revelada diferença significativa entre as médias dos tratamentos com 50 e 100 μM de Al e o tratamento com 200 μM de Al (Tabela 13).

Tabela 13. Dados médios do efeito das concentrações de Al na massa seca de raiz (MSR) de genótipos de *Schinus terebinthifolia* após o cultivo em solução nutritiva completa com 5 concentrações de Al, durante 32 dias.

Concentrações de Al (μM)	MSR (mg)
0	12,94 ab
50	13,21 a
100	15,21 a
150	11,87 ab
200	9,19 b

Médias com letras iguais nas colunas não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Massa seca de parte aérea

Para a variável MSPA a análise de variância indicou efeito significativo apenas os genótipos. O valor encontrado para o CV% foi de 25,50 (Tabela 14).

Tabela 14. Análise de variância da massa seca de parte aérea (MSPA) de genótipos de *Schinus terebinthifolia* crescidos durante 32 dias em solução nutritiva completa.

FV	GL	QM	Fc	Pr>Fc
Genótipos	5	536,62080	13,786	0,0000**
Concentrações de Al	4	62,5384	1,607	0,1795ns
Genótipos x Concentrações de Al	20	36,3937	0,935	0,5460ns
Resíduo	90	38,9255		
Total	119			
CV (%)	25,50			

**significativo ao nível de 1% de probabilidade; ^{ns} não significativo.

O resultado da comparação entre as médias, exposto na Tabela 15, demonstra que o genótipo UFRRJ ARO079 teve o maior valor médio de MSPA.

Tabela 15. Dados médios do efeito isolado dos genótipos de *Schinus terebinthifolia* na massa seca de parte aérea (MSPA) após o cultivo em solução nutritiva completa com 5 concentrações de Al, durante 32 dias.

Genótipos	MSPA (mg)
UFRRJ ARO071	24,86 bc
UFRRJ ARO079	33,40 a
UFRRJ ARO136	24,22 bc
UFRRJ ARO025	25,66 b
UFRRJ ARO050	19,21 c
UFRRJ ARO094	19,46 c

Médias com letras iguais nas colunas não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Relação entre massa seca de raiz e massa seca de parte aérea

Com relação à variável MSR/MSPA, a análise de variância não indicou efeitos significativos dos genótipos, das concentrações de Al ou da interação entre eles e o valor do CV% foi de 64,98 (Tabela 16).

Tabela 16. Análise de variância da relação massa seca de raiz (MSR) / massa seca de parte aérea (MSPA) de genótipos de *Schinus terebinthifolia* crescidos durante 32 dias em solução nutritiva completa.

FV	GL	QM	Fc	Pr>Fc
Genótipos	5	0,10620	0,874	0,5019 ^{ns}
Concentrações de Al	4	0,2156	1,773	0,1412 ^{ns}
Genótipos x Concentrações de Al	20	0,1308	1,076	0,3880 ^{ns}
Resíduo	90	0,1216		
Total	119			
CV (%)	64,98			

^{ns} não significativo.

Devido ao resultado da análise de variância não indicar significância dos fatores e da interação entre eles para a variável MSR/MSPA, esta não foi utilizada na análise dos parâmetros genéticos.

Parâmetros genéticos

Os resultados da análise de variância dos parâmetros genéticos demonstraram que não houve efeito significativo da interação genótipos x concentrações de Al para os quadrados médios testados nas variáveis analisadas. Para as variáveis CR, TCR, CPA e MSR foi demonstrado efeito significativo para genótipos e concentrações de Al, indicando que há variabilidade genética entre os genótipos e que as concentrações de Al exerceram influência no crescimento das plântulas, respectivamente. Em relação a variável MSPA houve efeito significativo apenas para genótipos. Os valores mínimo e máximo de cada variável mostraram amplitude considerável de expressão, sendo os maiores valores verificados para as variáveis CR (cm), com valor mínimo de 1,56 e máximo igual a 16,14 e TCR (cm), com valor mínimo de 0,04 e máximo 0,5 (Tabela 17).

Tabela 17. Resumo da análise de variância referente às variáveis crescimento radicular (CR) (cm), taxa de crescimento radicular (TCR) (cm), crescimento de parte aérea (CPA) (cm), massa seca de raiz (MSR) (mg) e massa seca de parte aérea (MSPA) (mg) de genótipos de aroeira crescidos em solução nutritiva completa com concentrações crescentes de Al.

FV	Quadrados médios					
	GL	CR	TCR	CPA	MSR	MSPA
Genótipos	5	49,79253**	0,04753**	2,15413**	71,67568*	536,62088**
Concentrações de Al	4	893,34554**	0,87971**	7,30488**	117,17446**	62,53846 ^{ns}
Genótipos x Concentrações de Al	20	13,59599 ^{ns}	0,01591 ^{ns}	0,34042 ^{ns}	23,08431 ^{ns}	36,39376 ^{ns}
Resíduo	90	12,67039	0,01289	0,41028	22,56742	38,92558
Mínima		1,56	0,04	1,36	9,18	21,96
Máxima		16,14	0,5	2,76	15,20	25,84
Média		7,4	0,22	1,92	12,5	24,46
CVe		48,11	50,08	33,33	38	25,49
$\wedge\text{Og}$		1,85	0,002	0,088	2,45	24,88
CVg		18,41	18,36	15,37	12,53	20,39
H ²		74,55	72,88	80,95	68,52	92,75
IVg		0,38	0,37	0,46	0,33	0,8

**significativo ao nível de 1% de probabilidade; *significativo ao nível de 5% de probabilidade; ^{ns}não significativo; CVe = coeficiente de variação experimental; $\wedge\text{Og}$ = variabilidade genotípica; CVg = coeficiente de variação genético; H² = coeficiente de determinação genotípico em porcentagem; IVg = índice de variação.

Conforme a Tabela 17 é possível observar que as variáveis CR e TCR apresentaram valores muito semelhantes para os parâmetros genéticos avaliados, com exceção apenas para $\wedge\text{Og}$. Essas variáveis tiveram valores relativamente inferiores de IVg, 0,38 para CR e 0,37 para TCR, em relação aos valores das variáveis relacionadas ao desenvolvimento de parte aérea que foram de 0,461 para CPA e 0,7996 para MSPA. Os valores de H² foram relativamente altos para as variáveis CPA e MSPA, 80,95% e 92,75%, respectivamente.

A variável MSR apresentou os menores valores de H² (68,52%) e de IVg (0,33). Também o menor valor de coeficiente de variação genético (CVg), 12,53%, esse coeficiente expressa, em porcentagem, a fração genética na média do experimento.

6 DISCUSSÃO

O uso de parâmetros morfológicos tem sido frequente em estudos que objetivam a identificação de espécies e genótipos tolerantes ao Al (VASCONCELOS et al., 2002; ECCO et al., 2014; BRITO, 2015; PRESOTTO et al., 2018; SOUSA, 2018). A toxidez do Al pode ser verificada por sintomas no sistema radicular e na parte aérea (PEIXOTO, 2007), sendo que, o sintoma mais perceptível da toxicidade do Al é a inibição do crescimento das raízes

(FOY et al., 1978, KINRAIDE, 1991; HORST et al., 2010). Os níveis de Al^{3+} que ocorrem em solos ácidos variam entre 10 e 100 μM , valores suficientes para a inibição rápida e severa do crescimento radicular de diversas espécies (EPSTEIN e BLOOM, 2006). Os danos causados ao sistema radicular irão afetar a absorção de água e o influxo de íons, prejudicando o desenvolvimento da planta (PANDA et al., 2009).

Neste trabalho, por meio da medição periódica do comprimento das raízes de seis genótipos de aroeira, crescidos em solução nutritiva completa com concentrações crescentes de Al, foi possível verificar diferenças estatísticas no desenvolvimento das raízes através da avaliação de variáveis relacionadas ao comprimento radicular. A exposição dos valores das médias do comprimento radicular dos seis genótipos, apresentados na Tabela 1, teve a finalidade de permitir uma visualização de como ocorreu o crescimento das raízes em solução nutritiva em cada tratamento e auxiliar no entendimento das variáveis analisadas estatisticamente.

O principal sintoma da toxicidade do Al^{3+} é a inibição do crescimento radicular, podendo ocorrer já nos primeiros minutos de exposição das raízes a concentrações do elemento. A rapidez do efeito do Al nas raízes indica que primeiramente ocorre a inibição da expansão e do alongamento celular, podendo posteriormente ocorrer também a inibição da divisão celular (KOCHIAN et al., 2004). Assim, medidas do crescimento radicular, facilitadas pelo uso de sistemas de hidroponia, são classicamente utilizadas em estudos de tolerância ao Al em culturas agrícolas (FOY et al., 1972; PAVAN, M.A. e BINGHAN, 1982; CAMARGO et al., 1984; BRACCINI et al., 1998; SILVA, 2009; PORTALUPPI et al., 2010) e mais recentemente em espécies arbóreas de interesse econômico, ecológico ou paisagístico (NOSKO et al., 1988; POLESE, 2013; VASCONCELOS FILHO, 2014; REHMUS et al., 2014; LEMOS et al., 2015; MENDONÇA, 2017). Neste trabalho, foram utilizadas cinco variáveis relacionadas ao crescimento radicular (CR, TCR, ERR%, GTR e MSR) com o objetivo de avaliar a adequação destas para a medida dos efeitos tóxicos do Al no crescimento inicial de raízes de plântulas de aroeira. Também foram avaliadas variáveis relacionadas ao desenvolvimento da parte aérea (CPA e MSPA), além da relação MSR/MSPA.

Ocorreu redução do CR das raízes de aroeira na proporção do aumento das concentrações de Al em solução, indicando que a toxicidade desse elemento afetou negativamente o desenvolvimento radicular. O efeito significativo dos genótipos permite inferir que há variação genética para essa variável. No entanto, não foi identificado efeito significativo da interação entre os fatores. A análise do efeito dos genótipos indicou que o genótipo UFRRJ ARO025 teve o maior CR, resultado também encontrado pela análise da TCR, indicando um crescimento real. Já o genótipo que teve o menor desenvolvimento radicular foi o UFRRJ ARO071, também pela análise das variáveis CR e TCR. Por ser um efeito isolado, devido a não interação com o fator concentrações de Al, provavelmente estes resultados são exclusivamente decorrentes de variações genéticas.

Pela análise de regressão, foi possível correlacionar o efeito do Al no desenvolvimento radicular dos genótipos avaliados. O aumento das concentrações de Al provocou intensa diminuição do CR e da TCR, com valores tendendo à paralização do crescimento. Os níveis críticos de Al calculados com base nas equações de regressão indicaram valores diferentes para os seis genótipos de aroeira, o que se justifica pela variação genética dos materiais, já apontada pela análise isolada dos efeitos dos genótipos. Esses valores variaram entre 160,27 e 221,14 μM de Al, para CR e TCR, respectivamente, sugerindo que a concentração máxima de Al utilizada esteve de acordo com a resposta da espécie para a toxicidade desse elemento e atendeu aos objetivos deste trabalho. Tanto para CR quanto para TCR, o genótipo que se mostrou mais sensível ao Al foi o UFRRJ ARO136, apurado pelo menor valor de nível crítico, sendo de 185,65 μM de Al para o CR e de 161,27 μM de Al para a TCR. Para essas mesmas variáveis o genótipo mais tolerante foi o UFRRJ ARO071, com valores de níveis

críticos de Al de 221,14 μM e 216,92 μM para o CR e a TCR, respectivamente. Mezzavilla (2016), ao avaliar a resposta de plântulas de um único genótipo de aroeira à toxicidade do Al, encontrou a concentração de 131,87 μM de Al como o nível crítico para o crescimento radicular, pela avaliação do comprimento da raiz principal.

A TCR foi utilizada também para avaliar o comportamento dos genótipos dentro de cada concentração de Al. A resposta dessa avaliação serviu para indicar em quais concentrações, dentro da faixa utilizada no experimento (0 a 200 μM), ocorreu variabilidade das respostas dos genótipos aos efeitos tóxicos do Al. O resultado obtido revelou que apenas na concentração de 50 μM houve diferença significativa entre as taxas de crescimento radicular dos genótipos. Verificou-se com esses dados que, nessa concentração de Al, o genótipo UFRRJ ARO071 teve o menor crescimento radicular, resultado que se assemelha aos da análise do efeito isolado dos genótipos para as variáveis CR e TCR, considerando todas as doses de Al. De maneira semelhante, os dados indicaram que o genótipo UFRRJ ARO025 foi o que apresentou o maior crescimento radicular, também em concordância com os resultados dos efeitos isolados dos genótipos para CR e TCR. Pela avaliação desses resultados, é possível inferir que a variação de respostas destes genótipos de aroeira às concentrações de Al em solução se encontra em valores em torno de 50 μM . Assim, para um estudo mais minucioso da concentração onde se inicia a expressão dos efeitos tóxicos do Al, para os genótipos aqui avaliados, é necessário utilizar concentrações menores, entre 0 e 100 μM . Destaca-se que, apesar do genótipo UFRRJ ARO071 apresentar o menor potencial de crescimento da raiz, dentre os seis genótipos avaliados, ele foi o mais tolerante ao Al, verificado pelos maiores valores de níveis críticos de Al em solução, conforme descrito acima, resultado que pode indicar diferenças na forma de raiz, talvez, mais grossa, embora não tenha sido aferida no presente trabalho ou o genótipo possuir algum outro mecanismo de tolerância diferente.

Furtini Neto et al. (1999a, 2000) citam que as espécies florestais nativas apresentam grande variabilidade de respostas quanto à acidez do solo, saturação por bases e concentração de Al trocável. De maneira geral, as espécies pioneiras e secundárias são mais responsivas à calagem e mais exigentes em relação à fertilidade do solo (Furtini Neto et al., 1999b). Alguns estudos que avaliaram níveis críticos de Al para o crescimento inicial de espécies arbóreas, através do uso de solução nutritiva completa, encontraram os seguintes resultados: para *Delonix regia*, 75 μM , (POLESE, 2013); *Anacardium othonianum*, 3376 μM (VASCONCELOS FILHO, 2014); *Bauhinia variegata*, 378,72 μM (MACHADO, 2015); *S. terebinthifolia*, 131,87 μM (MEZZAVILLA, 2016) e *Anadenanthera macrocarpa*, 2058 μM (MENDONÇA, 2016).

Vasconcelos et al. (2002a, 2002b) avaliaram que a ERR% foi o parâmetro morfológico mais sensível para reconhecer a tolerância diferencial de cultivares de arroz a níveis tóxicos de Al. Nas análises aqui realizadas, através dos resultados obtidos pelo cálculo da ERR% verificou-se que houve redução progressiva da elongação radicular dos seis genótipos de aroeira conforme o aumento das concentrações de Al em solução, resultado que se assemelha aos encontrados para as variáveis CR e TCR. O cálculo da ERR% estabelece uma relação entre o crescimento da raiz na presença e na ausência do Al, assim a redução do comprimento radicular pode ser avaliada descontando o efeito genético, ou seja, o resultado percentual irá desconsiderar o valor da TCR própria do genótipo. Os resultados obtidos neste experimento confirmam essa proposição, visto que na concentração de 50 μM de Al o genótipo de que teve o menor valor de ERR% foi o UFRRJ ARO050 (46,2). Assim, é possível avaliar que o menor crescimento radicular do genótipo UFRRJ ARO071, nessa mesma concentração, indicada pelas avaliações do CR e da TCR, ocorreu em função do genótipo e não propriamente da concentração de Al, como já indicado pelas análises anteriores. Já para a concentração de 200 μM de Al o genótipo UFRRJ ARO071 teve o maior

valor de ERR% (19,1), o que está de acordo com os resultados obtidos para CR e TCR, novamente indicando que este genótipo foi o mais tolerante ao Al, nessas condições experimentais. Ou seja, o genótipo UFRRJ ARO071 apresentou um menor potencial de crescimento radicular, porém, uma maior tolerância à toxicidade do Al. Nos tratamentos com 200 μM de Al o genótipo de que apresentou o menor valor da ERR% foi o UFRRJ ARO050 (4,5%), no entanto, com valor não muito distante aos encontrados para os genótipos UFRRJ ARO094 (6,2%) e UFRRJ ARO136 (7,3%), ou seja, este resultado está próximo aos encontrados pelas análises do CR e da TCR, e a maior média de tortuosidade foi encontrada no genótipo UFRRJ ARO050.

A avaliação visual dos efeitos do Al na morfologia da raiz, aqui representado pela variável GTR, permitiu constatar que em todos os genótipos os efeitos foram mais severos nas maiores concentrações de Al na solução. Os genótipos UFRRJ ARO079 e UFRRJ ARO050 apresentaram índices maiores de GTR. Nos tratamentos com 200 μM de Al, todos os genótipos apresentaram raízes mais curtas e grossas, com ápice radicular engrossado e com cor escura. De acordo com Foy et al. (1978), o efeito tóxico do Al, por sua ação na região meristemática, causam engrossamento e escurecimento das raízes principais e secundárias, tornando-as ineficientes na absorção de água e nutrientes. Rossiello e Jacob Neto (2006) e Zeffa et al. (2011) relataram efeitos semelhantes na morfologia de raízes de cultivares de feijão (*Phaseolus vulgaris*) cultivadas em solução nutritiva contendo baixas concentrações de Al. Kopittke et al. (2008) demonstraram que o Al^{3+} causa rigidez da rizoderme, enquanto as células das camadas internas das raízes continuam a crescer, provocando assim rupturas e raízes tortas. O Al interfere na divisão celular das células do ápice da raiz principal e nas raízes laterais, aumenta a rigidez da parede celular através da reticulação de pectinas e reduz a replicação de DNA por causar rigidez na dupla hélice, induzindo uma série de alterações relativas à divisão celular (ZHANG et al., 2014; EEKHOUT et al., 2017). A cultivar mais susceptível ao Al de feijão A222 acumulou mais Al na rizosfera que a a sensível CN178 demonstrado pelo uso do corrante PVC (JACOB-NETO, 1993).

A análise da massa seca radicular permite uma avaliação diferente, pois apesar do efeito das concentrações de Al ter sido significativo, as diferenças entre as médias das massas obtidas não indicaram diferenças significativas estatisticamente entre os tratamentos. Dessa forma, pode-se considerar que essa variável não é adequada para analisar os efeitos da toxicidade do Al no crescimento inicial dos genótipos de aroeira aqui estudados. Pode-se julgar que o efeito verificado na morfologia das raízes interfira na avaliação pela MSR, uma vez que raízes com crescimento anormal, que se apresentaram curtas e grossas, podem ter o mesmo peso de massa seca que as raízes com crescimento normal, com comprimento relativamente maior. O sistema radicular mais grosso, resultante do efeito tóxico do Al, pode aumentar a quantidade de matéria seca da raiz (ZEFFA et al., 2011). Esse resultado é semelhante ao encontrado por Taniguchi et al. (2018) ao avaliarem os efeitos do Al no desenvolvimento de genótipos de cajueiro (*Anacardium occidentale*).

Os resultados avaliados para o CPA indicaram que ocorreu diferença no desenvolvimento da parte aérea das plântulas de aroeira tanto em relação aos genótipos quanto em relação às concentrações de Al, porém, esses efeitos foram isolados. O genótipo UFRRJ ARO079 foi o que apresentou o maior valor de CPA, ocorrendo também diferenças significativas entre os demais genótipos. Diegues (2018) relatou que variáveis ligadas ao porte das plantas de aroeira apresentam alta contribuição com os valores elevados de diversidade genotípica e fenotípica encontrados na coleção de germoplasma da UFRRJ, de onde foram selecionados os genótipos utilizados no presente trabalho. Quanto ao efeito do Al, as diferenças significativas revelaram decréscimo dos valores de CPA diretamente relacionados ao aumento das concentrações de Al.

A análise de variância revelou que não houve efeito significativo das concentrações de Al no CPA dos genótipos UFRRJ ARO136 e UFRRJ ARO094. Resultado semelhante foi encontrado por Mezzavilla (2016). Para os demais genótipos foi verificado efeito significativo do Al no CPA, provocando a redução do crescimento, como também foi relatado por Beutler et al. (2001). Os valores de doses críticas de Al para o CPA foram relativamente maiores do que os encontrados para o CR e a TCR, para os genótipos UFRRJ ARO050 (427,78 μM de Al) e UFRRJ ARO079 (451,54 μM de Al), indicando maior tolerância desses genótipos quando se avalia o efeito do Al no desenvolvimento da parte aérea. Estes resultados indicam que o efeito tóxico do Al manifestou-se mais intensamente no sistema radicular do que na parte aérea, o que também foi constatado por Pavan e Bingham (1982), Alves (1997) e Beutler et al. (2001). A redução do crescimento da parte aérea provocada por efeitos tóxicos do Al ocorre posteriormente aos danos causados no sistema radicular, sendo uma consequência destes (MATSUMOTO et al., 1976; DRUMMOND et al., 2001).

Ao se analisar a MSPA verificou-se efeito significativo apenas para os genótipos, ficando mais claro o efeito secundário da toxicidade do Al no desenvolvimento da parte aérea das plantas de aroeira. Essa variável contribuiu para avaliar que o genótipo UFRRJ ARO079 teve o melhor desenvolvimento da parte aérea, por apresentar também o maior valor de MSPA. Taniguchi et al. (2018) relacionam a ausência de efeito do Al na MSPA ao tempo de exposição das plantas ao elemento. No entanto, neste trabalho foi verificada tendência de paralização total do crescimento das raízes aos 32 dias de cultivo, o que pode indicar que um tempo maior de condução do experimento poderia prejudicar a avaliação dos efeitos exclusivamente do Al no desenvolvimento das plantas de aroeira. De outra forma, Kumar (1981) verificou diminuição da MSPA de mudas de cajueiro após a aplicação de Al por 130 dias. Resultados semelhantes aos deste autor foram encontrados para espécies de citros (LIN e MYHRE, 1991; PEREIRA et al., 2003). A análise de variância não revelou efeito significativo para a avaliação da relação MSR/MSPA, indicando que essa não é uma variável apropriada para o estudo dos efeitos do Al no desenvolvimento de plantas de aroeira.

Pelos resultados apresentados foi possível avaliar que as variáveis que melhor permitiram reconhecer o efeito da toxicidade do Al no crescimento e desenvolvimento inicial dos genótipos de aroeira foram os parâmetros morfológicos ligados ao sistema radicular, com exceção da MSR. Na Tabela 18 são apresentados os resultados obtidos através das variáveis CR e TCR, pelo uso da análise de regressão, e da ERR%. O valor médio entre níveis críticos de Al para as variáveis CR e TCR e o valor da ERR% permitiu avaliar que, entre os seis genótipos de aroeira utilizados neste trabalho, o genótipo UFRRJ ARO71 foi o menos sensível e o genótipo UFRRJ ARO136 o mais sensível à toxicidade do Al.

Tabela 18. Valor médio total de níveis críticos de Al para o crescimento radicular (CR) e taxa de crescimento radicular (TCR), e alongação radicular relativa (ERR%) de genótipos de *Schinus terebinthifolia* crescidos em solução nutritiva completa.

CR	TCR	ERR%	Média
Genótipo - nível crítico de Al (μM)	Genótipo - nível crítico de Al (μM)	Genótipo - ERR (%)	
UFRRJ ARO071 – 221,14	UFRRJ ARO071 - 216,92	UFRRJ ARO071 – 19,1	152.39
UFRRJ ARO025 – 209,64	UFRRJ ARO025 – 196,67	UFRRJ ARO025 – 11,0	139.10
UFRRJ ARO079 – 204,7	UFRRJ ARO079 – 204,70	UFRRJ ARO079 – 12,0	140.47
UFRRJ ARO094 – 200,50	UFRRJ ARO094 – 198,00	UFRRJ ARO094 – 6,2	134.90
UFRRJ ARO050 – 187,92	UFRRJ ARO050 – 182,00	UFRRJ ARO050 – 4,5	124.81
UFRRJ ARO136 – 185,65	UFRRJ ARO136 – 161,27	UFRRJ ARO136 – 7,3	118.07

Os coeficientes de variação (CV%) revelados pelas análises estatísticas deste trabalho, todos acima de 25%, são estimados como altos ou muito altos, quando comparados à classificação proposta por Pimentel-Gomes (1978) para experimentos com culturas agrícolas. No entanto, de acordo com Garcia (1989), essa classificação não é considerada adequada para experimentos com espécies arbóreas. Segundo este autor, os CV para a área florestal devem estar de acordo com a espécie, tipo de experimentação, variável analisada e número de repetições. Em caráter generalizado, os valores de CV podem ser altos a partir de 92%, dependendo dos fatores citados. Não há referências de valores de CV para a espécie *S. terebinthifolia*, contudo, os valores encontrados neste trabalho estão de acordo com os relatados por Mezzavilla (2016). Os CV encontrados também podem estar relacionados a diferenças genéticas e fenotípicas entre os genótipos estudados no presente trabalho, pois os caracteres quantitativos podem ser controlados por muitos genes e/ou altamente afetados pelo ambiente (COSTA et al, 2008; LEITE, 2016).

Com relação aos parâmetros genéticos avaliados, o coeficiente de determinação genotípico (H^2) representa o percentual da variação fenotípica que é atribuída ao efeito genético. A razão entre o CVg e o CVe resulta no valor do IVg, que mostra a parte da variância total que é explicada pelo genótipo (CRUZ e REGAZZI, 2004). As variáveis CR e TCR apresentaram os menores valores de H^2 (74,55% e 72,88%, respectivamente) e de IVg (0,38 e 0,37, respectivamente) comparados aos das variáveis CPA ($H^2 = 80,95\%$ e $IVg = 0,46$) e MSPA ($H^2 = 92,75\%$ e $IVg = 0,8$). Isto sugere que CR e TCR foram relativamente mais influenciados pelo ambiente, condicionado pelas concentrações de Al^{+3} em solução. Os menores valores de H^2 e IVg das variáveis CR e TCR possivelmente estão relacionados à forte interferência do Al no crescimento da raiz.

O maior valor de H^2 foi revelado para a MSPA e não foi demonstrado efeito significativo das concentrações de Al para essa variável. Pode-se então deduzir que a MSPA foi mais influenciada por fatores genéticos do que por fatores ambientais. O maior valor de IVg para MSPA permite avaliar que essa foi a variável com maior variabilidade genética.

O H^2 da variável MSR, com valor de 68,51%, indica que há maior efeito do genótipo do que do ambiente para essa variável. O valor reduzido do IVg, 0,33, indica baixa variabilidade genética para essa variável, o que pode implicar em dificuldade de seleção dos genótipos menos suscetíveis à toxicidade do Al com base na MSR.

O H^2 é propriedade do caráter analisado, do material genético e das condições ambientais a que foram submetidos os tratamentos, podendo variar em função do erro

experimental (RAMALHO et al., 1993). Os valores de H^2 obtidos neste trabalho podem ser considerados relativamente elevados em razão da variabilidade genética dos genótipos de aroeira e das boas condições de controle experimental. Valores de H^2 acima de 50 %, como os aqui relatados, indicam que o efeito do genótipo é maior que o efeito do ambiente para a variável em estudo (RAMALHO et al., 1993; FERRÃO et al., 2008).

O coeficiente de variação genético (CVg) é um parâmetro que permite avaliar a dimensão da variabilidade genética entre os genótipos para um determinado caráter. No presente trabalho os valores de CVg variaram entre 12,53 e 20,39% para todas as variáveis, isso indica que existe variabilidade genética para as variáveis analisadas (FERRÃO et al., 2008).

Não foram encontrados na literatura científica estudos genéticos relacionados à toxicidade do Al para a aroeira, o que não permitiu avaliações comparativas. Também para outras espécies arbóreas, não foram encontrados trabalhos que identifiquem as variáveis morfológicas mais adequadas ao estudo da tolerância ao Al e os parâmetros genéticos a elas relacionados. Segundo Kageyama et al. (2003), mesmo nas áreas de ecologia de populações os estudos genéticos com espécies arbóreas tropicais são incipientes na literatura científica, o que, em parte, se deve a alta diversidade e complexidade de espécies.

Os dados aqui apresentados poderão auxiliar os melhoristas de plantas em estudos de seleção de genótipos de aroeira sensíveis à toxicidade do Al, elemento encontrado facilmente em solos tropicais.

7 CONCLUSÕES

- Existe variabilidade genética entre os genótipos de aroeira quanto à reação ao Al tóxico.
- Os seis genótipos de aroeira testados foram sensíveis à toxicidade do Al. O genótipo UFRRJ ARO071 foi o mais tolerante e o genótipo UFRRJ ARO136 o mais sensível à toxidez por Al.
- A toxidez de Al provocou alteração da morfologia das raízes quando estimada através dos parâmetros: redução do crescimento radicular (CR); taxa de crescimento radicular (TCR); alongação radicular relativa (ERR%); grau de tortuosidade da raiz (GTR), dos seis genótipos de aroeira avaliados neste trabalho.
- As variáveis massas secas da parte aérea (MSPA) e da raiz (MSR) e a relação MSR/MSPA não são parâmetros adequados para avaliar os efeitos tóxicos do Al em plântulas de aroeira.
- As variáveis CR, TCR e ERR% são as mais apropriadas à avaliação dos efeitos tóxicos do Al em plântulas de aroeira.

CAPÍTULO II

USO ASSOCIADO DE ALUMÍNIO E MOLÉCULAS HERBICIDAS NA INIBIÇÃO DO CRESCIMENTO VEGETAL

RESUMO

O Al^{3+} é um dos maiores limitadores ao crescimento vegetal. Concentrações tóxicas desse elemento ocorrem naturalmente em solos ácidos, principalmente em regiões tropicais. A mistura formulada 2,4-D + picloram é utilizada para o controle de uma ampla variedade de espécies de folhas largas; herbáceas, arbustivas ou arbóreas. Esses herbicidas podem apresentar maior eficiência de controle de plantas quando ocorre redução do pH da calda de aplicação. Neste trabalho foi assumida a hipótese de que a mistura de AlCl_3 com as moléculas herbicidas 2,4-D e picloram pode resultar em maior controle do crescimento vegetal, promovendo a diminuição das doses de aplicação dos herbicidas. Nesse sentido, o objetivo do trabalho foi avaliar, através do controle de plantas daninhas, a formulação composta pela mistura de AlCl_3 com 2,4-D + picloram. Também foi avaliada a ação do AlCl_3 na inibição do crescimento de plantas por aplicação em parte aérea. Foram utilizadas caldas preparadas pela combinação das doses 0,75, 1,5 e 3,0 L ha⁻¹ de 2,4-D + picloram com as concentrações de 10, 20 e 40 mM de Al^{3+} . Foi realizado um experimento de campo com espécies herbáceas crescidas espontaneamente e dois em casa de vegetação, com mentrasto (*Ageratum conyzoides*) e aroeira (*Schinus terebinthifolia*). O AlCl_3 aumentou a eficiência de controle do herbicida aplicado em plantas de mentrasto e quando aplicado de forma isolada na parte aérea inibiu o desenvolvimento dessa espécie.

ABSTRACT

Al^{3+} is one of the major limiters to plant growth. Toxic concentrations of this element occur naturally in acid soils, especially in tropical regions. The formulated 2,4-D + picloram blend is used for the control of a wide variety range of broadleaf species; herbaceous, shrub or tree species. These herbicides can present greater efficiency of control of plants when reduction of the pH of the application syrup occurs. In this work the hypothesis was assumed that the mixture of AlCl_3 with the herbicidal 2,4-D and picloram molecules can result in a greater control of the vegetal growth, promoting the reduction of the application rates of the herbicides. In this sense, the objective of the work was to evaluate, through the control of weeds, the formulation composed of the mixture of AlCl_3 with 2,4-D + picloram. The action of AlCl_3 on plant growth inhibition was also evaluated by aerial part application. Caldas prepared by combining the doses of 0.75, 1.5 and 3.0 L ha⁻¹ of 2,4-D + picloram with the concentrations of 10, 20 and 40 mM of Al^{3+} were used. A field experiment was carried out with herbaceous species grown spontaneously and two in a greenhouse with *Ageratum conyzoides* and *Schinus terebinthifolia*. AlCl_3 increased the control efficiency of the herbicide applied in *A. conyzoides* plants and when applied in isolated form in the aerial part inhibited the development of this species.

8 INTRODUÇÃO

A utilização de herbicidas na agricultura e na silvicultura, bem como na produção de forrageiras para a pecuária, produz benefícios na produtividade e facilita o manejo. De acordo com dados do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA) divulgados no ano de 2016, o Brasil é o maior consumidor mundial de agrotóxicos, sendo que os herbicidas são os produtos com maior percentual de consumo interno. Apesar dos benefícios gerados, o uso de herbicidas causa sérios riscos ambientais e à saúde animal e humana (BELO et al., 2012; NETO et al., 2014; CARNEIRO et al., 2015; PIGNAT et al., 2017). A redução do uso, pela melhor utilização e eficiência do produto, tende a diminuir riscos e custos.

A mistura formulada 2,4-D + picloram é uma das mais utilizadas no controle de plantas daninhas em pastagens. Trata-se de um herbicida seletivo para gramíneas que controla uma ampla gama de espécies de folhas largas; herbáceas, arbustivas ou arbóreas (RODRIGUES e ALMEIDA, 2011). Essa formulação é indicada para o controle de plantas daninhas em culturas como cana-de-açúcar e arroz. O mentrasto (*Ageratum conyzoides*) é considerada uma importante planta daninha que interfere com a cultura da cana-de-açúcar, ocorrendo também em pastagens e margens de estrada (VICTORIA FILHO e CHRISTOFFOLETI, 2004; MOREIRA e BRAGANÇA, 2011). A aroeira (*S. terebinthifolia*) é uma das principais plantas lenhosas considerada daninha em pastagens, sendo o 2,4-D + picloram indicado para o seu controle (LORENZI, 1991).

Os herbicidas 2,4-D e picloram são classificados, quanto ao mecanismo de ação, como auxínicos ou mimetizadores de auxina (SILVA et al., 2007). Eles atuam como reguladores do crescimento vegetal. Sua ação interfere na divisão e alongação celular devido ao desbalanço hormonal que promovem nas células através do aumento da biossíntese de etileno, giberelinas, citocininas e ácido abscísico. Como consequência ocorre um processo desordenado de crescimento do tecido vegetal, notadamente em tecidos maduros que retornam às atividades meristemáticas, ocorrendo também inibição da divisão celular em meristemas primários (OLIVEIRA JÚNIOR, 2011). É induzida intensa proliferação celular, causando epinastia de folhas e caule e interrupção do floema. Afetam seriamente o metabolismo de ácidos nucléicos e a plasticidade da parede celular. As alterações bioquímicas e metabólicas promovidas por esses herbicidas podem ocasionar a morte de plantas sensíveis a sua ação (SILVA et al., 2007).

Misturas de herbicidas, como no caso da formulação composta por 2,4-D + picloram, são utilizadas com objetivo de aumentar o espectro de ação e a eficiência de controle de plantas (OLIVEIRA e BEGAZO, 1989; JORDAN e WARREN, 1995). Uma importante vantagem decorrente das misturas, atribuída à interação entre herbicidas com diferentes mecanismos de ação, é a diminuição do risco do surgimento de plantas daninhas resistentes ou tolerantes (JORDAN e WARREN, 1995; AGOSTINETTO e VARGAS, 2014). No ano de 2015, o mentrasto foi incluído na lista de plantas resistentes aos herbicidas do grupo de inibidores da acetolactato sintase (ALS) (HEAP, 2015).

De acordo com Oliveira (2001) e Procópio et al. (2003), a análise do Kow do herbicida dever ser realizada juntamente com o pKa e o pH da solução, pois o Kow e a solubilidade em água podem variar em função do pH. Em valores de pH superiores ao pKa as moléculas encontram-se ionizadas e mais solúveis em água (CHRISTOFFOLETI e LÓPEZ-OVEJERO, 2008). O 2,4-D possui valores de Kow = 2,58 – 2,83 em pH 1 e 0,177 em pH 7 (SILVA et al., 2007), estes valores indicam que a molécula é altamente solúvel em água e penetra mais facilmente na folha pela sua porção hidrofílica. Já o picloram possui Kow = 83,2

em pH 1 e 1,4 em pH 7 (BRITISH CROP PROTECTION COUNCIL, 1994), o que indica que em valor muito reduzido de pH apresenta baixa solubilidade em água e maior facilidade de penetração na folha pela porção lipofílica.

A toxicidade do alumínio (Al) é conhecida por limitar o crescimento vegetal. Devido à sua solubilidade dependente do pH, o efeito tóxico ocorre somente em valores de pH abaixo de 4,5 pela predominância do Al^{3+} , reconhecida como sua forma mais tóxica. O Al afeta componentes e processos celulares como o núcleo e a divisão celular (SILVA et al., 2000); a composição, propriedades físicas e estrutura da membrana plasmática (ZHAO et al., 1987; WAGATSUMA et al., 1995), a captação de Ca^{2+} e outros íons (Ryan e KOCHIAN, 1993). O principal sintoma da toxicidade ao Al é a inibição do crescimento das raízes, mesmo quando expostas a concentrações micromolares deste íon (BARCELO e POSCHENRIEDER, 2002). Al^{3+} é tão reativo que existem muitos locais potenciais de ligação, incluindo a parede celular, a superfície da membrana plasmática, o citoesqueleto e o núcleo celular. Por interferir na divisão celular, o Al pode afetar diferentes fases do crescimento vegetal (KOCHIAN, 1995; BARCELO e POSCHENRIEDER, 2002).

O cloreto de alumínio hexahidratado ($\text{AlCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$) é um ácido de Lewis muito utilizado no preparo de soluções nutritivas para testes de toxicidade do Al em plantas. Neste trabalho é assumida a hipótese de que a mistura de AlCl_3 com as moléculas herbicidas 2,4-D e picloram pode resultar em maior controle do crescimento vegetal, promovendo a diminuição das doses de aplicação dos herbicidas. Sabe-se que qualquer elemento químico adicionado à calda terá o potencial de interagir com as moléculas herbicidas afetando sua ação na planta (QUEIROZ et al., 2008; CUNHA et al., 2017). Nesse sentido, o objetivo deste trabalho foi avaliar, através do controle de plantas daninhas em condições de campo e em casa de vegetação, a formulação composta pela mistura de AlCl_3 com 2,4-D + picloram. Também foi avaliada a ação do AlCl_3 na inibição do crescimento de plantas por aplicação em parte aérea.

9 MATERIAL E MÉTODOS

9.1 Ensaio 1. Preparo de Mistura de AlCl_3 + 2,4-D + picloram

Antes de iniciar os experimentos, foram realizados testes em laboratório com o objetivo de avaliar a interação física de misturas dos produtos AlCl_3 e de 2,4-D + picloram, em diferentes combinações de concentrações e doses (ABNT NBR 13875, 2014). Para o preparo das misturas (caldas) foi utilizada solução estoque de AlCl_3 na concentração 2M, preparada segundo Kinraide (1978), a partir de $\text{AlCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$, 99,5% P.A, pH 2,5 - 3,5 (5% a 25°C). A formulação de 2,4-D + picloram foi obtida a partir do produto comercial Tordon®. As caldas foram feitas utilizando água deionizada à temperatura de 25°C.

As misturas foram feitas na seguinte ordem: balão volumétrico de 500 mL preenchido aproximadamente até a metade do volume com água deionizada; alíquota de AlCl_3 ; agitação manual; alíquota de 2,4-D + picloram; agitação manual; volume do balão volumétrico completado com água deionizada; agitação manual e com o uso de bastão de vidro. Durante o preparo das caldas e aproximadamente 30 minutos depois, foram realizadas avaliações visuais para avaliar as possíveis interações das misturas quanto à ocorrência de sobrenadante, precipitação, floculação (formação de grumos) ou mistura homogênea. Foram consideradas adequadas as caldas avaliadas como homogêneas (ABNT NBR 13875, 2014). Em concentrações de AlCl_3 superiores a 40 mM, para os valores de dose de 2,4-D + picloram equivalentes a 0,75, 1,5 e 3,0 L ha⁻¹ foi verificada formação de grumos, que ficaram presos à lateral e ao fundo do balão volumétrico, sendo essas misturas não utilizadas nos testes.

As dosagens e o volume de calda foram proporcionais aos utilizados em campo. As doses de 2,4-D + picloram foram equivalentes a 0,75, 1,5 e 3,0 L ha⁻¹. As misturas com AlCl_3

foram preparadas de maneira a obter as concentrações de 10, 20 e 40 mM no volume final da calda. Foi considerado um volume de calda para aplicação de 144 L ha⁻¹. O delineamento experimental foi o inteiramente casualizado em esquema fatorial com 4 concentrações de AlCl₃ (0, 10, 20 e 40 mM) e 4 doses de 2,4-D + picloram (0; 0,75; 1,5 e 3 L ha⁻¹), e 3 repetições. As doses de 0,75; 1,5 e 3 L ha⁻¹ correspondem a caldas de 0,52%, 1,56% e 2% de diluição de 2,4-D + picloram, respectivamente.

Na Tabela 19 são apresentadas as combinações aplicadas nos tratamentos 1 ao 16.

Tabela 19. Combinações de concentrações de AlCl₃ e doses de 2,4-D + picloram para a formulação de tratamentos (T).

AlCl ₃ (mM)	Doses de 2,4-D + picloram (L ha ⁻¹)			
	0	0,75	1,5	3
0	T1	T2	T3	T4
10	T5	T6	T7	T8
20	T9	T10	T11	T12
40	T13	T14	T15	T16

Foram retiradas 3 alíquotas de 50 mL de cada calda para avaliação do valor de pH e condutividade elétrica (CE). Para medida do pH foi utilizado um peagâmetro de bancada com precisão de 0,01. Para medir a CE foi utilizado um condutivímetro portátil de alta precisão (fabricante Digimed). As medidas de pH e CE foram realizadas com as amostras à temperatura de 25°C, 2 horas após o preparo das caldas e, posteriormente, de 2 em 2 dias até 12 dias após o preparo.

Os dados obtidos foram submetidos à análise de variância pelo teste F a 5% de probabilidade e as médias comparadas pelo teste de Tukey a 5%, com o auxílio do programa estatístico SISVAR, versão 5.6 (FERREIRA, 2016).

9.2 Experimento 2. Uso Associado de AlCl₃ e 2,4-D + picloram no Controle de Plantas Daninhas no Campo

O experimento foi conduzido em área experimental do setor de Grandes Culturas do Departamento de Fitotecnia pertencente à Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Município de Seropédica. Segundo a classificação de Köppen, o clima da região é do tipo 'Aw', com chuvas concentradas entre novembro e março, precipitação anual média de 1.213 mm e temperatura média anual de 23,9 °C (CARVALHO et al., 2011). A instalação do experimento foi realizada no dia 10/11/2017, sendo conduzido até o dia 01/12/2017. Durante este período, a temperatura local teve mínima de 17 °C e máxima de 38 °C. A precipitação média foi de 13 mm e a umidade relativa do ar (UR%) esteve em torno de 60%. Os dados climáticos de temperatura, precipitação e UR% estão apresentados nas figuras 11, 12 e 13, respectivamente.

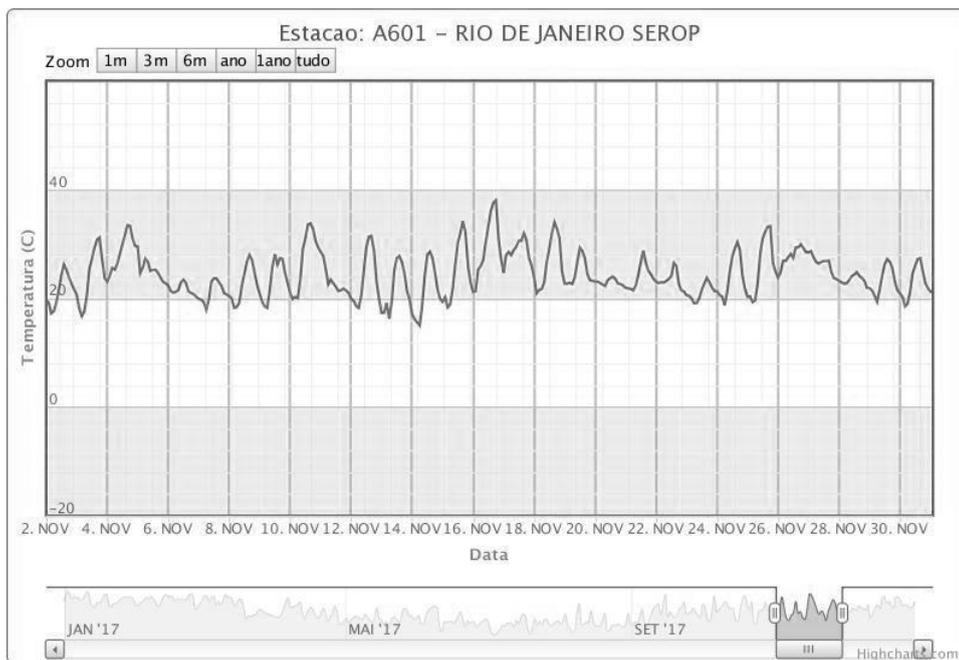


Figura 11. Representação dos dados de temperatura (°C) para o período de 01/11/2017 a 01/12/2017. Seropédica – RJ. Fonte: Instituto Nacional de Meteorologia (INMET).

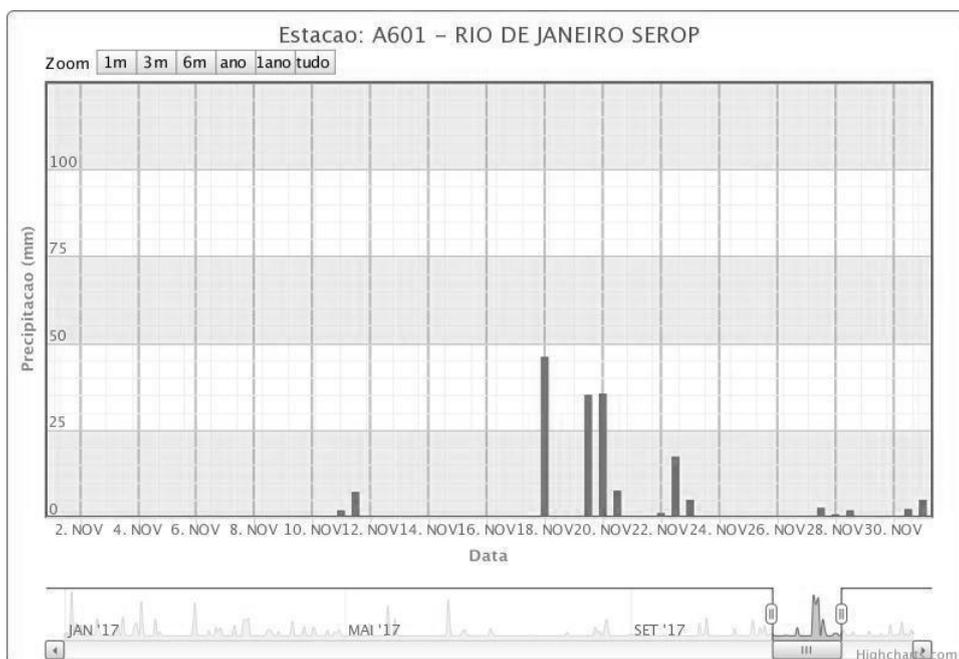


Figura 12. Representação dos dados de precipitação (mm) para o período de 01/11/2017 a 01/12/2017. Seropédica – RJ. Fonte: Instituto Nacional de Meteorologia (INMET).

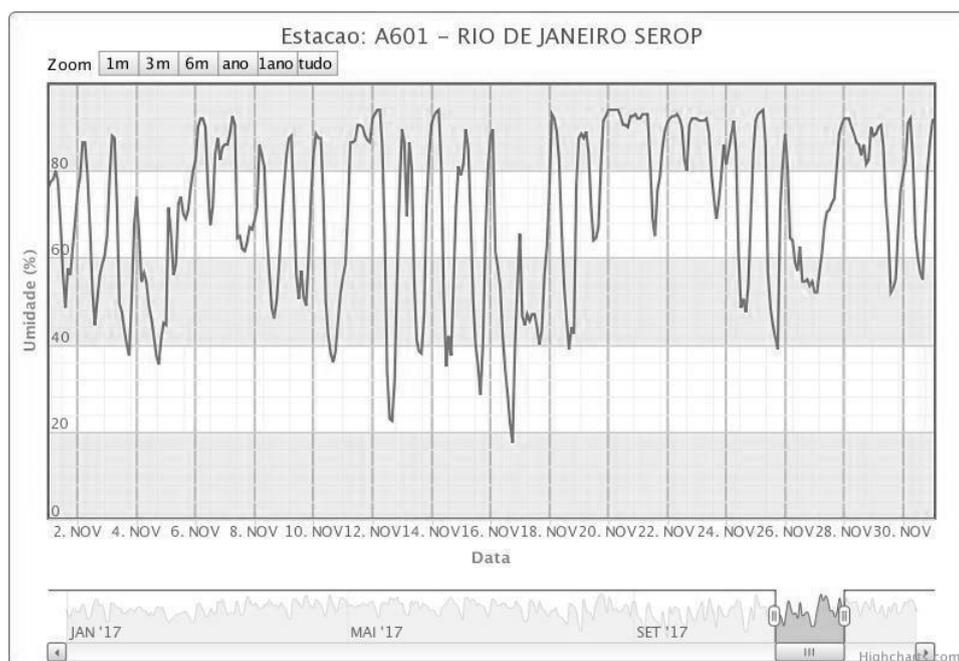


Figura 13. Representação dos dados de umidade relativa do ar (UR%) para o período de 01/11/2017 a 01/12/2017. Seropédica – RJ. Fonte: Instituto Nacional de Meteorologia (INMET).

O solo da área onde foi realizado o experimento é do tipo Planossolo (RAMOS et al., 1973). Na Tabela 20 são apresentados os resultados da análise química do solo realizada a partir de amostras de terra coletadas na área do experimento, nas profundidades de 0 - 20 cm e de 20 - 40 cm. As amostras foram coletadas antes da instalação do experimento.

Tabela 20. Características químicas do solo da área do experimento 2, em duas profundidades de amostragem.

Prof (cm)	Na	Ca	Mg	K	H+Al	Al	S	T
	----- Cmol _c / dm ³ -----							
0 - 20	0,084	3,4	3,8	0,10	2,8	0,2	7,38	10,18
20 - 40	0,143	3,2	2,2	0,05	2,8	0,1	5,59	8,39
Prof (cm)	V	m	n	pH _{água}	Corg	P	K	
	----- % -----			1:2,5	%	----- mg/L -----		
0 - 20	73	2,63	1	5,5	1,62	14	39	
20 - 40	67	1,76	2	5,6	1,27	26	18	

O delineamento experimental foi o inteiramente casualizado, com 16 tratamentos e 4 repetições, em esquema fatorial 4 x 4. Os tratamentos consistiram na combinação de 4 concentrações de AlCl₃ (0, 10, 20 e 40 mM) e 4 doses de 2,4-D + picloram (0; 0,75; 1,5 e 3 L ha⁻¹). As caldas foram preparadas em laboratório, conforme metodologia descrita no Ensaio 1. O volume de aplicação foi equivalente a 144 L ha⁻¹. Cada parcela ocupou uma área de 4 m² (2 x 2 m), separadas entre si por ruas de 0,6 m de largura.

A aplicação da calda foi realizada utilizando pulverizador costal pressurizado a CO₂, equipado com ponta XR Teejet 11005, para proporcionar o volume de calda. As condições do

tempo no momento da aplicação eram de 34,05 °C, UR% 72 e velocidade do vento de 3,7 km/h.

As avaliações de controle de todas as espécies daninhas presentes na área foram realizadas aos 7, 14 e 21 dias após a aplicação (DAA), por meio de observações visuais onde foram atribuídas notas em porcentagem, sendo 0 (zero) correspondente a ausência de controle e 100% correspondente a morte das plantas, de acordo com recomendações da Sociedade Brasileira da Ciência das Plantas Daninhas (SBCPD, 1995).

Um dia antes da instalação do experimento e 21 DAA, foi realizado levantamento das principais plantas daninhas predominantes na área. As plantas delimitadas por um gabarito de 0,30 m x 0,30 m foram coletadas integralmente (parte aérea e raiz), identificadas e embaladas em sacos de papel. Nos dois levantamentos foram feitas coletas de 4 amostras aleatórias na área total do experimento. As espécies presentes em cada amostra foram contadas, para determinação do número de indivíduos e cálculo da frequência relativa (FR%), que é a frequência absoluta de uma espécie dividida pela soma das frequências absolutas de todas as espécies. As plantas embaladas foram secas em estufa sem circulação de ar a 60°C por 72 horas, até obtenção de peso constante, para determinação do peso de matéria seca (MS). As pesagens da MS foram realizadas em balança de precisão com 0,001 g. Os valores médios do peso de MS foram calculados pelo somatório do peso de MS da espécie em cada amostra dividido pelo número de amostras.

Os dados obtidos foram submetidos à análise de variância pelo teste F a 5% de probabilidade e as médias comparadas pelo teste de Tukey a 5%, com o auxílio do programa estatístico SISVAR, versão 5.6 (FERREIRA, 2016).

9.3 Experimento 3 - Uso Associado de AlCl₃ e 2,4-D + picloram no Controle de *Ageratum conyzoides* (mentrasto), em Casa de Vegetação

O experimento foi conduzido em casa de vegetação do Departamento de Solos da Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro (UFRRJ), município de Seropédica. O delineamento experimental utilizado foi o inteiramente casualizado, com quatro repetições e 16 tratamentos, em esquema fatorial 4 x 4. Os tratamentos consistiram na combinação de 4 concentrações de AlCl₃ (0, 10, 20 e 40 mM) e 4 doses de 2,4-D + picloram (0; 0,75; 1,5 e 3 L ha⁻¹). As caldas foram preparadas em laboratório, conforme metodologia descrita no Ensaio 1. O volume de aplicação foi equivalente a 200 L ha⁻¹.

Vasos com capacidade de 1 L foram preenchidos com substrato de terra retirada da camada de 0 - 20 cm de um Planossolo (RAMOS et al., 1973) coletado na área experimental do setor de Grandes Culturas do Departamento de Fitotecnia pertencente à Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Município de Seropédica. Os resultados das análises química e física do solo são apresentados na tabela 21.

Tabela 21. Características químicas do solo da área do experimento 3, em duas profundidades de amostragem.

Prof. (cm)	Textura	pH	Al	(H+Al)	Ca	Mg	Na	S B	t	T	V	m	P	K	
		cmol _c /dm ³%.....		mg/dm ³	
0-20	Média	4,8	0,2	4,2	3,4	1,4	0,09	5,1	5,3	9,3	55,0	4,0	27	74	
20-40	Média	4,6	0,2	4,7	2,6	1,1	0,09	3,9	4,1	8,6	45,0	5,0	14	60	

Plantas de *Ageratum conyzoides* (mentrasto) foram obtidas a partir do banco de sementes presente no solo coletado. Durante 30 dias, após o preenchimento dos vasos, foi realizada irrigação manual com volume de água suficiente para manter a umidade do substrato. O processo de germinação de diversas espécies espontâneas ocorreu durante esse período, porém, foram realizadas catações manuais para que permanecessem nos vasos apenas plantas de mentrasto. Um dia antes da aplicação dos tratamentos, as plantas de mentrasto foram selecionadas quanto à uniformidade de altura, sendo deixada uma planta por vaso. As plantas apresentavam de 3 a 4 pares de folhas totalmente expandidas e altura média de 12 cm. A aplicação das caldas foi realizada utilizando pulverizador costal pressurizado a CO₂, equipado com ponta XR Teejet 11005, proporcionando um volume de calda de 200 L ha⁻¹. As condições do tempo no momento da aplicação eram de 35,05°C, UR% 60 e velocidade do vento de 2,5 km/h. Durante o período de condução do experimento, a temperatura dentro da casa de vegetação teve máxima de 35 °C e mínima de 20 °C, a UR% esteve em torno de 65%.

As avaliações de controle das plantas de mentrasto foram realizadas aos 3, 7, 14 e 21 dias após a aplicação (DAA), por meio de observações visuais onde foram atribuídas notas em porcentagem, sendo 0 (zero) correspondente a ausência de controle e 100% correspondente a morte das plantas, de acordo com recomendações da Sociedade Brasileira da Ciência das Plantas Daninhas (SBCPD, 1995). Logo após a última avaliação, as plantas foram coletadas a partir da base do caule, embaladas em sacos de papel com identificação e levadas para estufa sem circulação de ar a 60 °C por 72 horas, até obtenção de peso constante. As pesagens da massa seca de parte aérea (MSPA) foram realizadas em balança de precisão com 0,0001 g.

Os dados obtidos foram submetidos à análise de variância pelo teste F a 5% de probabilidade e as médias comparadas pelo teste de Tukey a 5%, com o auxílio do programa estatístico SISVAR, versão 5.6 (FERREIRA, 2016).

9.4 Experimento 4 - Uso Associado de AlCl₃ e 2,4-D + picloram no Controle de *Schinus Terebinthifolia* (aroeira), em Casa de Vegetação.

O experimento foi conduzido em casa de vegetação do Departamento de Solos da Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro (UFRRJ), município de Seropédica. O delineamento experimental foi o inteiramente casualizado, com 3 repetições e 9 tratamentos, em esquema fatorial 3 x 3. Os tratamentos consistiram na combinação de 3 concentrações de AlCl₃ (0, 10 e 20 mM) e 3 doses de 2,4-D + picloram (0; 0,75 e 1,5 L ha⁻¹). As caldas foram preparadas em laboratório, conforme metodologia descrita no Ensaio 1. O volume de calda para aplicação foi de 200 L ha⁻¹. As condições experimentais foram as mesmas descritas para o experimento 2.

Foram utilizadas mudas de *Schinus terebinthifolia* (aroeira) com 3 meses de idade e altura média de 46 cm. As mudas foram produzidas a partir de sementes de uma única planta mãe. O substrato de cultivo foi feito pela mistura de terra preta, terra vermelha e esterco bovino curtido, na proporção 1 x 1 x 1, acondicionado em sacos plásticos pretos nas dimensões de 20 cm x 22 cm, com capacidade para 2 L.

A aplicação das caldas foi realizada utilizando pulverizador costal pressurizado a CO₂, equipado com ponta XR Teejet 11005, proporcionando um volume de calda de 200 L ha⁻¹. As condições do tempo no momento da aplicação eram de 35,05°C, UR% 60 e velocidade do vento de 2,5 km/h.

As condições experimentais foram as mesmas descritas para o experimento 3. As avaliações de controle das plantas de aroeira foram realizadas aos 3, 7, 14 e 21 dias após a aplicação (DAA), por meio de observações visuais onde foram atribuídas notas em porcentagem, sendo 0 (zero) correspondente a ausência de controle e a nota 100 correspondente a morte das plantas, de acordo com recomendações da Sociedade Brasileira da Ciência das Plantas Daninhas (SBCPD, 1995). Logo após a última avaliação, as plantas foram

coletadas a partir da base do caule, embaladas em sacos de papel com identificação e levadas para estufa sem circulação de ar a 60 °C por 72 horas até obtenção de peso constante. A determinação da massa seca de parte aérea (MSPA) foi realizada com o uso de balança de precisão com 0,01 g.

Os dados obtidos foram submetidos à análise de variância pelo teste F a 5% de probabilidade e as médias comparadas pelo teste de Tukey a 5%, com o auxílio do programa estatístico SISVAR, versão 5.6 (FERREIRA, 2016).

10 RESULTADOS

10.1 Ensaio 1. Preparo de Mistura de AlCl_3 + 2,4-D + picloram.

Não houve variação dos valores de pH e de CE das caldas medidos até aos 12 dias após o preparo das caldas. Na tabela 22 são apresentados os valores de F e níveis de significância obtidos através da análise de variância para os valores de pH das caldas. Foi demonstrado efeito significativo dos fatores concentrações de AlCl_3 , e doses de 2,4-D + picloram e da interação entre eles.

Tabela 22. Valores de F e níveis de significância obtido na análise de variância para os valores de pH das caldas.

Fonte de Variação	Valor de F
Concentrações de AlCl_3	2691,8860**
Doses de 2,4-D + picloram	37,1491**
AlCl_3 x 2,4-D + picloram	91,1508**
CV%	2,32

** significativo em nível de 1% de probabilidade.

Foram então realizados os desdobramentos da interação entre concentrações de AlCl_3 e doses de 2,4-D + picloram, mostrados na tabela 23. As caldas que continham apenas 2,4-D + picloram apresentaram os maiores valores de pH, sem que houvesse diferença significativa entre as médias dos tratamentos com as diferentes doses. É possível observar que os menores valores de pH ocorrem quando há presença de AlCl_3 na calda. Verifica-se também uma tendência de diminuição de pH nas maiores concentrações do AlCl_3 .

Tabela 23. Desdobramento da interação entre concentração de AlCl_3 (mM) e doses de 2,4-D + picloram (L ha^{-1}) para os valores de pH das caldas.

AlCl_3 (mM)	Doses de 2,4-D + picloram (L ha^{-1})			
	0	0,75	1,5	3
0	4,40 aB	6,27 aA	6,20 aA	6,33 aA
10	3,47 bA	3,20 bB	3,20 bB	3,23 bB
20	3,30 bA	3,17 bAB	3,10 bcB	3,17 bAB
40	3,13 cA	3,13 bA	3,00 cAB	2,90 cB

As médias seguidas pelas mesmas letras minúsculas nas colunas e letras maiúsculas nas linhas não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

De maneira semelhante, foi demonstrado efeito significativo das concentrações de AlCl_3 , das doses de 2,4-D + picloram e da interação entre eles para os valores de CE. Os valores estimados de F e níveis de significância obtidos na análise de variância da CE das caldas são apresentados na tabela 24.

Tabela 24. Valores de F e nível de significância obtido na análise de variância para os valores de condutividade elétrica (CE) das caldas (mS cm^{-1}).

Fonte de Variação	Valor de F
Concentrações de AlCl_3	396948,48**
Doses de 2,4-D + picloram	1681,2680**
AlCl_3 x 2,4-D + picloram	598,2472**
CV%	0,44

** significativo em nível de 1% de probabilidade.

Os valores de CE seguiram a mesma tendência dos valores de pH (Tabela 25). Nos tratamentos contendo apenas 2,4-D + picloram houve aumento do CE conforme incremento das doses, com diferença significativa entre as médias. Nos tratamentos contendo AlCl_3 , isolado ou em associação com 2,4-D + picloram, pode ser observado que os valores de CE das caldas foram maiores conforme o aumento das concentrações de AlCl_3 . A combinação da maior concentração de AlCl_3 (40 mM) com as duas maiores doses de 2,4-D + picloram (1,5 e 3,0 L ha^{-1}) resultaram nos maiores valores de CE. Os valores dos coeficientes de variação (CV%) foram baixos para as análises de pH (2,32%) e CE (0,44%) o que indica alta precisão experimental (PIMENTEL-GOMES, 2009).

Tabela 25. Desdobramento da interação entre concentração de AlCl_3 (mM) e doses de 2,4-D + picloram (L ha^{-1}) para os valores de condutividade elétrica das caldas (mS cm^{-1}).

AlCl_3 (mM)	Doses de 2,4-D + picloram (L ha^{-1})			
	0	0,75	1,5	3
0	0,01 dD	0,39 dC	1,04 dB	1,34 dA
10	2,49 cC	2,76 cB	2,84 cA	2,72 cB
20	4,59 bB	4,63 bB	4,72 bA	4,73 bA
40	8,51 aB	8,53 aB	8,67 aA	8,70 aA

As médias seguidas pelas mesmas letras minúsculas nas colunas e letras maiúsculas nas linhas não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

10.2 Experimento 2 - Uso Associado de AlCl_3 e 2,4-D + picloram no Controle de Plantas Daninhas no Campo.

A área experimental onde foi realizado o experimento, possuía uma população de plantas daninhas comum para a região. Na tabela 26 são expostas as frequências relativas (FR%) e os valores médios dos pesos de matéria seca (MS) das plantas amostradas na primeira e na segunda avaliação na área do experimento, realizadas antes da aplicação dos tratamentos e aos 21 DAA. Observa-se uma maior FR% de gramíneas (tiririca, capim

colonião e grama seda) nas duas avaliações, com aumento substancial de seus pesos de MS na segunda avaliação.

Tabela 26. Frequência de ocorrência e peso de matéria seca de plantas daninhas na primeira e na segunda avaliação na área experimental.

Espécie	1ª avaliação		2ª avaliação	
	FR%	MS (g)	FR%	MS (g)
Tiririca (<i>Cyperus rotundus</i>)	68,49	20,787	41,45	9,085
Capim colonião (<i>Panicum maximum</i>)	17,54	2,798	31,34	67,48
Gramma seda (<i>Cynodon dactylon</i>)	7,0	2,772	19,43	12,952
Soja perene (<i>Neonotonia wightii</i>)	5,73	0,534	5,35	3,42
Carrapicho de carneiro (<i>Acanthosperum hispidum</i>)	1,24	0,563	1,2	0,097
Leiteiro (<i>Euphorbia heterophylla</i>)	0,0	0,0	1,2	4,04

Na tabela 27 são apresentados os valores de F e os níveis de significância obtidos através da análise de variância dos percentuais de controle de plantas daninhas verificados aos 7, 14 e 21 DAA. Pode ser observado que aos 7 DAA não foi encontrado efeito significativo para concentrações de $AlCl_3$, ocorreu efeito significativo para doses de 2,4-D + picloram e para a interação entre concentrações de $AlCl_3$ e doses de 2,4-D + picloram. Aos 14 e 21 DAA foi demonstrado efeito significativo apenas para doses de 2,4-D + picloram.

Tabela 27. Valor de F e nível de significância do percentual de controle de plantas daninhas aos 7, 14 e 21 dias após a aplicação (DAA) de concentrações de $AlCl_3$, doses de 2,4-D + picloram e da associação entre concentrações de $AlCl_3$, e doses de 2,4-D + picloram.

Fonte de Variação	Valor de F		
	7 DAA	14 DAA	21 DAA
Concentrações de $AlCl_3$	1,9855 ^{ns}	0,6456 ^{ns}	0,5676 ^{ns}
Doses de 2,4-D + picloram	16,1859**	11,9738**	9,2162**
$AlCl_3$ x 2,4-D + picloram	4,1480**	1,5208 ^{ns}	1,8116 ^{ns}
CV%	32,66	43,2	43,6

**significativo em nível de 1% de probabilidade; ns não significativo em nível de 5% de probabilidade.

Quando realizados os desdobramentos dos resultados da avaliação realizada aos 7 DAA (Tabela 28), não foi verificada diferença significativa entre as médias dos tratamentos contendo apenas doses de 2,4-D + picloram nas caldas, porém estes diferiram significativamente em relação a testemunha. Houve diferença significativa entre as médias dos tratamentos contendo somente $AlCl_3$, sendo que os maiores percentuais de controle verificados para as caldas com concentrações de 10 e 40 mM desse produto. Quando associado ao 2,4-D + picloram, as concentrações de $AlCl_3$ não influenciaram significativamente o percentual de controle das plantas, exceto para a mistura na concentração

de 40 mM com 0,75 L ha⁻¹ de 2,4-D + picloram, onde foi verificado o menor percentual de controle de plantas.

Tabela 28. Desdobramento da interação entre concentrações de AlCl₃ e doses de 2,4-D + picloram para o percentual de controle de plantas daninhas aos 7 dias após a aplicação.

AlCl ₃ (mM)	% de controle			
	Doses de 2,4-D + picloram (L ha ⁻¹)			
	0	0,75	1,5	3,0
0	0,0 cB	57,5 aA	43,75 aA	62,5 aA
10	40,0 abA	40,0 aA	52,5 aA	60,0 aA
20	15,0 bcB	55,0 aA	50,0 aA	70,0 aA
40	55,0 aAB	30,0 aB	65,0 aA	67,5 aA

Médias seguidas pelas mesmas letras minúsculas nas colunas e letras maiúsculas nas linhas não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

Como pode ser observado na tabela 29, aos 14 DAA não foi verificada diferença significativa entre as médias dos tratamentos com doses de 2,4-D + picloram, a diferença ocorreu apenas em relação ao tratamento testemunha. Aos 21 DAA, os maiores percentuais de controle ocorreram nos tratamentos com aplicação de doses de 0,75 e 3 L ha⁻¹ de 2,4-D + picloram.

Tabela 29. Valores médios do percentual de controle de plantas daninhas aos 14 e 21 dias após a aplicação (DAA) em função de doses de 2,4-D + picloram.

Doses de 2,4-D + picloram (L ha ⁻¹)	% de controle	
	14 DAA	21 DAA
0	21,88 b	28,75 c
0,75	43,75 a	53,13 ab
1,5	44,38 a	44,38 bc
3	60,63 a	66,88 a
CV%	43,1	43,6

Médias seguidas pelas mesmas letras minúsculas nas colunas e letras maiúsculas nas linhas não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

10.3 Experimento 3 - Uso Associado de AlCl₃ e 2,4-D + picloram no Controle de *Ageratum conyzoides* (mentrasto)

A análise de variância deste experimento (Tabela 30) revelou efeitos significativos dos fatores concentrações de AlCl₃, doses de 2,4-D + picloram e da interação entre eles para as avaliações do percentual de controle de plantas de mentrasto realizadas aos 3, 7 e 14 DAA. Aos 21 DAA não foi revelado efeito significativo apenas para concentrações de AlCl₃.

Tabela 30. Valor de F e nível de significância do percentual de controle de *Ageratum conyzoides* aos 3, 7, 14 e 21 dias após a aplicação (DAA) de concentrações de AlCl₃, doses de 2,4-D + picloram e da associação entre concentrações de AlCl₃, e doses de 2,4-D + picloram.

Fonte de Variação	Valor de F			
	3 DAA	7 DAA	14 DAA	21 DAA
Concentrações de AlCl ₃	5,436**	20,823**	6,02**	1,668 ^{ns}
Doses de 2,4-D + picloram	253,846**	444,704**	817,715**	735,528**
AlCl ₃ x 2,4-D + picloram	3,031**	3,575**	6,62**	4,557**
CV%	16,2	11,1	9,3	9,8

**significativo ao nível de 1% de probabilidade, ^{ns} não significativo ao nível de 5% de probabilidade.

Na tabela 31 são apresentados os resultados da interação entre concentrações de AlCl₃ e doses de 2,4-D + picloram no percentual de controle de plantas de mentrasto, aos 3 DAA dos tratamentos. O percentual de controle foi nulo nos tratamentos somente com AlCl₃, independente da concentração. Para as médias dos percentuais de controle referentes aos tratamentos com doses de 2,4-D + picloram não foram reveladas diferenças significativas, diferindo apenas da testemunha. Observa-se que entre as médias dos tratamentos com a mistura destes dois produtos a diferença significativa ocorreu apenas em relação aos tratamentos com a mistura da dose de 40 mM de AlCl₃ com 0,75 e 1,5 L ha⁻¹ de 2,4-D + picloram, onde foram verificados os menores percentuais de controle das plantas.

Tabela 31. Desdobramento da interação entre concentrações de AlCl₃ e doses de 2,4-D + picloram para o percentual de controle de *Ageratum conyzoides* aos 3 dias após a aplicação.

AlCl ₃ (mM)	% de controle			
	Doses de 2,4-D + picloram (L ha ⁻¹)			
	0	0,75	1,5	3
0	0 aB	45,0 aA	47,5 aA	50,0 aA
10	0 aB	45,0 aA	46,25 aA	47,5 aA
20	0 aB	46,25 aA	50,0 aA	45,0 aA
40	0 aC	37,5 aB	30,0 bB	50,0 aA

Médias seguidas pelas mesmas letras minúsculas nas colunas e maiúsculas nas linhas não diferem entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

Na tabela 32 são apresentados os resultados das avaliações realizadas aos 7 DAA. Em relação aos tratamentos contendo somente AlCl₃ na calda de aplicação, foi verificado um pequeno percentual de controle das plantas com diferença significativa entre as médias. Nesses tratamentos os maiores percentuais de controle foram observados nas concentrações de 10 e 20 mM de AlCl₃. Com exceção do tratamento contendo apenas 40 mM de AlCl₃, para todos os demais tratamentos foi verificada diferença significativa em relação a testemunha. As médias dos tratamentos somente com 2,4-D + picloram não apresentaram diferenças significativas entre si. Verifica-se que as médias dos tratamentos onde há associação entre concentrações de AlCl₃ e doses de 2,4-D + picloram foram, na maioria, superiores às dos

tratamentos com o uso isolado desses produtos. Exceto para as combinações de 40 mM de AlCl_3 com as doses de 0,75 e 1,5 L ha^{-1} de 2,4-D + picloram, onde as médias não diferiram significativamente dos tratamentos contendo apenas essas doses de 2,4-D + picloram.

Tabela 32. Desdobramento da interação entre concentrações de AlCl_3 e doses de 2,4-D + picloram para o percentual de controle de *Ageratum conyzoides* aos 7 dias após a aplicação.

AlCl_3 (mM)	% de controle			
	Doses de 2,4-D + picloram (L ha^{-1})			
	0	0,75	1,5	3
0	0,0 bB	50,0 bA	53,75 bA	52,5 bA
10	10,0 aB	58,75 abA	65,0 aA	66,25 aA
20	11,25 abB	65,0 aA	67,5 aA	65,0 aA
40	2,5 bC	61,25 bA	47,5 bB	67,5 aA

Médias seguidas pelas mesmas letras minúsculas nas colunas e maiúsculas nas linhas não diferem entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

A análise dos dados obtidos na avaliação realizada aos 14 DAA, apresentados na tabela 33, revelou que o AlCl_3 utilizado isoladamente não teve efeito no controle das plantas de mentrasto, independente da concentração presente na calda de aplicação. Os tratamentos com aplicação de 2,4-D + picloram, nas doses 0,75, 1,5 e 3,0 L ha^{-1} , resultaram em médias de controle próximas a 75%, não ocorrendo diferença significativa entre essas médias. Com relação aos tratamentos realizados pela combinação de concentrações de AlCl_3 com doses de 2,4-D + picloram, foram verificadas diferenças significativas entre as médias. A mistura de 40 mM de AlCl_3 com 1,5 L ha^{-1} de 2,4-D + picloram resultou no menor percentual de controle. Valores percentuais de controle superiores a 90% foram observados nos tratamentos com as combinações de 10 mM com 1,5 L ha^{-1} , 20 mM com 0,75 L ha^{-1} e 40 mM com 1,5 L ha^{-1} , de AlCl_3 e 2,4-D + picloram, respectivamente.

Tabela 33. Desdobramento da interação entre concentrações de AlCl_3 e doses de 2,4-D + picloram para o percentual de controle de *Ageratum conyzoides* aos 14 dias após a aplicação.

AlCl_3 (mM)	% de controle			
	Doses de 2,4-D + picloram (L ha^{-1})			
	0	0,75	1,5	3
0	0 aB	75,0 bA	77,5 bA	75,0 bA
10	0 aB	81,25 abA	90,0 aA	83,75 abA
20	0 aB	90,0 aA	85,0 abA	81,25 bA
40	0 aD	80,0 abB	65,0 cC	92,5 aA

Médias seguidas pelas mesmas letras minúsculas nas colunas e maiúsculas nas linhas não diferem entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

Na última avaliação realizada aos 21 DAA, o desdobramento das interações entre os fatores, apresentado na tabela 34, revelou que os resultados dos tratamentos contendo apenas

doses de AlCl_3 não diferiram do tratamento testemunha. As médias dos tratamentos com apenas doses de 2,4-D + picloram não diferiram significativamente entre si, apenas em relação a testemunha. As combinações das doses AlCl_3 com $0,75 \text{ L ha}^{-1}$ de 2,4-D + picloram não resultaram em diferenças significativas entre as médias dos percentuais de controle das plantas de mentrasto. Nos tratamentos com a dose de $1,5 \text{ L ha}^{-1}$ de 2,4-D + picloram, a mistura com 40 mM de AlCl_3 resultou no menor percentual de controle. Quando utilizada dose de 3 L ha^{-1} de 2,4-D + picloram, ocorreu diferença significativa entre as médias dos tratamentos com a mistura das doses de AlCl_3 . As maiores médias dos percentuais de controle das plantas foram verificadas nos tratamentos com a mistura de 10 mM de AlCl_3 com as doses de $1, 5$ e 3 L ha^{-1} de 2,4-D + picloram, também para 40 mM de AlCl_3 com 3 L ha^{-1} de 2,4-D + picloram.

Tabela 34. Desdobramento da interação entre concentrações de AlCl_3 e doses de 2,4-D + picloram para o percentual de controle de *Ageratum conyzoides* aos 21 dias após a aplicação.

AlCl_3 (mM)	% de controle			
	Doses de 2,4-D + picloram (L ha^{-1})			
	0	0,75	1,5	3
0	0 aB	85,0 aA	91,25 aA	85,0 bA
10	0 aC	83,75 aB	93,75 aAB	98,75 aA
20	0 aB	91,25 aA	87,5 aA	86,25 bA
40	0 aC	89,0 aA	71,25 bB	96,25 abA

Médias seguidas pelas mesmas letras minúsculas nas colunas e maiúsculas nas linhas não diferem entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

Os resultados da análise de variância para os dados de massa seca de parte aérea (MSPA) demonstraram efeito significativo das doses de 2,4-D + picloram e da interação entre concentrações de AlCl_3 e doses de 2,4-D + picloram (Tabela 35).

Tabela 35. Valor de F e nível de significância da massa seca de parte aérea (MSPA) de *Ageratum conyzoides* em função de concentrações de AlCl_3 , doses de 2,4-D + picloram e da associação entre concentrações de AlCl_3 , e doses de 2,4-D + picloram.

Fonte de Variação	MSPA
Concentrações de AlCl_3	2,461 ^{ns}
Doses de 2,4-D + picloram	12,358**
AlCl_3 x 2,4-D + picloram	2,647*
CV%	57,27

**significativo ao nível de 1% de probabilidade, *significativo ao nível de 5% de probabilidade ^{ns} não significativo ao nível de 5% de probabilidade.

Na tabela 36 são apresentados os resultados da interação entre concentrações de AlCl_3 e doses de 2,4-D + picloram para a MSPA das plantas. Observa-se que os tratamentos apenas com AlCl_3 , nas 3 concentrações utilizadas, resultaram em menores valores de MSPA em relação ao tratamento testemunha, com diferença significativa entre as médias. As médias dos tratamentos apenas com doses de 2,4-D + picloram não diferiram significativamente entre si,

diferindo apenas da testemunha. O menor valor de MSPA foi encontrado no tratamento com a mistura de 10 mM de AlCl_3 com 3 L ha^{-1} de 2,4-D + picloram. O aspecto visual das plantas de mentrasto observado aos 21 DAA é apresentado na figura 4.

Tabela 36. Desdobramento da interação entre concentrações de AlCl_3 e doses de 2,4-D + picloram na massa seca de parte aérea (MSPA) de *Ageratum conyzoides*.

AlCl_3 (mM)	MSPA (g)			
	Doses de 2,4-D + picloram (L ha^{-1})			
	0	0,75	1,5	3
0	2,46 aA	0,79 aB	0,54 aB	0,49 aB
10	1,07 bA	0,92 aAB	0,39 aAB	0,08 aB
20	1,06 bA	0,51 aA	0,92 aA	0,79 aA
40	1,36 bA	0,89 aA	0,96 aA	0,57 aA

Médias seguidas pelas mesmas letras minúsculas nas colunas e maiúsculas nas linhas não diferem entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

10.4 Uso Associado de AlCl_3 e 2,4-D + picloram no Controle de *Schinus Terebinthifolia* (aroeira), em Casa de Vegetação

Na tabela 37 são apresentados os valores de F e os níveis de significância obtidos através da análise de variância dos percentuais de controle de plantas de aroeira verificados aos 3, 7, 14 e 21 DAA. Ocorreu efeito significativo, ao nível de 1% de probabilidade, para concentrações de AlCl_3 , doses de 2,4-D + picloram e a interação entre estes fatores, nos quatro períodos de avaliação.

Tabela 37. Valor de F e nível de significância do percentual de controle de aroeira aos 3, 7, 14 e 21 dias após a aplicação (DAA) de concentrações de AlCl_3 , doses de 2,4-D + picloram e da associação entre concentrações de AlCl_3 , e doses de 2,4-D + picloram.

Fonte de Variação	Valor de F			
	3 DAA	7 DAA	14 DAA	21 DAA
Concentrações de AlCl_3	55,286**	23,515**	18,619**	227,433**
Doses de 2,4-D + picloram	201,857**	144,455**	136,371**	1549,262**
$\text{AlCl}_3 \times$ 2,4-D + picloram	14,143**	5,827**	8,054**	116,716**
CV%	18,3	21,2	21,7	5,9

**significativo ao nível de 1% de probabilidade.

Os resultados da avaliação realizada aos 3 DAA, apresentados na tabela 38, revelaram que as concentrações de AlCl_3 aplicadas isoladamente não resultaram em valores percentuais de controle das plantas de aroeira, não sendo verificada diferença significativa em relação ao tratamento testemunha. As médias dos tratamentos contendo somente 2,4-D + picloram não diferiram significativamente entre si, apenas em relação a testemunha. As dos tratamentos com a mistura de AlCl_3 e 2,4-D + picloram foram inferiores às dos tratamentos apenas com 2,4-D + picloram, apresentando diferenças significativas.

Tabela 38. Desdobramento da interação entre concentrações de AlCl_3 e doses de 2,4-D + picloram para o percentual de controle de aroeira aos 3 dias após a aplicação.

AlCl_3 (mM)	% de controle		
	Doses de 2,4-D + picloram (L ha^{-1})		
	0	0,75	1,5
0	0,0 aB	30,0 aA	33,3 aA
10	0,0 aB	13,3 bA	15,0 bA
20	0,0 aB	16,7 bA	16,7 bA

Médias seguidas pelas mesmas letras minúsculas nas colunas e maiúsculas nas linhas não diferem entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

Os resultados obtidos na avaliação realizada aos 7 DAA (Tabela 39) foram semelhantes aos da avaliação realizada aos 3 DAA. Verifica-se um pequeno valor percentual de controle referente ao tratamento com a concentração de 40 mM de AlCl_3 , no entanto, sem diferença significativa em relação ao tratamento testemunha. Na dose de $1,5 \text{ L ha}^{-1}$ de 2,4-D + picloram, a mistura com 10 mM de AlCl_3 resultou em menor percentual de controle.

Tabela 39. Desdobramento da interação entre concentrações de AlCl_3 e doses de 2,4-D + picloram para o percentual de controle de aroeira aos 7 dias após a aplicação.

AlCl_3 (mM)	% de controle		
	Doses de 2,4-D + picloram (L ha^{-1})		
	0	0,75	1,5
0	0,0 aB	30,0 aA	35,0 aA
10	0,0 aB	12,7 bA	18,7 cA
20	1,66 aB	23,3 bA	27,3 bA

Médias seguidas pelas mesmas letras minúsculas nas colunas e maiúsculas nas linhas não diferem entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

Na avaliação realizada aos 14 DAA, o tratamento com $1,5 \text{ L ha}^{-1}$ de 2,4-D + picloram e sem adição de AlCl_3 apresentou o maior percentual de controle das plantas de aroeira, diferindo significativamente dos demais tratamentos (Tabela 40). Nos tratamentos com associação de doses de AlCl_3 ocorreu menor percentual de controle das plantas.

Tabela 40. Desdobramento da interação entre concentrações de AlCl_3 e doses de 2,4-D + picloram para o percentual de controle de aroeira aos 14 dias após a aplicação.

AlCl_3 (mM)	% de controle		
	Doses de 2,4-D + picloram (L ha^{-1})		
	0	0,75	1,5
0	0,0 aC	40,0 aB	63,3 aA
10	3,3 aB	20,0 bA	31,7 bA
20	3,7 aB	30,0 bA	41,7 bA

Médias seguidas pelas mesmas letras minúsculas nas colunas e maiúsculas nas linhas não diferem entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

Os resultados da avaliação realizada aos 21 DAA (Tabela 41) revelaram que os tratamentos contendo apenas AlCl_3 resultaram em um pequeno percentual de controle, igual nas concentrações de 10 e 20 mM, que diferiram significativamente do tratamento testemunha. O maior valor percentual de controle foi verificado para o tratamento com 1,5 L ha^{-1} de 2,4-D + picloram, que diferiu significativamente dos demais tratamentos. As médias dos tratamentos com a mistura de AlCl_3 e 2,4-D + picloram foram inferiores às dos tratamentos apenas com 2,4-D + picloram, independente das doses.

Tabela 41. Desdobramento da interação entre concentrações de AlCl_3 e doses de 2,4-D + picloram para o percentual de controle de aroeira aos 21 dias após a aplicação.

AlCl_3 (mM)	% de controle		
	Doses de 2,4-D + picloram (L ha^{-1})		
	0	0,75	1,5
0	0,0 bC	70,0 aB	92,0 aA
10	10,0 aC	30,0 cB	48,3 cA
20	10,0 aC	45,0 bB	70,0 bA

Médias seguidas pelas mesmas letras minúsculas nas colunas e maiúsculas nas linhas não diferem entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

A análise de variância dos dados obtidos para MSPA das plantas de aroeira revelou efeito significativo apenas para doses de 2,4-D + picloram (Tabela 42).

Tabela 42. Valor de F e nível de significância da massa seca de parte aérea (MSPA) de aroeira em função de concentrações de AlCl_3 , doses de 2,4-D + picloram e da associação entre concentrações de AlCl_3 , e doses de 2,4-D + picloram.

Fonte de Variação	Valor de F
Concentrações de Al	3,268 ^{ns}
Doses de 2,4-D + picloram	43,274**
Al x 2,4-D + picloram	0,738 ^{ns}
CV%	23,21

**significativo ao nível de 1% de probabilidade, ^{ns} não significativo ao nível de 5% de probabilidade.

Os dados apresentados na tabela 43 demonstram que não houve diferença significativa entre as médias de peso de MSPA das plantas de aroeira nos tratamentos com doses de 0,75 e 1,5 ha^{-1} de 2,4-D + picloram. As médias desses tratamentos foram inferiores às do tratamento testemunha, com diferença significativa.

Tabela 43. Valores médios de massa seca de parte aérea (MSPA) de plantas de aroeira em função de doses de 2,4-D + picloram.

Doses de 2,4-D + picloram (L ha^{-1})	MSPA (g)
0,0	19,30 a
0,75	9,03 b
1,5	8,18 b

Médias seguidas pelas mesmas letras não diferem entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

11 DISCUSSÃO

Os resultados deste trabalho foram discutidos em termos das interações de AlCl_3 com 2,4-D + picloram (parâmetros químicos) e de suas aplicações fitotécnicas no controle ou inibição do crescimento vegetal. A ação tóxica do Al pela aplicação na parte áreas das plantas também foi discutida.

A avaliação química da calda composta pela mistura de AlCl_3 (nas concentrações de 0, 10, 20 e 40 mM) e 2,4-D + picloram (doses de 0, 0,75, 1,5 e 3 L ha^{-1}) demonstrou que conforme o incremento das concentrações de Al ocorreu diminuição dos valores de pH e aumento da CE das caldas. As moléculas dos herbicidas apresentam características que possibilitam reações químicas com os componentes da calda de aplicação. A hidrólise do AlCl_3 pode ser um motivo para redução do pH das caldas. Sua hidrólise parcial na presença de água forma ácido clorídrico e/ou cloreto de hidrogênio, tornando a solução bastante ácida. A CE e o pH estão relacionados com a atividade de íons livres. Em geral, há correlação entre os valores de CE e de pH, como verificado neste trabalho (CHAVES et al., 2015), especialmente em soluções de baixa força iônica.

O pH é um dos principais fatores que interferem na eficácia de determinados produtos herbicidas. Segundo Cunha et al. (2017), alguns herbicidas – os considerados iônicos – apresentam maior eficiência quando há redução do pH da solução. Herbicidas dissolvidos em

caldas com valores reduzidos de pH são absorvidos com maior facilidade pelas plantas devido à redução da dissociação de suas moléculas. Wanamarta e Penner (1989) relataram maior eficiência do 2,4-D quando em soluções ácidas. Além disso, há relatos que o pH mais ácido favorece a absorção dos agentes químicos aplicados nas folhas (QUEIROZ et al., 2008). Carlson e Burnside (1984) descreveram que a adição de ácido sulfúrico à calda permite a redução da dose do herbicida glyphosate devido a maior eficiência obtida pela redução do pH. Além disso, valores elevados de CE indicam a presença de íons e pode influenciar positivamente na eficácia biológica do produto (RHEINHEIMER e SOUZA, 2000). No entanto, dependendo do pH e dos componentes químicos da solução, as moléculas herbicidas podem ficar disponíveis para reagir com outros elementos, formando conjugados menos ativos (AMARANTE JUNIOR et al., 2002; SILVA et al., 2007). Não foi objetivo deste trabalho estudar essas possíveis reações.

O pKa e o Kow são as principais características químicas das moléculas herbicidas que influenciam sua ação na planta, elas são relacionadas, ou influenciadas, pelos valores de pH da calda. O pKa representam a tendência de ionização em uma determinada faixa de valores de pH. Assim sendo, o pKa é o valor de pH no qual metade das moléculas está ionizada e metade não está; as formas ionizadas têm comportamento distinto das não ionizadas (REGITANO et al., 2006).

Os valores de pKa do 2,4-D e do picloram são próximos, 2,64 e 2,3, respectivamente (SILVA et al., 2007). Quando o pH da solução é menor que o pKa do produto químico, ocorre maior concentração das formas não dissociadas (moleculares ou neutras) em relação a concentração das formas dissociadas (ionizadas ou aniônicas) (OLIVEIRA e BRIGHENTI, 2011). Em valores de pH extremamente ácido há diminuição da solubilidade do herbicida em função da formação da espécie não dissociada (AMARANTE JUNIOR et al., 2002). Os menores valores de pH encontrados neste trabalho estiveram na faixa entre 3,30 e 2,90 nas caldas preparadas pela mistura de AlCl_3 , e 2,4-D + picloram, superiores aos valores de pKa das moléculas herbicidas, portanto as moléculas dos herbicidas devem ter ficado majoritariamente na forma ionizada, disponíveis para provocar efeito fitotóxico.

No experimento 2, realizado em condições de campo verificou-se, aos 7 DAA dos tratamentos, percentuais significativos de controle de plantas daninhas com a aplicação isolada de AlCl_3 . Nas avaliações seguintes, aos 14 e 21 DAA, apenas os tratamentos contendo 2,4-D + picloram de forma isolada na calda resultaram em percentuais de controle significativos. Com estes resultados, pode-se inferir que nos primeiros DAA as plantas sofreram efeito tóxico do Al, da acidez da calda, com valores de pH entre 3,47 e 3,13, ou dessas duas condições conjuntamente, e que em seguida ocorreu uma recuperação ou adaptação das plantas. São raras as informações sobre aplicação de Al em parte aérea de plantas. Alguns estudos relacionados aos efeitos de chuvas ácidas sobre o desenvolvimento vegetal utilizaram soluções ácidas com concentrações de Al na água de irrigação, porém os resultados relatados apenas indicaram efeitos das concentrações de H^+ na água, sem conclusões sobre efeitos de toxicidade do Al (HAHN e MARSCHNER, 1998; KREUTZER e WEISS, 1998).

No experimento 2, o maior percentual de controle foi de 66,88% verificado no tratamento com a maior dose de 2,4-D + picloram (3 L ha^{-1}), aos 21 DAA. Os baixos valores de controle podem estar relacionados, em parte, à altura das plantas de capim colônio presentes na área no dia da aplicação dos tratamentos, causando um efeito “guarda-chuva”, como descrito por Brigheti et al. (2002) e Freitas et al. (2007). Isto pode ter dificultado o contato da calda com as folhas das plantas que estavam próximas ao colônio. O intenso crescimento dessa espécie durante o período de condução do experimento, que pode ser verificado através dos dados da tabela 25, também dificultou a avaliação aos 21 DAA. Outro fator importante foram as condições meteorológicas de baixa precipitação e altas

temperaturas, observadas logo após a aplicação dos tratamentos e durante o período de condução do experimento (Figuras 7 e 8), o que pode desfavorecer a absorção e transporte das moléculas herbicidas nos tecidos vegetais, por se tratarem de herbicidas sistêmicos (OLIVEIRA JUNIOR, 2011).

A avaliação do controle das plantas em campo, conforme exposto, apresentou dificuldades ou limitações devido a impossibilidade de controle de condições bióticas e abióticas que potencialmente podem interferir nos resultados experimentais. Sendo assim, os experimentos 3 e 4 foram conduzidos em casa de vegetação com relativo controle de temperatura e UR%, além de irrigação diária. As plantas de mentrasto e de aroeira utilizadas nesses experimentos estavam em estágio de desenvolvimento vegetativo, o que facilita a translocação e a eficiência do 2,4-D + picloram (SILVA et al., 2007).

No experimento 3, aos 7 DAA, as plantas de mentrasto apresentaram sintomas de toxicidade nos tratamentos somente com concentrações de AlCl_3 na calda, resultando em baixos, porém significativos, percentuais de controle. Os sintomas foram observados nas folhas mais jovens e no ápice, que se apresentaram ligeiramente enrugados e encarquilhados. Sintomas como esses foram relatados por Alves et al. (1990) ao estudarem efeitos de chuva ácida simulada em plantas de soja, os autores atribuíram a toxicidade à ação do ácido sulfúrico. Aos 14 e aos 21 DAA estes sintomas não foram mais observados, indicando uma recuperação das plantas. Apesar dessa possível recuperação, os resultados da análise de massa seca de parte aérea (MSPA) revelaram que as médias desses tratamentos foram inferiores às médias do tratamento testemunha. As plantas de mentrasto que receberam aplicação de concentrações isoladas de AlCl_3 tiveram menor desenvolvimento de parte aérea em relação às plantas do tratamento testemunha. É importante destacar que as plantas do tratamento testemunha chegaram ao estágio de florescimento e as plantas tratadas com AlCl_3 permaneceram em estágio vegetativo.

No experimento 3, o tratamento com a mistura da dose de 40 mM de AlCl_3 com 1,5 L ha^{-1} de 2,4-D + picloram resultou nos menores percentuais de controle das plantas de mentrasto, nos 4 períodos de avaliação. Essa calda teve valor de $\text{pH} = 3,0$ e $\text{CE} = 8,67 \text{ mS cm}^{-1}$. O pH dessa calda foi um pouco inferior ao das caldas com menor dose do herbicida, podendo ter ocorrido uma diminuição de sua solubilidade em função de uma maior formação de espécies não dissociadas das moléculas de 2,4-D e de picloram (AMARANTE JUNIOR et al., 2002). Adicionalmente, o picloram possui menor solubilidade em água em valores de pH mais ácidos (BRITISH CROP PROTECTION COUNCIL, 1994). Estima-se então que a concentração de 40 mM de AlCl_3 foi excessiva para a mistura com a dose de 1,5 L ha^{-1} de 2,4-D + picloram afetando negativamente sua eficiência de controle de plantas de mentrasto.

Os resultados do experimento 3, obtidos na última avaliação realizada aos 21 DAA dos tratamentos, revelaram os tratamentos com a mistura de 10 mM de AlCl_3 com as doses de 1, 5 e 3 L ha^{-1} de 2,4-D + picloram, 20 mM de AlCl_3 com 0,75 L ha^{-1} de 2,4-D + picloram e 40 mM de AlCl_3 com 3 L ha^{-1} de 2,4-D + picloram resultaram em percentuais de controle acima de 90%, considera-se que estes tratamentos ofereceram controle eficiente das plantas de mentrasto (FRANS e TALBERT, 1977). Silva et al. (2014) relataram que a aplicação de 1,5 L ha^{-1} de 2,4-D resultou em 48,75% de controle de plantas de mentrasto aos 21 DAA, em tratamento com a mistura de 1,5 de 2,4-D + 2,5 L ha^{-1} de glyphosate o controle foi de 96,75%, no mesmo período de avaliação.

No experimento 4, o percentual de controle das plantas de aroeira foi menos influenciado pelas interações das concentrações de AlCl_3 com as doses de 2,4-D + picloram. Em todas as avaliações os maiores percentuais de controle ocorreram nos tratamentos com a aplicação isolada de 2,4-D + picloram. A dose de 1,5 L ha^{-1} de 2,4-D + picloram foi eficaz para controlar plantas de aroeira. Aos 21 DAA, foram observados sintomas de toxidez nas plantas que receberam tratamento com concentrações isoladas de AlCl_3 . Esses sintomas foram

enrugamento e necrose foliar, observados nas folhas mais jovens, e encarquilhamento dos ápices. Por se tratar de uma espécie arbórea, o tempo de avaliação pode não ter sido suficiente para verificar possíveis efeitos do Al no desenvolvimento das plantas de aroeira. A figura 14 mostra os sintomas de intoxicação do Al no ápice de uma planta de aroeira que recebeu o tratamento com a concentração de 20 mM de AlCl_3 .



Figura 14. A - Tratamento testemunha. B - Sintomas de intoxicação em planta de aroeira aos 21 dias após a aplicação de 20 mM de AlCl_3 na parte aérea da planta (→)

As moléculas de água que circundam o AlCl_3 (fórmula $\text{AlCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$) podem sofrer dissociação ou serem substituídas por ligantes OH^- dependendo do pH da solução (BRATBY, 2006). Em valores de pH em torno de 4,5 a dissociação dos íons AlCl_3 irá liberar o Al^{3+} na solução, que é a sua forma mais tóxica (KISNIERIENÉ e LAPEIKAITÉ, 2015). Em contraste, o Al precipitado ou quelatado em compostos orgânicos não é tóxico para plantas (NOGUEIROL et al., 2015). As interações entre os íons Al e radicais aniônicos, além do OH^- , ocorre por meio de pareamento iônico ou complexação, assim, com a redução de cargas deste íon ocorre também atenuação de sua atividade fitotóxica (ROSSIELLO e JACOB NETO, 2006). Segundo Amarante Junior et al. (2002), em pH aproximadamente igual a 4,0 têm-se em torno de 90% das moléculas de 2,4-D na forma dissociada, o que aumenta a polaridade do composto e sua solubilidade na água. A forma dissociada do 2,4-D é negativamente carregada (AMARANTE JUNIOR et al., 2002) podendo ligar-se ao Al^{3+} livre na solução. Nos tratamentos contendo somente AlCl_3 nas caldas há maior possibilidade de manifestação da toxicidade do Al devido à ausência de ligantes na solução. Contudo, as concentrações de Al utilizadas nos experimentos podem não ter sido suficientes para uma maior intensidade do efeito tóxico deste íon.

A maior eficiência do controle de plantas de mentrasto promovida pela interação do AlCl_3 com o 2,4-D + picloram pode ser um indicativo de possibilidade de uso de menores doses de herbicidas no controle de plantas. A diminuição das doses de herbicidas, além do efeito direto no custo do manejo, pode gerar benefícios pela diminuição de danos ambientais. O índice de risco ambiental (*Environmental Risk Index* – ERI), proposto por Alister e Kogan (2006), considera cinco fatores de impacto: a persistência do herbicida no solo, o potencial de

lixiviação, a volatilidade, o perfil toxicológico do composto e a dose de aplicação. Assim, a diminuição da dose tem relação direta com a diminuição do ERI.

12 CONCLUSÕES

- O AlCl_3 misturado a calda de 2,4-D + picloram provocou a redução do pH e aumento da condutividade elétrica da calda.
- A calda preparada pela mistura de 20 mM de AlCl_3 com $0,75 \text{ L ha}^{-1}$ de 2,4-D + picloram resultou em controle eficiente de plantas de mentrasto. Este resultado indica que o AlCl_3 aumentou a eficiência de controle do herbicida aplicado nesta dose.
- AlCl_3 aplicado de forma isolada inibe o desenvolvimento de plantas de mentrasto, sem provocar a morte das plantas.

CAPÍTULO III

INIBIDORES DE CRESCIMENTO PARA O CONTROLE DE BROTAÇÕES APÓS PODA EM *Bauhinia sp.*, *Inga sp.* E *Mimosa caesalpinifolia*

RESUMO

As podas realizadas nas árvores urbanas devem ser adequadas à manutenção da sanidade vegetal, além de diminuir o potencial de interferência dos galhos em redes de distribuição de energia elétrica e em outros equipamentos, ou construções, de maneira a evitar prejuízos econômicos e riscos à população. O uso de inibidores de crescimento aplicados após a poda, diretamente na área do corte, tem sido avaliado para controlar o surgimento de brotações. Nesse sentido, o objetivo deste trabalho foi avaliar o desenvolvimento e o crescimento de brotações surgidas após a poda em função de diferentes tipos de corte e aplicação de AlCl_3 , 2,4-D + picloram e da mistura de AlCl_3 com 2,4-D + picloram na região do corte. Foram realizados três experimentos, em condições de campo, com árvores adultas de *Bauhinia sp.* (pata-de-vaca), *Inga sp.* (ingá) e *Mimosa caesalpinifolia* (sabiá). Em todos os experimentos, foram realizadas avaliações periódicas do número, comprimento e diâmetro de brotações. Também foi avaliado, através de bioensaio, o efeito residual no solo após o uso de AlCl_3 e 2,4-D + picloram aplicados na parte aérea das plantas de ingá. Os resultados indicaram que o tipo de corte rente sem aplicação de produtos químicos foi suficiente para diminuir o surgimento de brotações em pata-de-vaca. A mistura de 60 mM de AlCl_3 com 2,4-D + picloram a 1% foi eficiente para inibir o crescimento e desenvolvimento de brotações em ingá, sem ocorrência de efeitos residuais no solo. A solução de 2,4-D + picloram a 1% foi eficiente para inibir o crescimento e desenvolvimento de brotações em sabiá.

ABSTRACT

Pruning in urban trees should be adequate to maintain plant health, as well as reduce the potential for interference from branches in electricity distribution networks and other equipment or buildings, in order to avoid economic losses and risks to the population. The use of growth inhibitors applied after pruning, directly in the cutting area, has been evaluated to control the emergence of shoots. In this sense, the objective of this work was to evaluate the development and growth of sprouts after pruning due to different types of cutting and application of AlCl_3 , 2,4-D + picloram and the mixture of AlCl_3 with 2,4-D + picloram in the cut region. Three experiments were carried out, under field conditions, with adult *Bauhinia sp.*, *Inga sp.* and *Mimosa caesalpinifolia*. In all experiments, periodic evaluations of the number, length and diameter of shoots were carried out. The residual effect on the soil after the use of AlCl_3 and 2,4-D + picloram applied to the aerial part of the *Inga sp.* plants was also assessed by bioassay. The results indicated that the type of cutting without chemical application was sufficient to reduce the appearance of sprouts in *Bauhinia sp.* The mixture of 60 mM AlCl_3 with 2,4-D + picloram at 1% was efficient to inhibit the growth and

development of *Inga sp.* sprouts without occurrence of residual effects in the soil. The solution of 2,4-D + picloram at 1% was sufficient to inhibit the growth and development of sprouts in *M. caesalpinifolia*.

13 INTRODUÇÃO

As podas em árvores geralmente são realizadas tendo objetivos como o aumento da produção de frutos (DEJONG et al., 2012; GONÇALVES et al., 2014), a condução do crescimento para a melhoria da qualidade da madeira (NEILSEN e PINKARD, 2003; TAKIYA et al., 2009;) a valorização ornamental e a adequação do fuste e da copa ao mobiliário urbano (RAIMBAULT e TANGUY, 1993; LEMOS et al., 2016). As técnicas atualmente difundidas e aplicadas foram essencialmente resultantes de conhecimentos clássicos desenvolvidos nas áreas de horticultura e fruticultura (RAIMBAULT et al., 1995). No entanto, adicionalmente, as podas realizadas nas árvores que compõe a paisagem urbana devem ser adequadas à manutenção da sanidade vegetal, além da diminuição do potencial de interferência dos galhos em redes de distribuição de energia elétrica e em outros equipamentos, ou construções, que podem ocasionar prejuízos ou riscos a população.

O uso de inibidores de crescimento tem sido avaliado para controlar o surgimento de brotações após a poda ou decepa de árvores. A mistura dos herbicidas 2,4-D e picloram é utilizada para essas finalidades, com comprovada eficiência de ação (CARMONA, 2001; FERRELL, 2010; CALDEIRA et al., 2012; POLESE, 2013; LEMOS, 2015). Porém, essas moléculas apresentam alto potencial de contaminação ambiental e efeitos residuais no solo, não sendo permitido o uso em áreas urbanas (AMARANTE JUNIOR, 2002; CHEN et al., 2010). Em estudos recentes o elemento químico Al foi testado como possível inibidor de crescimento em aplicação na parte aérea de plantas (POLESE, 2013; LEMOS et al., 2016). Sabe-se que esse elemento, dependendo de sua concentração e forma iônica, é altamente tóxico para as plantas. O Al^{3+} pode interferir no alongamento e na divisão celular por potenciais de ligação na estrutura da parede celular, na superfície da membrana plasmática, podendo afetar também o núcleo celular, interferindo assim no crescimento vegetal (FOY et al., 1978; KOCHIAN, 1995; BARCELO e POSCHENRIEDER, 2002).

Os experimentos deste capítulo III foram realizados dando continuidade às metodologias desenvolvidas no Laboratório de Química da Rizosfera, do Instituto de Agronomia da Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro (UFRRJ) onde foram realizadas pesquisas sobre diferentes tipos de podas, associados ou não ao uso de inibidores de crescimento, objetivando a diminuição do desenvolvimento de brotações surgidas após a poda. No presente trabalho foram utilizadas as espécies *Bauhinia sp.*, *Inga sp.* e *Mimosa caesalpinifolia*, empregadas na arborização urbana e que possuem crescimento rápido e rebrota vigorosa (DRUMOND et al., 1999; SANTOS, 2006).

Para o desenvolvimento do presente trabalho foram realizados experimentos que analisaram soluções (caldas) compostas pela mistura de $AlCl_3$ com 2,4-D + picloram, com o objetivo de formular uma mistura que propicie a inibição ou o controle do crescimento vegetal utilizando subdoses dos herbicidas. Esses experimentos foram descritos no capítulo II do presente trabalho.

Objetivando identificar a ação residual dos herbicidas no solo, devido a possível exsudação radicular de suas moléculas, foi realizado um bioensaio com plantas de *Cucumis sativus* L. (pepino). Essa técnica é bastante utilizada para identificar e quantificar a ação de residual de herbicidas na água e no solo (SANTOS et al., 2013). Os sintomas de intoxicação

provocados por herbicidas auxínicos, como o 2,4-D e o picloram, são facilmente identificados na parte aérea de plantas sensíveis (THILL, 2003). Os principais sintomas são epinastia de folhas e caule, aparecimento de raízes aéreas e engrossamento do caule (SILVA et al., 2007).

A evolução das técnicas de podas destinadas às árvores situadas em áreas urbanas pode oferecer novas possibilidades de gestão das áreas verdes das cidades, com a manutenção da sanidade vegetal e adequação da arquitetura das plantas aos espaços disponíveis. Nesse sentido, o objetivo deste trabalho foi avaliar o desenvolvimento e o crescimento de brotações surgidas após a poda em plantas de *Bauhinia sp.*, *Inga sp.* e *M. caesalpinifolia* em função de diferentes tipos de corte e aplicação de $AlCl_3$, 2,4-D + picloram e da mistura de $AlCl_3$ com 2,4-D + picloram na região do corte. Também foi avaliado o efeito residual no solo, após o uso de $AlCl_3$ e 2,4-D + picloram aplicados na parte aérea das plantas de *Inga sp.*

14 MATERIAL E MÉTODOS

Os experimentos 5, 6 e 7 foram realizados em condições de campo, em delineamento experimental inteiramente casualizado. Foram avaliados tipos de poda e o uso de inibidores de crescimento com o objetivo de diminuir o desenvolvimento de brotações surgidas após a poda. Os tratamentos, as espécies arbóreas utilizadas e os números de repetições foram diferentes para os 3 experimentos. Em todos os experimentos, foram realizadas avaliações periódicas do número, comprimento e diâmetro de brotações. As medições foram realizadas periodicamente, utilizando metro articulado e paquímetro digital. Cada broto emitido na região do corte foi identificado com etiquetas plásticas. Os dados obtidos foram submetidos à análise de variância pelo teste F a 5% de probabilidade e as médias comparadas pelo teste de Tukey 5%. As análises estatísticas foram realizadas utilizando o programa SISVAR versão 5.6 (FERREIRA, 2015).

14.1 Experimento 5. Avaliação de Tipos de Corte em Poda e Uso de Inibidor de Crescimento em *Bauhinia sp.* (pata-de-vaca)

O experimento foi instalado no mês de julho de 2016 em árvores adultas de *Bauhinia sp.* situadas em uma rua na UFRRJ, no *campus* Seropédica – RJ. A seleção das árvores foi realizada observando os aspectos visuais de sanidade e parâmetros biométricos, sendo estes: diâmetro a altura do peito (DAP), tendo as mesmas o diâmetro médio de 15,28 cm (circunferência de 48 cm), e altura vertical, com valor médio de 5,5 m. A poda foi realizada logo após o período de floração das árvores. Nestas árvores já tinham sido realizadas podas anteriormente em outros galhos, como descrito por Machado (2015).

Na tabela 44 são apresentados os resultados das análises de solo da área onde estão plantadas as árvores de pata-de-vaca utilizadas neste experimento.

Tabela 44. Características físicas e químicas do solo da área do experimento 1, em duas profundidades de amostragem.

Prof. (cm)	Textura	pH	Al	(H+Al)	Ca	Mg	Na	SB	t	T	V	m	P	K
		cmol _c /dm ³%.....		mg/dm ³
0-20	Média	5,8	0,0	2,1	3,5	1,5	0,09	5,3	5,3	7,4	72,0	0,0	14	76
20-40	Média	5,5	0,0	2,5	2,8	1,1	0,09	4,1	4,1	6,6	62,0	0,0	6,8	61

Foram realizados 6 tratamentos, com 4 repetições. Os tratamentos consistiram em:

- corte rente ao tronco principal;
- corte rente ao tronco principal e aplicação de cloreto de alumínio (AlCl_3);
- corte rente ao tronco principal e aplicação de ácido clorídrico (HCl);
- corte a 40 cm do tronco principal (toco de 40 cm);
- corte a 40 cm do tronco principal (toco de 40 cm) e aplicação de AlCl_3 ;
- corte a 40 cm do tronco principal (toco de 40 cm) e aplicação de HCl.

A poda foi realizada em 1 galho por árvore, estes estavam diretamente ligados ao tronco principal, com diâmetro médio de 7,6 cm, na base do fuste e em posição sem excesso de sombreamento. O Al foi aplicado na forma de $\text{AlCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$, em solução aquosa na concentração 2 M, sendo 6 mL por galho podado. A solução de HCl foi aplicada na concentração 0,1 M, 6 mL por galho podado. As soluções de Al e de HCl tiveram valores de pH próximos a 1,2.

A forma de aplicação consistiu na realização de dois furos de 7 mm de diâmetro por 40 mm de profundidade. O instrumento utilizado para a realização do furo foi uma furadeira manual arco de pua, com broca para madeira. Os furos foram localizados próximos a casca, em posições opostas. A aplicação das soluções Al e de HCl foi realizada utilizando uma seringa com capacidade para 3 mL, com agulha fina, injetadas diretamente no furo, logo após a realização do corte no galho. Em seguida, o local foi coberto com filme plástico, que foi retirado 7 dias após a aplicação.

14.2 Experimento 6. Avaliação de Tipo de Corte em Poda e Uso de Inibidor de Crescimento em *Inga sp.* (ingá)

O experimento foi instalado em uma área do campo experimental do setor de Grandes Culturas, Departamento de Fitotecnia da Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, *campus* Seropédica, em dezembro de 2017. As mudas das árvores de *Inga sp.*, foram plantadas em janeiro do ano de 2013. As plantas possuíam altura média de 5 m e DAP de 12,73 cm (circunferência de 40 cm). O diâmetro médio dos galhos era de 7,5 cm. Os resultados das análises física e química do solo da área do experimento são apresentados na tabela 45.

Tabela 45. Características físicas e químicas do solo da área do experimento 2, em duas profundidades de amostragem.

Prof. (cm)	Textura	Al	H+Al	Ca	Mg	Na	SB	t	T	V	m	P	K	
		pHcmol/dm ³%.....		mg/dm ³
0-20	Média	4,8	0,2	4,2	3,4	1,4	0,09	5,1	5,3	9,3	55,0	4,0	27	74
20-40	Média	4,6	0,2	4,7	2,6	1,1	0,09	3,9	4,1	8,6	45,0	5,0	14	60

Foram realizados 4 tratamentos, com 3 repetições. Os tratamentos consistiram em:

- corte a 40 cm do tronco principal (toco de 40 cm) (testemunha);
- corte a 40 cm do tronco principal (toco de 40 cm) e aplicação de AlCl_3 ;
- corte a 40 cm do tronco principal (toco de 40 cm) e aplicação de AlCl_3 + (2,4-D + picloram);
- corte a 40 cm do tronco principal (toco de 40 cm) e aplicação de 2,4-D + picloram a 2% de diluição.

A poda foi realizada logo após o período de floração das árvores. Foram podados galhos diretamente ligados ao tronco principal, na base do fuste e em posição sem excesso de sombreamento. Foram podados 2 galhos por árvore. O alumínio foi aplicado na forma de $\text{AlCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$, em solução aquosa na concentração 2 M. A solução de $\text{AlCl}_3 + (2,4\text{-D} + \text{picloram})$ foi preparada pela mistura de $\text{AlCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ na concentração de 60 mM com 2,4-D + picloram a 1% (produto comercial Tordon®), seguindo a metodologia descrita no capítulo 2, ensaio 1. A dosagem de 2,4-D + picloram foi a 2% de diluição em água. As soluções foram preparadas com água deionizada. A dosagem foi de 5 ml por planta para todos os tratamentos, aplicada com o auxílio de pincel, imediatamente após a poda.

Aos 60 dias após a instalação do experimento, amostras de solo foram coletadas para realização de análises química e física. Também para a realização de um bioensaio com *Cucumis sativus* L. (pepino) que é uma planta bioindicadora de resíduos de herbicidas auxínicos.

14.3 Ensaio 2. Bioensaio com Pepino (*Cucumis sativus*)

Para verificar a fitotoxicidade de possíveis resíduos de AlCl_3 e de 2,4-D + picloram que podem ocorrer por exsudação radicular, foi realizado experimento utilizando pepino (*Cucumis sativus*) como planta bioindicadora. Aos 60 dias após a implantação do experimento 6, foram coletadas amostras de solo nas profundidades 0 - 20 cm e 20 - 40 cm, nas distâncias de 0,4 m e 1,20 m de distância do caule de cada planta de ingá que recebeu os tratamentos descritos para o experimento 2, formando amostras compostas que foram enviadas para análise química e física e para utilização como substrato de plantio deste bioensaio. O plantio foi realizado em vasos não perfurados com capacidade para 500 g de substrato. Foram semeadas 6 sementes de pepino por vaso. Aos 7 dias após a germinação foi feito o desbaste deixando 3 plantas por vaso, correspondendo a 1 unidade experimental. A irrigação foi realizada manualmente, 2 vezes por dia de forma a manter a umidade do substrato.

Aos 20 dias após a germinação foi feita avaliação visual de intoxicação das plantas, utilizando a escala de 1 a 4, em que 1 representa a ausência de intoxicação; 2, intoxicação leve; 3, intoxicação moderada; e 4, intoxicação severa (SANTOS et al., 2006). Posteriormente, foi realizada análise destrutiva para avaliação de massa seca de raízes e de parte aérea. As plantas foram coletadas e seccionadas em raízes e parte aérea, acondicionadas em sacos de papel com identificação e secas em estufa sem ventilação forçada a 60° C até atingir peso constante, em seguida foram pesadas em balança de precisão com 5 casas decimais.

Este bioensaio foi conduzido em casa de vegetação do Departamento de Solos da Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro (UFRRJ), município de Seropédica. As amostras de solo constituíram os tratamentos, sendo 4 para cada tratamento do experimento 6 (testemunha, aplicação de AlCl_3 , aplicação de $\text{AlCl}_3 + (2,4\text{-D} + \text{picloram})$ e aplicação de 2,4-D + picloram): amostras de dolo coletadas a 0,4 m de distância das plantas de ingá, nas profundidades de 0 - 20 cm e 20 - 40 cm; amostras de dolo coletadas a 1,2 m de distância das plantas de ingá, nas profundidades de 0 - 20 cm e 20 - 40 cm, totalizando 16 tratamentos. O delineamento experimental foi o inteiramente casualizado, com 6 repetições. Os resultados foram submetidos à análise de variância pelo teste F e as médias comparadas entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade, através do programa estatístico SISVAR versão 5.6 (FERREIRA, 2015).

14.4 Experimento 7. Avaliação de Tipo de Corte em Poda e Uso de Inibidor de Crescimento em *Mimosa caesalpinifolia* (sabiá)

O experimento foi realizado com plantas adultas de sabiá (*Mimosa caesalpinifolia*) localizadas na área do Departamento de Fitopatologia - Instituto de Biologia/UFRRJ,

Seropédica. A instalação do experimento ocorreu no mês de julho de 2018. Plantas selecionadas quanto à uniformidade de dados biométricos foram podadas com auxílio de moto-poda (modelo Sthil HT 131). A poda foi realizada em 2 galhos por planta, sendo o tipo de corte com toco ou corte rente. Os galhos podados tinham, em média, o diâmetro de 7,9 cm. Devido a arquitetura das plantas, com característica cespitosa, ou seja, de um mesmo ponto partem vários troncos com dimensões semelhantes (PAULA e ALVES, 1997), as podas dos galhos (troncos) foram realizadas deixando toco de 40 cm – medido a partir da base na superfície do solo. Os cortes rentes foram realizados em ramificações primárias saídas do tronco principal.

Foram realizadas análises físicas e químicas de amostras de solo coletadas na área deste experimento, os resultados são apresentados na tabela 46.

Tabela 46. Características físicas e químicas do solo da área do experimento 3, em duas profundidades de amostragem.

Prof. (cm)	Textura		Al	H+Al	Ca	M g	Na	SB	t	T	V	m	P	K
		pHcmol/dm ³%.....		mg/dm ³			
													
0-20	Arenosa	4,5	0,6	6,2	0,6	0,4	0,04	1,1	1,7	7,3	15,0	35,0	5,8	42
20-40	Arenosa	4,6	0,5	6,5	0,6	0,3	0,04	1,0	1,5	7,5	13,0	33,0	4,7	38

Foram realizados 6 tratamentos, com 4 repetições. Os tratamentos consistiram em:

- corte com toco de 40 cm (testemunha);
- corte com toco de 40 cm e aplicação de AlCl₃;
- corte com toco de 40 cm e aplicação de AlCl₃ + (2,4-D + picloram);
- corte com toco de 40 cm e aplicação de 2,4-D + picloram a 1%;
- corte com toco de 40 cm e aplicação de 2,4-D + picloram a 2%;
- corte rente sem aplicação de produto (tratamento adicional).

O Al foi aplicado na forma de AlCl₃.6H₂O, em solução aquosa na concentração 2 M. A solução de AlCl₃ + (2,4-D + picloram) foi preparada pela mistura de AlCl₃.6H₂O na concentração de 60 mM com 2,4-D + picloram a 1% (produto comercial Tordon®), seguindo a metodologia descrita no capítulo 2, ensaio 1. As dosagens de 2,4-D + picloram foram de 1 e 2% de diluição em água. As soluções foram preparadas com água deionizada. A dosagem foi de 5 ml por planta para todos os tratamentos, aplicada com o auxílio de pincel, imediatamente após a poda.

15 RESULTADOS

15.1 Experimento 5. Avaliação de Tipos de Corte em Poda e Uso de Inibidor de Crescimento em *Bauhinia sp.* (pata-de-vaca)

Todos os resultados a seguir foram obtidos apenas na região corte e/ao longo do toco podado. Na Figura 15 são apresentados os resultados das avaliações do número de brotos surgidos após a poda realizada em árvores de pata-de-vaca. Na primeira avaliação realizada aos 30 dias após a poda não foram observadas brotações com tamanhos mínimos, visuais, para medição e identificação. Aos 75 dias após a poda não foi revelada diferença significativa entre os tratamentos quanto ao número de brotos. A partir dos 165 dias até os 900 dias após a poda verificou-se que os tratamentos com corte rente sem aplicação de produto químico e

corte rente com aplicação de AlCl_3 tiveram médias de número de brotos significativamente inferiores em relação a todos os tratamentos com toco. Todas as médias dos tratamentos com o corte rente, desde o início das avaliações, não foram diferentes entre si estatisticamente, independentemente se com HCl, AlCl_3 ou sem nenhuma aplicação de produto químico.

Dos 165 até os 360 dias após a poda, observa-se pouca variação em relação ao número médio de brotos por tratamentos. Aos 720 e aos 900 dias, verifica-se uma diminuição do número de brotos em todos os tratamentos. Essa redução do número de brotos ocorreu por morte natural ou por quebra dos brotos causada por ação de chuvas e ventos. Durante a condução do experimento foi observada cicatrização normal das regiões de corte e manutenção da sanidade das plantas.

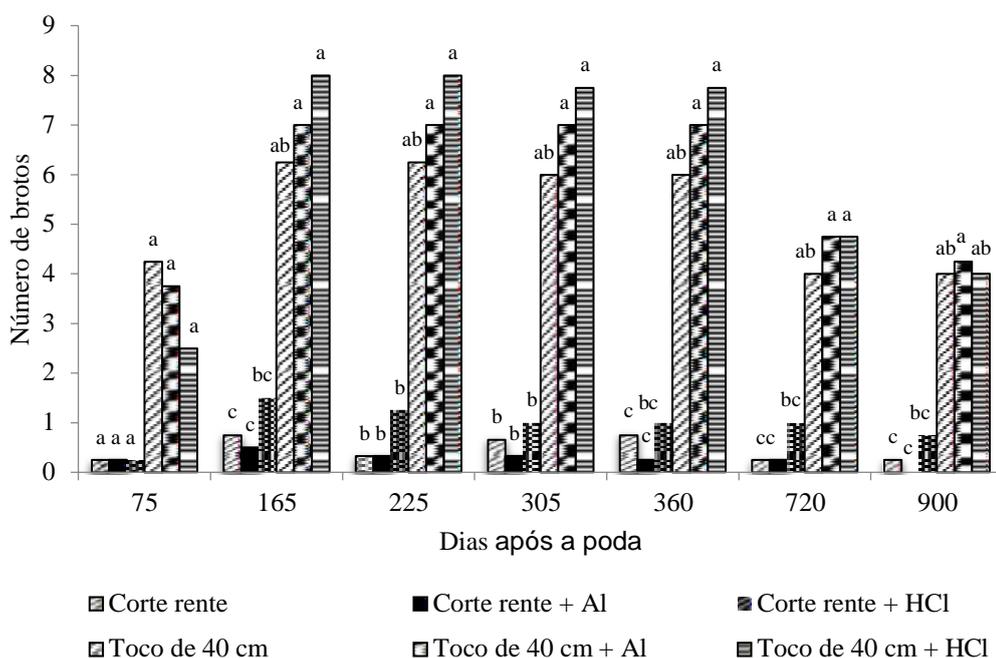


Figura 15. Valores médios do número de brotos por tratamento ao longo dos dias após a poda para a espécie *Bauhinia sp.* Médias seguidas pela mesma letra não diferem pelo teste Tukey (5%) em cada época de avaliação. CV= 123,65; 58,78; 59,43; 59,60; 60,99; 64,6 e 67,71% respectivamente para as 7 avaliações.

Para as avaliações realizadas do comprimento dos brotos (Figura 16), até os 720 dias após a poda, a análise estatística não revelou diferença significativa entre os tratamentos com relação ao comprimento dos brotos. Na última avaliação realizada aos 900 dias, os tratamentos com toco e com toco mais aplicação de HCl tiveram médias de comprimento de brotos significativamente superiores às dos tratamentos com corte rente e corte rente mais aplicação de AlCl_3 . Na última avaliação realizada, o maior comprimento médio de broto foi de 253,5 cm, correspondente ao tratamento com toco de 40 cm. Nesta mesma avaliação, o comprimento médio de broto referente ao tratamento com toco + aplicação de AlCl_3 foi de 127,0 cm. A amplitude da diferença entre os comprimentos médios dos brotos nestes dois tratamentos foi de 126,5 cm. Os brotos com maiores comprimentos, medidos na última avaliação (900 dias) alcançaram o comprimento de 3,5 m e foram verificados no tratamento com corte com toco de 40 cm e aplicação de HCl.

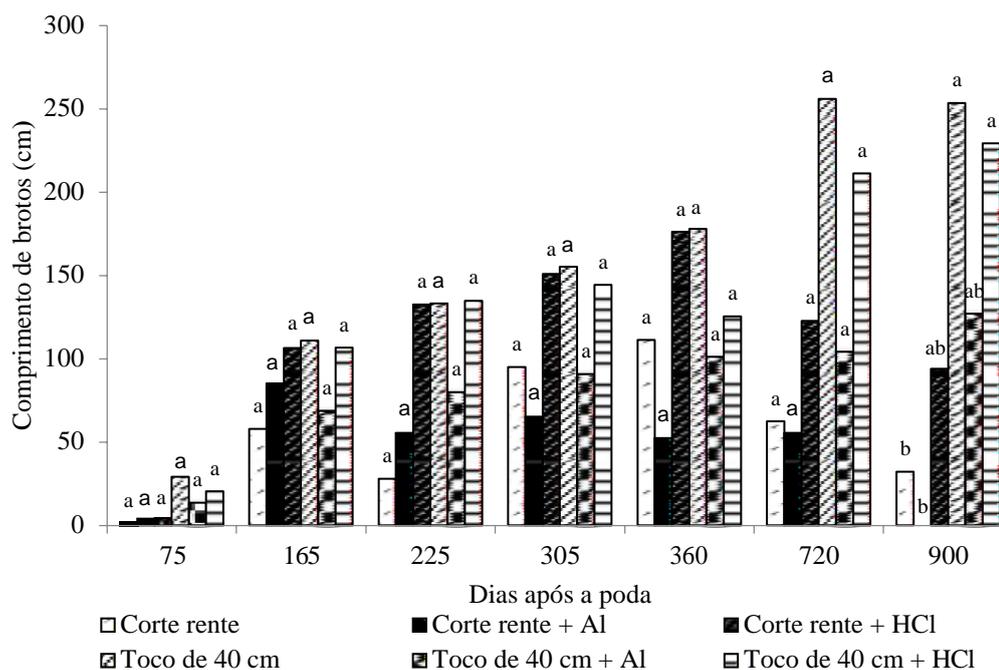


Figura 16. Comprimento médio de brotos por tratamento ao longo dos dias após a poda para a espécie *Bauhinia sp.* Médias seguidas pela mesma letra não diferem pelo teste Tukey (5%) em cada época de avaliação. CV= 131,98; 66,77; 58,40; 55,8; 63,05; 67,5 e 61,28%, respectivamente para 7 avaliações.

Os resultados das avaliações em relação aos diâmetros dos brotos, apresentados na figura 17, revelaram que até os 360 dias após a poda não ocorreu diferença significativa entre os tratamentos em relação a este parâmetro. Aos 720 e aos 900 dias após a poda, foi demonstrado que o tratamento com toco (sem aplicação de produtos químicos) teve a maior média de diâmetro dos brotos diferindo significativamente do tratamento com corte rente mais aplicação de $AlCl_3$, que apresentou a menor média. As médias dos demais tratamentos não diferiram entre si, nesses períodos de avaliação. O maior diâmetro médio de broto foi também encontrado aos 900 dias após a poda no tratamento toco de 40 cm, sendo obtido o valor 31,75 mm que é igual ao tratamento que recebeu HCl. Mesmo não havendo diferenças entre as médias nesta avaliação, o menor valor de diâmetro de 15,75 mm foi encontrado no tratamento que recebeu $AlCl_3$, portanto com uma diferença de 16 mm.

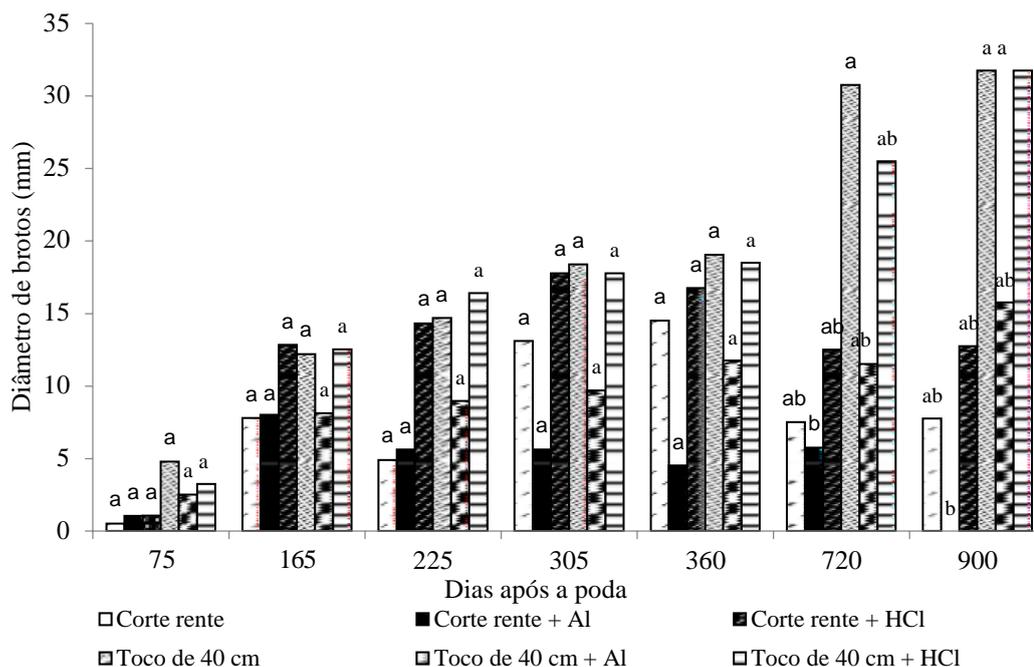


Figura 17. Diâmetro médio de brotos, em 4 períodos de avaliação para a espécie *Bauhinia sp.* Médias seguidas pela mesma letra não diferem pelo teste Tukey (5%) em cada época de avaliação. CV= 114,02; 55,78; 56,1; 52,42; 52,01; 68,14 e 70,03%, respectivamente para 7 avaliações.

Durante a condução do experimento, até os 900 dias após a poda, as árvores de pata-de-vaca apresentaram desenvolvimento normal, com aspectos visuais de sanidade. Foi verificada cicatrização normal nas áreas de corte e aplicação dos tratamentos. Através da figura 18, que apresenta imagens capturadas na última avaliação realizada, é possível observar os aspectos de cicatrização e brotos surgidos após a poda.

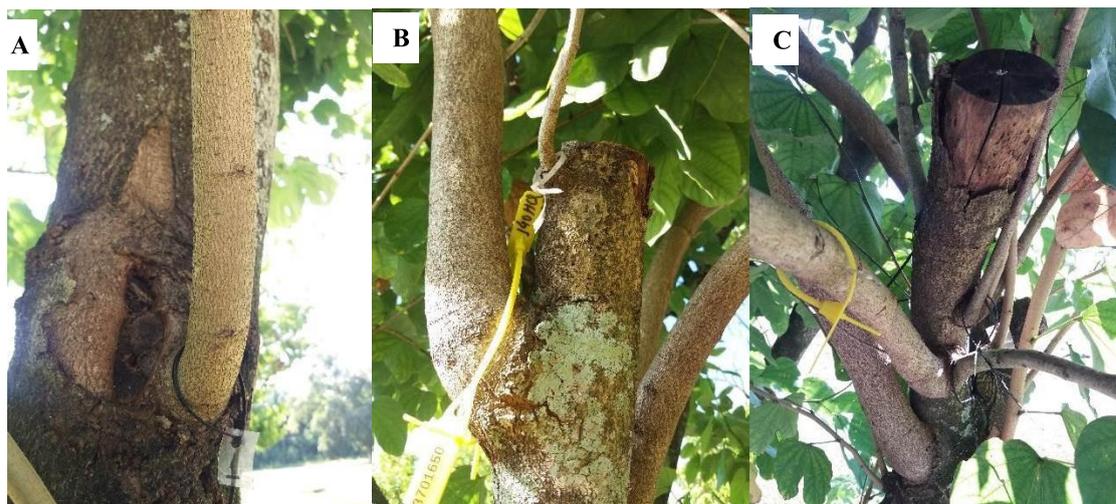


Figura 18. Cicatrização na área de corte e brotações surgidas em árvores de *Bauhinia sp.*, aos 900 dias após a poda. A – corte rente com aplicação de HCl. B – corte com toco de 40 cm e aplicação de HCl. C - corte com toco de 40 cm e aplicação de $AlCl_3$.

15.2 Experimento 6 - Avaliação de Tipo de Corte em Poda e Uso de Inibidor de Crescimento em *Inga sp.* (ingá)

Os resultados das avaliações realizadas para o número de brotações surgidas após a poda realizada em plantas de ingá são apresentados na figura 19 em plantas podadas deixando toco de 40 cm. Da primeira avaliação, aos 30 dias após a poda, até a avaliação realizada aos 150 dias, para o tratamento com aplicação de $AlCl_3$ não foi verificada diferença significativa em relação ao tratamento testemunha, ambos com médias significativamente superiores aos dos tratamentos com aplicação de $AlCl_3$ + (2,4-D + picloram) e com aplicação isolada de 2,4-D + picloram. Nas avaliações realizadas dos 180 aos 300 dias após a poda, o tratamento com aplicação de $AlCl_3$ teve as maiores médias de número de brotos, diferindo significativamente dos demais tratamentos. O surgimento de brotações foi verificado nas plantas do tratamento com aplicação da mistura de $AlCl_3$ + (2,4-D + picloram) na avaliação realizada aos 90 dias, com número médio de brotos próximo a 2,0, mantendo-se constante até os 300 dias e com uma pequena redução aos 330 dias após a poda. Observa-se que apenas aos 330 dias foi verificado o surgimento de brotações nas plantas que receberam o tratamento com 2,4-D + picloram aplicado de forma isolada. Apesar de não ter sido revelada diferença significativa, o uso de $AlCl_3$ parece ter estimulado o surgimento de brotações desde o início das avaliações.

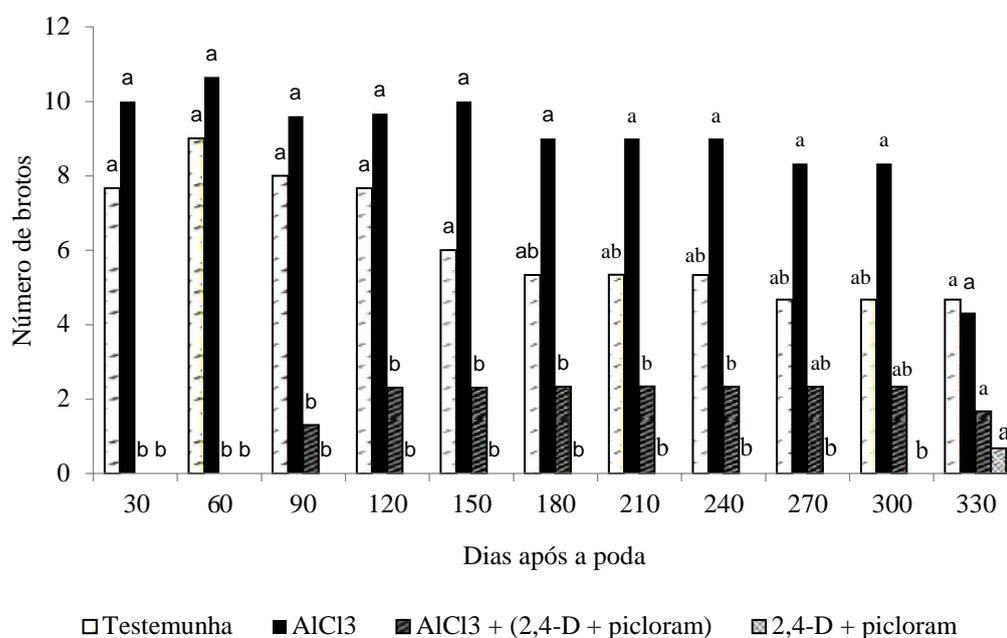


Figura 19. Valores médios do número de brotos por tratamento, em 11 períodos de avaliação para a espécie *Inga sp.* Médias seguidas pela mesma letra não diferem pelo teste Tukey (5%) em cada época de avaliação. CV= 13,07; 16,33; 30,99; 46,6; 51,55; 53,22; 53,25; 53,2; 65,22; 65,5; 110,68%, respectivamente para as 11 avaliações realizadas.

Os resultados das avaliações do comprimento de brotações surgidas após a poda em plantas de ingá podem ser observados na figura 20. Da primeira avaliação até os 120 dias após a poda, as plantas dos tratamentos testemunha e com aplicação de $AlCl_3$ apresentaram as maiores médias de comprimento de brotos, com diferença significativa em relação as plantas dos tratamentos com aplicação de $AlCl_3$ + (2,4-D + picloram) e de 2,4-D + picloram isoladamente. Dos 150 até os 270 dias após a poda apenas os tratamentos testemunha, com a maior média de comprimento de brotos, e o tratamento com aplicação isolada de 2,4-D + picloram apresentaram diferenças significativas entre as médias. Nas avaliações realizadas aos 300 e 330 dias as análises estatísticas não demonstraram diferenças significativas entre as médias dos tratamentos.

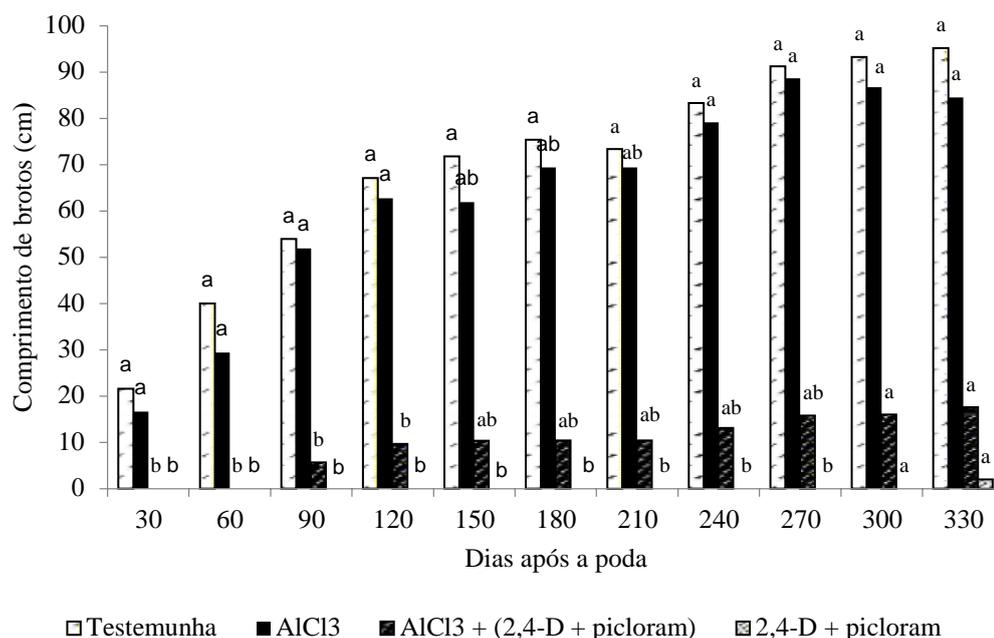


Figura 20. Valores médios do comprimento de brotos por tratamento, em 11 períodos de avaliação para a espécie *Inga sp.* Médias seguidas pela mesma letra não diferem pelo teste Tukey (5%) em cada época de avaliação. CV= 37,87; 40,02; 46,37; 56,09; 71,87; 68,59; 68,9; 67,94; 67,98; 73,82; 91,48%, respectivamente para as 11 avaliações.

Os resultados das análises dos diâmetros dos brotos (Figura 21) tiveram a mesma tendência verificada para o comprimento das brotações. Nas avaliações realizadas até os 270 dias após a poda as médias do tratamento com aplicação isolada de 2,4-D + picloram, sem o surgimento de brotos, diferiram significativamente das médias da testemunha e do tratamento com aplicação de AlCl₃. Não foram demonstradas diferenças significativas entre as médias dos tratamentos nas avaliações realizadas aos 300 e 330 dias após a poda.

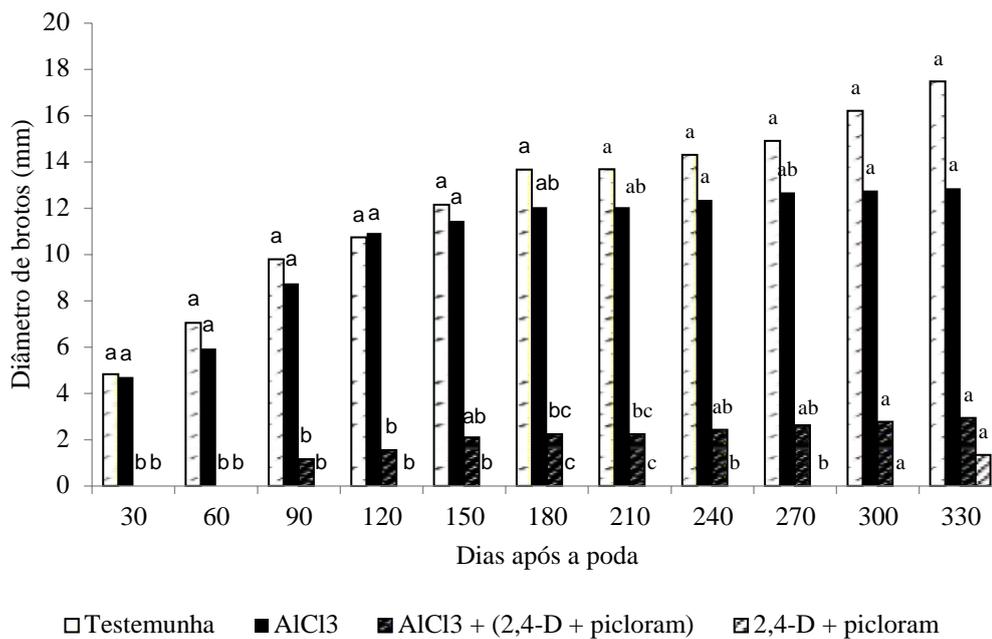


Figura 21. Valores médios do diâmetro de brotos por tratamento, em 11 períodos de avaliação para a espécie *Inga sp.* Médias seguidas pela mesma letra não diferem pelo teste Tukey (5%) em cada época de avaliação. CV = 28,94; 25,68; 38,52; 45,44; 59,84; 61,62; 62,5; 64,2; 66,81; 79,93; 94,65%, respectivamente para as 11 avaliações.

15.3 Ensaio 2. Bioensaio com Pepino (*Cucumis sativus*)

Os resultados das análises de variância realizadas para os dados de altura, peso seco de raiz e peso seco de parte aérea de plantas de pepino, cultivadas em substratos compostos por amostras de solo coletados na área do experimento 6 (avaliação de tipo de corte em poda e uso de inibidor de crescimento em ingá), são apresentados na tabela 47. Para o parâmetro altura das plantas foi possível observar que a análise de variância revelou efeitos significativos dos tratamentos onde o cultivo foi realizado em amostras de solo coletadas a 0,4 e 1,2 m de distância da base do caule na profundidade de 0 – 20 cm. Para o peso seco de raiz o valor de F foi significativo apenas para o tratamento onde foi utilizada amostra de solo coletada a 1,2 m de distância das plantas de ingá, na profundidade de 20 – 40 cm. Com relação ao peso seco de parte aérea foi revelado efeito significativo para os tratamentos com amostras de solo coletadas a 0,4 m e 1,2 m na profundidade de 20 – 40 cm.

Tabela 47. Valores de F, nível de significância e coeficiente de variação (CV%) obtidos na análise de variância para as variáveis altura, peso seco de raiz e peso seco de parte aérea de plantas de pepino (*Cucumis sativus*) cultivadas em amostras de solo provenientes de duas distâncias (m) e duas profundidades (cm) em área experimental onde foi utilizado AlCl₃, AlCl₃ + (2,4 - D + picloram) e 2,4 - D + picloram na parte aérea de *Inga sp.*

Amostra de solo	Fontes de variação	Valor de F	CV %
0,4 m - 0 a 20 cm	Altura da planta	3,923 *	11,42
	Peso seco de raiz	1,781 ns	21,03
	Peso seco de parte aérea	5,434 *	10,92
0,4 m - 20 a 40 cm	Altura da planta	2,166 ns	10,53
	Peso seco de raiz	0,306 ns	26,93
	Peso seco de parte aérea	0,641 ns	19,97
1,2 m - 0 a 20 cm	Altura da planta	1,287 ns	12,5
	Peso seco de raiz	2,844 ns	18,52
	Peso seco de parte aérea	6,115 *	11,98
1,2 m - 20 a 40 cm	Altura da planta	4,762 *	9,08
	Peso seco de raiz	5,063 *	23,39
	Peso seco de parte aérea	1,219 ns	8,69

*significativo em nível de 5% de probabilidade; ^{ns} não significativo em nível de 5% de probabilidade

Na tabela 48 são apresentados os resultados dos testes de médias com relação aos parâmetros altura da planta e peso seco da parte aérea do tratamento com amostras de solo coletadas a 0,4 m de distância das plantas de ingá utilizadas no experimento 2, na profundidade de 0 – 20 cm. Ocorreu diferença significativa entre as médias de altura das plantas provenientes do tratamento onde foi aplicado AlCl₃ na parte aérea das plantas de ingá com relação ao tratamento testemunha (que recebeu apenas poda) e que teve a maior média. A maior média de peso seco de parte aérea foi verificada para o tratamento com o solo coletado próximo as plantas que receberam AlCl₃ após a poda.

Tabela 48. Altura (cm) e peso seco de parte aérea (mg) de plantas de pepino (*Cucumis sativus*) cultivadas em amostras de solo provenientes de área experimental onde foi utilizado AlCl₃, AlCl₃ + (2,4 - D + picloram) e 2,4 - D + picloram na parte aérea de *Inga sp.*, coletadas a 0,4 m de distância da base do caule e de 0 a 20 cm de profundidade.

	Altura da planta (cm)	Peso seco de parte aérea (mg)
Testemunha	3,84 a	213,943 b
AlCl ₃	3,14 b	254,531 a
AlCl ₃ + (2,4 - D + picloram)	3,37 ab	200,053 b
2,4 - D + picloram	3,74 ab	221,333 ab

Médias seguidas pelas mesmas letras na coluna não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

O maior peso da parte aérea foi obtido no tratamento que recebeu $AlCl_3$ sendo igual a testemunha e diferente estatisticamente dos outros, nas plantas crescidas com solo proveniente dos primeiros 20 cm (Tabela 49).

Tabela 49. Peso seco de parte aérea (mg) de plantas de pepino (*Cucumis sativus*) cultivadas em amostras de solo provenientes de área experimental onde foi utilizado $AlCl_3$, $AlCl_3 + (2,4 - D + picloram)$ e $2,4 - D + picloram$ na parte aérea de *Inga sp.*, coletadas a 1,2 m de distância da base do caule e de 0 a 20 cm de profundidade.

	Peso seco de parte aérea (mg)
Testemunha	278,722 ab
$AlCl_3$	291,833 a
$AlCl_3 + (2,4 - D + picloram)$	241,444 b
$2,4 - D + picloram$	224,722 c

Médias seguidas pelas mesmas letras na coluna não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Nas amostras de solo coletadas a 1,2 m de distância e 20 – 40 cm de profundidade, a média de altura das plantas de pepino cultivadas em amostras de solo coletadas próximo as árvores de ingá do tratamento testemunha foi superior, diferindo significativamente do tratamento representado pelas árvores onde foi aplicado $AlCl_3$, que teve o menor valor médio de altura. O peso seco de raiz foi menor quando proveniente das plantas cultivadas em amostras de solo coletadas próximo as plantas de ingá que foram tratadas com $2,4 - D + picloram$, diferindo significativamente dos demais tratamentos (Tabela 50).

Tabela 50. Altura e peso seco de raiz (mg) de plantas de pepino (*Cucumis sativus*) cultivadas em amostras de solo provenientes de área experimental onde foi utilizado $AlCl_3$, $AlCl_3 + (2,4 - D + picloram)$ e $2,4 - D + picloram$ na parte aérea de *Inga sp.*, coletadas a 1,2 m de distância da base do caule e de 20 a 40 cm de profundidade.

	Altura da planta (cm)	Peso seco de raiz (mg)
Testemunha	3,21 a	49,77 a
$AlCl_3$	2,64 b	47,61 a
$AlCl_3 + (2,4 - D + picloram)$	2,98 ab	40,05 ab
$2,4 - D + picloram$	3,03 ab	29,88 b

Médias seguidas pelas mesmas letras na coluna não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Foram observados apenas sintomas leves de intoxicação nas plantas de pepino cultivadas nas amostras de solo provenientes das áreas dos tratamentos (experimento 2) no tratamento com $2,4 - D + picloram$ na distância de 1,2 m da planta de ingá, de 0 a 20 cm de profundidade (Tabela 51).

Tabela 51. Intoxicação em plantas de pepino (*Cucumis sativus*) aos 21 dias após o plantio, cultivadas em amostras de solo provenientes de área experimental onde foi utilizado AlCl₃, AlCl₃ + (2,4 - D + picloram) e 2,4 - D + picloram na parte aérea de *Inga sp.*, coletadas a 1,2 m de distância da base do caule e de 20 a 40 cm de profundidade.

	Escala de intoxicação			
	Amostras de solo			
	0,4 m – 0 a 20 cm	0,4 m – 20 a 40 cm	1,2 m – 0 a 20 cm	1,2 m – 20 a 40 cm
Testemunha	1	1	1	1
AlCl ₃	1	1	1	1
AlCl ₃ + (2,4 - D + picloram)	1	1	1	1
2,4 - D + picloram	1	1	2	1

* Escala de intoxicação no pepino: ausência (1) e leve (2).

15.4 Experimento 7. Avaliação de Tipo de Corte em Poda e Uso de Inibidor de Crescimento em *Mimosa caesalpinifolia* (sabiá)

A análise de variância realizada para o número de brotos surgidos após a poda em plantas de sabiá (Figura 22) revelou efeito significativo dos tratamentos desde a primeira avaliação, aos 30 dias após a poda, até os 150 dias. Em todos os períodos de avaliação, as médias do número de brotos dos tratamentos testemunha e com corte rente não difeririam entre si, pelo teste de Tukey 5%, e apresentaram os maiores valores médios em relação aos demais tratamentos. O número médio de brotos das plantas que receberam AlCl₃ diferiu estatisticamente da testemunha apenas na avaliação realizada aos 60 dias após a poda, e foi estatisticamente igual ao tratamento com corte rente em todas as avaliações realizadas. As plantas que receberam tratamentos com aplicação de AlCl₃ + (2,4-D + picloram) e 2,4-D + picloram a 1 e 2% tiveram números reduzidos de brotações, verificados a partir dos 60 dias após a poda, não sendo revelada diferença significativa entre as médias destes tratamentos. Em todos os períodos de avaliação, as médias dos números de brotos das plantas tratadas com 2,4-D + picloram aplicado isoladamente ou em mistura com AlCl₃ foram significativamente inferiores as médias do tratamento testemunha.

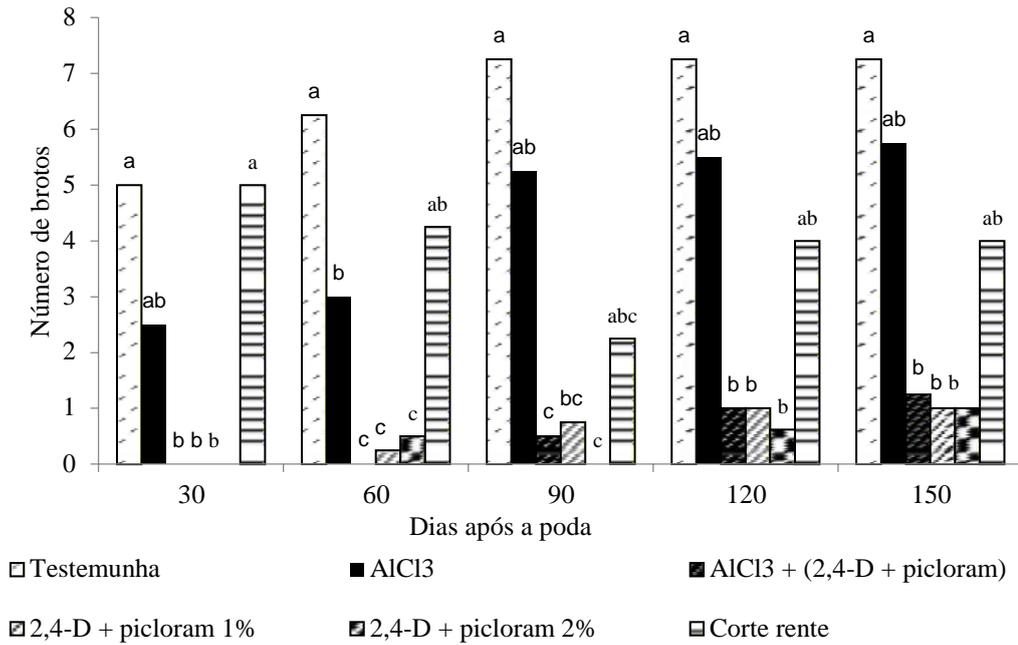


Figura 22. Valores médios do número de brotos por tratamento, em 5 períodos de avaliação para a espécie sabiá. Médias seguidas pela mesma letra não diferem pelo teste Tukey (5%) em cada época de avaliação. CV = 95,72; 42,97; 69,39; 67,86; 68,52%, respectivamente para as 5 avaliações realizadas.

Na figura 23 são apresentados os resultados das avaliações dos comprimentos dos brotos. Os resultados demonstraram que nas avaliações realizadas aos 30 e aos 60 dias após a poda os tratamentos com aplicação de AICl₃ + (2,4-D + picloram) e 2,4-D + picloram a 1 e 2% resultaram nos menores valores médios, diferindo significativamente dos demais tratamentos. Em todos os períodos de avaliação, as médias dos comprimentos de brotos das plantas do tratamento testemunha, corte rente e com aplicação de AICl₃ não diferiram significativamente entre si. Na última avaliação realizada, aos 150 dias após a poda, a análise estatística não demonstrou diferença significativa entre as médias dos tratamentos.

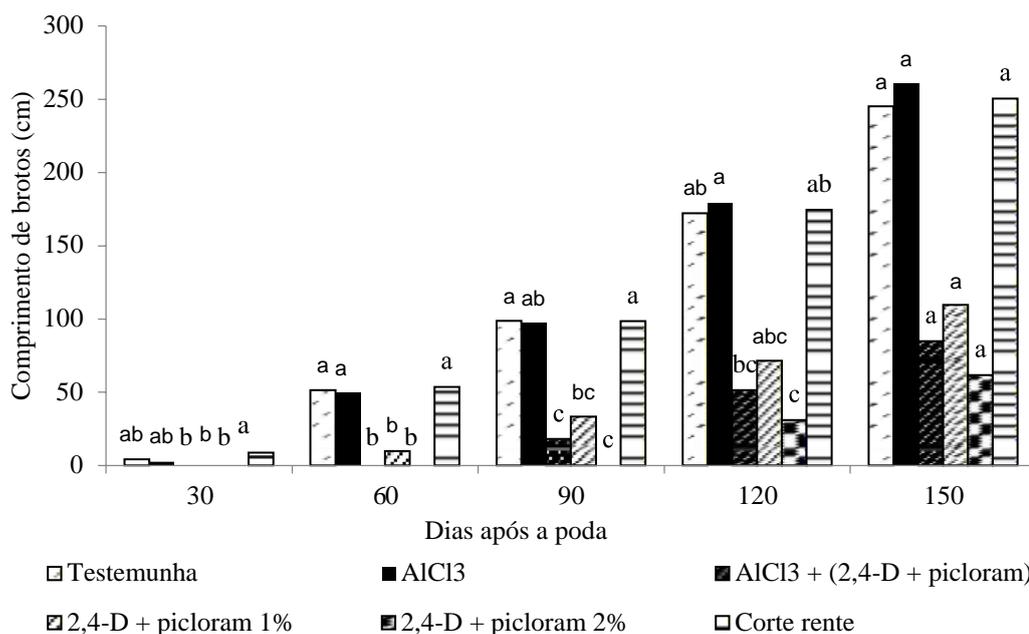


Figura 23. Valores médios do comprimento de brotos por tratamento, em 5 períodos de avaliação para a espécie sabiá. Médias seguidas pela mesma letra não diferem pelo teste Tukey (5%) em cada época de avaliação. CV = 109,32; 46,66; 49,71; 49,73; 53,05%, respectivamente para as 5 avaliações realizadas.

Os resultados das análises relativas ao diâmetro dos brotos são apresentados na figura 24, revelaram que em todos os períodos de avaliação as médias dos tratamentos testemunha, com aplicação de AlCl₃ e com corte rente não diferiram significativamente entre si. Estes tratamentos tiveram os maiores valores médios de diâmetro, diferindo significativamente dos tratamentos com aplicação de AlCl₃ + (2,4-D + picloram) e 2,4-D + picloram a 1 e 2% na avaliação realizada aos 60 dias após a poda. Aos 90 dias o tratamento com 2,4-D + picloram a 2% resultou no menor valor médio de diâmetro, diferindo significativamente dos tratamentos testemunha, com aplicação de AlCl₃ e com corte rente; aos 120 dias essa diferença foi significativa apenas em relação aos tratamentos testemunha e com aplicação de AlCl₃. Para as avaliações realizadas aos 15 dias não foram demonstradas diferenças significativas entre as médias dos tratamentos.

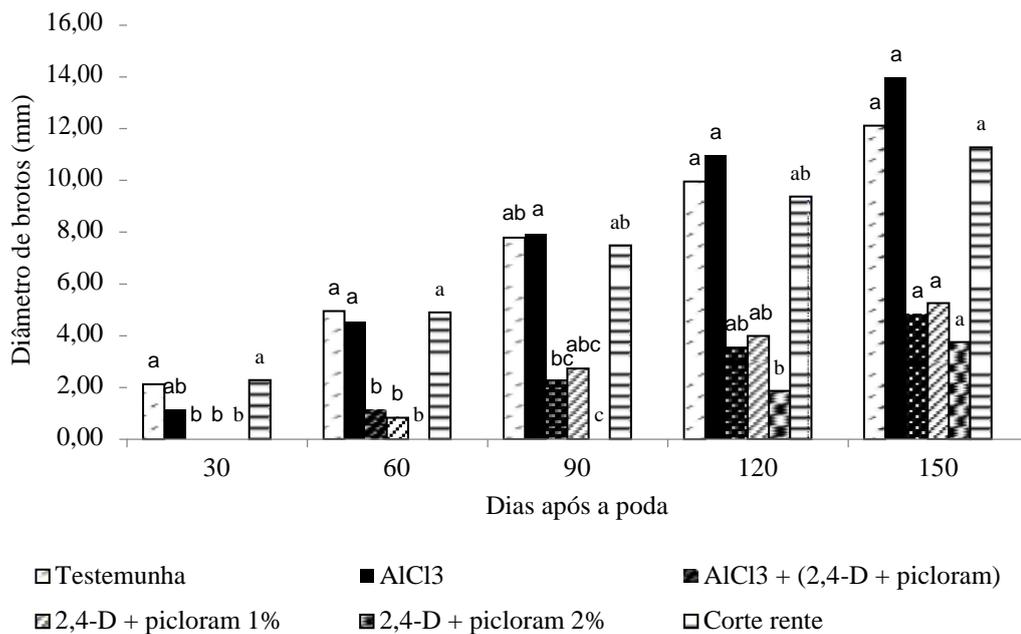


Figura 24. Valores médios do diâmetro de brotos por tratamento, em 5 períodos de avaliação para a espécie sabiá. Médias seguidas pela mesma letra não diferem pelo teste Tukey (5%) em cada época de avaliação. CV = 58,47; 48,67; 52,69; 50,66; 53,04%, respectivamente para as 5 avaliações realizadas.

16 DISCUSSÃO

O potencial de uma árvore para desenvolver brotações depende do número de brotos que são produzidos em um determinado momento, do desenvolvimento inicial desses brotos e dos meristemas de crescimento associados, além de fatores que promovem a formação ou a morte dos brotos (MEIER et al., 2012). Estudos indicam que a formação e o desenvolvimento de brotações em espécies arbóreas têm relação com fatores genéticos, com variações inter e intra-específicas, com alterações no ambiente de crescimento e com estresses sofridos pela planta (COLIN et al., 2010). Sabe-se que a poda é um fator de estresse para a planta e que impulsiona a formação de novas brotações (BURROWS, 2000; KERR e HARMER, 2001; DEAL et al., 2003; O'HARA e BERRILL, 2009).

O experimento utilizando plantas de pata-de-vaca foi avaliado durante 900 dias após a poda. O AlCl_3 foi aplicado na região do corte, logo após a realização da poda, com o objetivo de inibir o surgimento e desenvolvimento de novas brotações. Adicionalmente, foi utilizado como tratamento o HCl no intuito de analisar se a acidez da solução aplicada teria efeito no surgimento ou desenvolvimento dos brotos. Para isso, foram aplicados volumes iguais das soluções de AlCl_3 e de HCl (6 ml por árvore), ambas com valores de pH próximos a 1,2. Os resultados relativos ao número de brotações demonstraram que o corte rente, com ou sem aplicação dos produtos químicos, resultou no menor número de brotos por árvore. Lemos (2015) relatou que a poda efetuada rente ao caule foi eficiente para o controle do surgimento de brotações após a poda nas espécies *Licania tomentosa*, *Acacia mangium* e *Delonix regia*. Resultados semelhantes foram encontrados por Polese (2013) para a espécie *Clitoria fairchildiana*.

No experimento com árvores de pata-de-vaca, foi observado que nos períodos de avaliação entre 165 e 360 dias, a média do número de brotos foi pouco alterada nas plantas de todos os tratamentos. A diminuição dessas médias que se observou a partir dos 720 dias ocorreu devido à quebra por ação de ventos e/ou chuva e por morte natural dos brotos. Quando a poda das árvores é realizada com objetivo de evitar a interferência dos galhos no mobiliário urbano, em especial nas redes de distribuição elétrica, o comprimento dos brotos é o parâmetro mais importante. É pela análise dele que se define em quais momentos é necessário realizar novamente o processo de poda (RAIMBAULT, 1995; VELASCO, 2003; POLESE, 2013; LEMOS 2015). A avaliação dos resultados dos tratamentos aplicados nas árvores de pata-de-vaca permitiu verificar que, mesmo sem indicação de diferenças estatísticas, os tratamentos com corte rente sem aplicação de produto químico e com aplicação de AlCl_3 resultaram nos menores comprimentos dos brotos. Verificou-se que a média de comprimento dos brotos das plantas que tiveram como tratamento o corte rente com aplicação de HCl foi semelhante às médias das plantas com tratamentos com toco de 40 cm sem aplicação de produto e com aplicação de HCl, até a avaliação realizada aos 360 dias após a poda. Dos 720 aos 900 dias, o comprimento dos brotos neste tratamento (corte rente mais aplicação de HCl) foi superior aos dos demais tratamentos, também sem indicação de diferenças estatísticas. Essa avaliação permite deduzir que o efeito da solução de AlCl_3 aplicado na parte aérea da planta não se deve unicamente ao valor de pH fortemente ácido. É possível que o Al tenha exercido ação fitotóxica nas células dos tecidos próximos a área de aplicação da solução de AlCl_3 . Os resultados relatados por Lemos (2015) corroboram com os encontrados neste trabalho, o autor cita que a aplicação de $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ na região do corte em plantas de *L. tomentosa* resultou no controle do surgimento de brotos. De maneira oposta, a aplicação de Al não resultou no controle de brotações da espécie *Acacia mangium* (LEMOS, 2013).

O diâmetro do broto é um fator importante com relação ao seu desenvolvimento e sobrevivência, principalmente pela resistência à quebra por ações mecânicas de ventos e chuvas. Foi observado, aos 900 dias após a poda, que as plantas do tratamento com corte rente e aplicação de AlCl_3 tiveram o número de brotos reduzido a zero, possivelmente devido à quebra ou morte desses brotos que pode ter sido facilitada pelos seus menores diâmetros.

No experimento 2, realizado com árvores de ingá, foram aplicados na região do corte e logo após a poda soluções de AlCl_3 , de 2,4-D + picloram a 2% de diluição e da mistura de 60 mM de AlCl_3 com 2,4-D + picloram a 1%. Nesse experimento não foi utilizado o corte rente como tratamento. Até a última avaliação, realizada aos 330 dias após a poda, os tratamentos com aplicação 2,4-D + picloram isolado ou em mistura com AlCl_3 resultaram nos menores valores de número de brotos. Apenas aos 330 dias foi observado o surgimento de brotações em plantas tratadas com 2,4-D + picloram de forma isolada, esse resultado indica que o herbicida inibiu o surgimento de brotações, porém, sem causar a morte dos tecidos próximos das regiões onde foi aplicado. Com relação ao comprimento e ao diâmetro dos brotos, as plantas que receberam o tratamento com AlCl_3 tiveram o maior número e o menor diâmetro de brotações, apesar de as análises estatísticas não demonstrarem diferenças significativas entre as médias. Esses resultados corroboram com os encontrados para as plantas de pata-de-vaca, novamente indicando que pode ter ocorrido ação fitotóxica do Al, interferindo no desenvolvimento dos brotos.

Para o experimento 3 foram utilizados nas plantas de sabiá os mesmos tratamentos aplicados nas plantas de ingá, também realizado um tratamento com 2,4-D + picloram a 1% de diluição e um tratamento com corte rente sem aplicação de produtos químicos. O tratamento com aplicação de AlCl_3 resultou em médias de número, comprimento e diâmetro de brotos semelhantes às dos tratamentos testemunha e com corte rente. Este resultado indica que o Al não afetou negativamente o desenvolvimento de brotos surgidos após a poda em

plantas de sabiá. Lemos (2013) relatou que essa espécie é tolerante à toxicidade do Al, o que pode ter relação com os resultados encontrados neste trabalho.

Os tratamentos com aplicação de 2,4-D + picloram aplicado de forma isolada em mistura com $AlCl_3$ resultaram em maior tempo para o surgimento de brotações e em menores médias de número, comprimento e diâmetro de brotos. Esses resultados indicam que 2,4-D + picloram foi eficiente na diminuição do surgimento e desenvolvimento de brotações surgidas após a poda em plantas de sabiá, na menor dose aplicada (1%) e em associação com $AlCl_3$. Observou-se que ocorreu, ainda que em número reduzido, o surgimento de brotos nas plantas onde foram aplicados estes tratamentos, indicando que as doses aplicadas do herbicida foram suficientes para diminuir o surgimento de novas brotações, no entanto, não provocou a morte dos tecidos vegetais na região próxima à área onde foi feita aplicação. Estes resultados estão de acordo com os relatados por Polese (2013) e Lemos (2015).

O 2,4-D e picloram pertencem ao grupo dos herbicidas auxínicos e apresentam atividade residual no solo (AMARANTE JUNIOR et al., 2002; CARMO et al., 2008). A aplicação dos tratamentos foi realizada com o auxílio de um pincel e com cuidados para que não houvesse derramamento das soluções no solo ou em partes da planta que não estavam sendo tratadas. Contudo, esses herbicidas podem ser exsudados pelas raízes das plantas que receberam os tratamentos, em diferentes profundidades (SILVA et al., 2005). Assim, o bioensaio com plantas de pepino foi realizado com o objetivo de verificar se ocorreu exsudação radicular das moléculas herbicidas por plantas de ingá. As análises revelaram que as plantas de pepino crescidas em substrato composto por amostras de solo coletadas 1,2 m de distância das árvores de ingá tratadas com solução de 2,4-D + picloram, na profundidade de 0 – 20 cm, tiveram menor peso seco de parte aérea e na profundidade de 20 – 40 cm apresentaram a menor média de peso seco de raiz. A escala de intoxicação das plantas intoxicada leve das plantas crescidas em amostras de solo 1,2 m de distância das árvores de ingá tratadas com solução de 2,4-D + picloram, na profundidade de 0 – 20 cm. Essas moléculas herbicidas podem ter sido exsudadas pelas raízes de plantas de ingá tratadas com 2,4-D + picloram a 2%, ainda que em pequena quantidade. Segundo Santos et al. (2013), em estudo realizado para a determinação de espécies bioindicadoras herbicidas auxínicos, a escala de intoxicação visual foi a variável mais adequada para determinação de baixos níveis de resíduos de 2,4-D e picloram no solo. Estes resultados também estão de acordo com os encontrados por Santos et al. (2006) e Franceschi et al. (2017).

Os resultados do efeito da exsudação de compostos com Al na raiz, influenciando o crescimento de plantas de pepino, são de difícil explicação. É pouco provável que o Al possa ser liberado na forma inorgânica na raiz (ROSSIELLO e JACOB NETO, 2006). Entretanto, foi encontrado efeito do Al a distância de até 1,2 m do tronco principal e em profundidades de até 40 cm. O solo desta área experimental é de textura média e com pH razoavelmente baixo, talvez isso tenha contribuído para os efeitos de todos os tratamentos. Não foi encontrado na literatura trabalhos relacionados aos temas aqui tratados. Entretanto, como foi verificado efeito fitotóxico de $AlCl_3$ aplicado na área de corte, serão necessários estudos para melhor compreender estes efeitos.

Pelas análises das avaliações apresentadas, verifica-se que o melhor tratamento para o controle do crescimento e desenvolvimento de brotações surgidas após a poda em árvores de ingá é o composto pela associação de 60 mM de $AlCl_3$ com 2,4-D + picloram a 1% de diluição, que apresentou controle efetivo sem efeito residual no solo, nessas condições experimentais.

17 CONCLUSÕES

- O corte rente sem aplicação de produtos químicos foi eficiente para diminuir o surgimento de brotações após a poda em plantas de pata-de-vaca, mas não foi eficiente em plantas de sabiá.
- A solução composta pela mistura de 60 mM de AlCl_3 com 2,4-D + picloram a 1% foi eficiente para a inibição do crescimento e desenvolvimento de brotações surgidas após a poda em árvores de ingá, sem que ocorresse efeitos residuais dos herbicidas no solo.
- A solução de 2,4-D + picloram a 1% de diluição foi suficiente para a inibição do crescimento e desenvolvimento de brotações surgidas após a poda em árvores de sabiá.

18 CONCLUSÕES GERAIS

As características físicas e químicas do solo estão entre os principais fatores que condicionam o crescimento vegetal. Sabe-se que o desenvolvimento adequado do sistema radicular é primordial para a manutenção dos plantios e diminuição dos riscos de queda das árvores. Em condições de solos urbanos, o plantio de árvores possui desafios próprios por serem realizados em áreas que, em geral, sofreram alterações antrópicas e pela possível proximidade com construções e mobiliários. Soma-se a isto o fato de que a maioria dos solos brasileiros possui pH abaixo de 5,5 e concentrações tóxicas de Al. No presente estudo foram utilizadas espécies empregadas na arborização urbana, de maneira a atender uma demanda de conhecimentos específicos sobre o manejo dessas plantas em áreas antropizadas. Os resultados obtidos na primeira fase do trabalho revelaram que o Al provocou alterações morfológicas nas raízes de aroeira, prejudicando o desenvolvimento inicial dessa espécie. Através da análise de parâmetros genéticos foi demonstrado que existe variabilidade genética entre os genótipos de aroeira quanto à reação ao Al tóxico. Nesse sentido, os resultados aqui obtidos podem servir de base para a formação de mudas e plantio dessa espécie com adequada escolha de substrato e correção de pH de solo, além de fornecer informações para trabalhos de melhoramento genético que tenham como objetivo de seleção de genótipos de aroeira tolerantes ao Al.

Com base nos conhecimentos já estabelecidos sobre a ação do Al^{3+} nos tecidos vegetais, a mistura desse elemento com as moléculas herbicidas 2,4-D e picloram foi testada com o objetivo de avaliar a sua eficiência no controle de plantas. O Al^{3+} também foi avaliado como inibidor de crescimento através de sua aplicação em parte aérea. Por fim, o Al^{3+} e as formulações compostas por sua mistura com 2,4-D + picloram foram testadas para o controle de brotações surgidas após a poda em árvores adultas, além do tipo de corte realizado. Os resultados demonstraram que o Al, na forma de AlCl_3 , pode aumentar a eficiência de herbicida composto por 2,4-D + picloram no controle de plantas, possibilitando menores doses de aplicação. O AlCl_3 aplicado na parte aérea inibiu o desenvolvimento de plantas jovens de mentrasto, que é uma espécie invasora com registro de resistência a herbicidas. A aplicação da mistura de AlCl_3 com subdoses de 2,4-D + picloram após a poda em árvores adultas de ingá e sabiá foi eficiente para o controle do surgimento e desenvolvimento de brotações na região do corte. O ineditismo deste trabalho está exatamente na aplicação do Al na parte aérea e na mistura do elemento com moléculas herbicidas, os resultados encontrados são importantes tanto do ponto de vista ambiental, pela diminuição direta dos riscos de

contaminação, quanto do posto de vista econômico, devido a uma menor necessidade de uso do herbicida.

Quando as árvores em plantios urbanos apresentam potencial de interferência em redes de distribuição elétrica, construções e outros equipamentos, a poda dos galhos é periodicamente necessária para diminuir riscos e adequar a arquitetura da planta ao espaço disponível. Este estudo permitiu avaliar que o tipo de corte rente ao tronco principal foi eficiente para diminuir o surgimento de brotações em pata-de-vaca, como anteriormente já tinha sido relatado na literatura. De outra forma, o corte rente não foi eficiente para o controle das brotações em sabiá, espécie que possui grande vigor na rebrota. Nesses casos em que apenas o tipo de corte não é suficiente para o controle das brotações, o uso de inibidores de crescimento aplicados no local do corte logo após a poda, como aqui proposto, oferece a vantagem de um maior intervalo entre as podas. Entretanto, o uso de herbicidas na área urbana é proibido no Brasil. Devido a plantios em espaços impróprios, ou outros problemas relacionados ao crescimento vegetal, muitas vezes é recomendada a total supressão das árvores, ainda que sejam notórios os benefícios ambientais da arborização. O uso mínimo dos herbicidas, como nas subdoses aqui testadas, pode ser uma solução para o controle do crescimento das árvores. Assim, torna-se possível minimizar os prejuízos causados por plantios inadequados sem a necessidade de retirada das árvores, permitindo a manutenção dos benefícios ambientais, econômicos e sociais da arborização.

A diminuição das doses de herbicida são ambientalmente benéficas e economicamente favoráveis, além da potencial diminuição de riscos à saúde humana e animal. Também ficou indicado que o AI aplicado isoladamente na parte aérea pode diminuir o desenvolvimento de plantas. Este trabalho de tese seguiu uma linha de pesquisa desenvolvida no Laboratório de Química da Rizosfera do Departamento de Fitotecnia da UFRRJ, onde foram realizados diversos estudos que indicaram o AI como possível inibidor de crescimento de espécies arbóreas, visando sua adequação nutricional e controle do desenvolvimento de árvores em plantios urbanos, sem riscos de contaminação ambiental. Estudos futuros podem avançar nesses conhecimentos pela avaliação de diferentes doses de aplicação em distintas espécies vegetais e em diferentes fases de desenvolvimento. A associação do AI com outras moléculas herbicidas também deverá ser testada futuramente. A avaliação de toda a arquitetura da planta, pelo acompanhamento de brotações surgidas não apenas na região do corte, poderá aumentar o conhecimento dos efeitos do tipo de corte realizado e da aplicação dos inibidores de crescimento. Uma pesquisa ainda mais abrangente deverá avaliar também o desenvolvimento do sistema radicular das árvores e sua relação com o desenvolvimento da parte aérea. Contudo, os resultados aqui descritos já podem ser utilizados para o planejamento e execução de podas, com diminuição de frequência e de danos ao desenvolvimento das plantas, auxiliando os órgãos gestores da arborização urbana.

19 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALISTER, C.; KOGAN, M.; Efficacy of imidazolinone herbicides applied to imidazolinone-resistant maize and their carryover effect on rotational crops. **Crop Protection**, v.24, n.4, p.375-379, 2005.
- ALVES, P. L. C. A.; OLIVA, M. A.; CAMBRAIA, J.; SANT'ANNA, R. Efeitos da chuva ácida simulada e de um solo de Cubatão (SP) sobre parâmetros relacionados com a fotossíntese e a transpiração de plantas de soja. **Revista Brasileira de Fisiologia Vegetal**, v. 2, n. 1, p. 7-14, 1990.
- ALVES, R.M.N. **Comportamento diferencial ao Al em solução nutritiva de cultivares de feijão (*Phaseolus vulgaris* L.), sensível e tolerante e das espécies florestais Cássia Verrugosa (*Senna multijuga* (L.C. Rich.) e Ipê Mirim (*Stenolobium stans* (Jun.)).** Lavras, Universidade Federal de Lavras, 92p. (Dissertação de Mestrado), 1997.
- AMARANTE JUNIOR, O. P.; SANTOS, T. C. R.; BRITO, N. M.; RIBEIRO, M. L. Revisão das propriedades, usos e legislação do ácido 2, 4-diclorofenoxiacético (2, 4-D). **Cadernos de Pesquisa** 13(1), 60-70. 2002.
- AMARANTE JUNIOR, O. P.; SANTOS, T. C. R.; NUNES, G. S.; RIBEIRO, M. L. Breve revisão de métodos de determinação de resíduos do herbicida ácido 2,4-diclorofenoxiacético (2,4-D). **Química Nova** [online], vol.26, n.2. 2003.
- AMARANTE JUNIOR, O. P.; BRITO, N. M.; SANTOS, T. C. R.; RIBEIRO, M. L. Estudo da adsorção/dessorção de 2,4-D em solos usando técnica cromatográfica. **Eclética Química**. [online]. vol.27, 2002.
- MEIER, A. R.; SAUNDERS, M. R.; MICHLER, C. H. Epicormic buds in trees: a review of bud establishment, development and dormancy release. **Tree Physiology** v 32, 2012.
- ANVISA – Agência Nacional de Vigilância Sanitária. <http://portal.anvisa.gov.br/agrotoxicos> Acessado em: 3 de novembro de 2017.
- ARMSON, D.; STRINGER, P.; ENNOS, A.R. The effect of tree shade and grass on surface and globe temperatures in an urban area. **Urban Forest & Urban Green**. 11, 245–255. 2012.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 13875: **Agrotóxico - Avaliação de compatibilidade físico-química**. Rio de Janeiro, dez. 2014.
- AUGUSTO, S. G.; SOUZA, C. A. S. Leguminosa sabiá como cerca viva no Estado do Espírito Santo. Ilhéus: CEPLAC: EPEC, 15 p, 1995.
- BAGGIO, A. J: Aroeira como potencial para usos múltiplos na propriedade rural. **Boletim de Pesquisa Florestal**, Colombo, n. 17, p.25-32, dez. 1988.

BARBOSA, T.R.L.; SOARES, M.P.; BARROSO, D.G. Plantio de sabiazeiro em pequenas e médias propriedades. Niterói: **Programa Rio Rural**, 12p, 2008.

BARCELO, 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**. 48:75-92, 2002.

BARCENA, T. G.; KIAER, L. P.; VESTERDAL, L.; STEFANSDOTTIR, H. M.; GUNDERSEN, P.; SIGURDSSON, B. D.; BARGOS, D. C.; MATIAS, L. F. Áreas verdes urbanas: um estudo de revisão e proposta conceitual. **Revista da Sociedade Brasileira de Arborização Urbana**, Curitiba, v. 6, n. 3, p. 172-88, 2011.

BELO M. S. S.; PIGNATI W.; DORES E. G. C.; MOREIRA J. C.; PERES F. Uso de agrotóxicos na produção de soja do estado de Mato Grosso: um estudo preliminar de riscos ocupacionais e ambientais. **Revista Brasileira de Saúde Ocupacional**. 37(125):78-88, 2012.

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.

BILIA, D. A. C.; BARBEDO, C. J.; MARCOS FILHO, J. Ingá: uma espécie importante para a recomposição vegetal em florestas ripárias, com sementes interessantes para a ciência. **Informativo Abrates**, Brasília, v.13, ½, p.26-30, 2003

BOBROWSKI, R.; BIONDI, D. Comportamento de Índices de Diversidade na Composição da Arborização de Ruas. **Floresta e Ambiente**; 23(4): 475-486, 2016.

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

BRATBY, J. Coagulation ad flocculation in water and wastewater treatment. **International Water Association** (IWA). October de 2006.

BRITISH Crop Protection Council. The Pesticide Manual: incorporating the agrochemicals handbook. 10.ed. **Surrey: Tomlin**, 1341p, 1994.

BRITO, C. M. **Variabilidade genética de cana-de-açúcar na tolerância ao alumínio**. 32 f. Tese (Doutorado em Genética e Melhoramento) – UFV, Viçosa. 2015.

BRLGHENTI, A. M.; BORTOLUZF, E. S.; ADEGAS, F. S.; GAZZIERO D. L. P.; VOLL, E. Eficácia de herbicidas no controle em pré e pós-emergência do balãozinho (*Cardiospermum halicacabum*). **Revista Brasileira de Herbicidas**, v.3, n.1, 2002.

BURROWS, G. E. An anatomical study of epicormic bud strand structure in *Eucalyptus cladocalyx* (Myrtaceae). **Australian Journal of Botany**. 48:233–245, 2000.

- CALDEIRA, S. F.; CASTRO, C. K. C.. Herbicidas e danos físicos em tocos de teca para controle de brotos após o desbaste. **Ciência Rural**, 42(10), 1826-1832, 2012.
- CAMARGO, C. E. O.; FERREIRA FILHO, A. W. P.; FELICIO, J. C. Herança da tolerância ao alumínio em populações híbridas de trigo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, 35, 3/12: 517-522, 2000.
- CAMARGO, C. E. O.; CAMARGO, O. B.; SOUZA, D. M. Diferentes concentrações de alumínio em solução nutritiva na tolerância de cultivares de arroz. **Bragantia**, Campinas, 43(2):357- -368, 1984.
- CAMARGO, O. C. E.; OLIVEIRA, O. F. Tolerância de cultivares de trigo a diferentes níveis de alumínio em solução nutritiva e no solo. **Bragantia**, Campinas, v.40, p.21-23, 1981.
- CARDOSO, K. M.; DE PAULA, A.; SANTOS, J. S.; SANTOS, M. L. P. Uso de espécies da arborização urbana no biomonitoramento de poluição ambiental. **Ciência Florestal**, 27(2). 2017.
- CARLSON, K. L.; BURNSIDE, O. C. Comparative phytotoxicity of glyphosate, SC-0224, SC-0545, and HOE-00661. **Weed Science**, Champaign, 1984. v. 32, n. 6, p. 841-844.
- CARMO, M. L.; PROCOPIO, S. O.; PIRES, F. R.; CARGNELUTTI FILHO, A.; BRAZ, G. B P. V.; SILVA, W. F. P. V.; BARROSO, A. L. L.; SILVA, G. P.; CARMO, E. L.; BRAZ, A. J. B. P.; ASSIS, R. L. Influência do período de cultivo de *Panicum maximum* (cultivar Tanzânia) na fitorremediação de solo contaminado com picloram. **Planta Daninha**; 26:315-322. 2008.
- CARMONA, R.; ARAUJO NETO, B. S. C.; PEREIRA, R. C. Controle de *Acacia farnesiana* e de *Mimosa pteridofita* em pastagem. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, 36(10), 1301-1307, 2001.
- CARNEIRO, F. F.; RIGOTTO, R. M.; AUGUSTO, L. G. S.; FRIEDRICH, K.; BÚRIGO, A. C.; organizadores. Dossiê ABRASCO: um alerta sobre os impactos dos agrotóxicos na saúde. Rio de Janeiro: EPSJV, São Paulo: **Expressão Popular**, 2015.
- CARVALHO, D. F.; SILVA, D. G.; SOUZA, A. P.; GOMES, D. P.; ROCHA, H. S. Coeficientes da equação de Angström-Prescott e sua influência na evapotranspiração de referência em Seropédica, RJ. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola**; 15(8): 108-116, 2011.
- CARVALHO, F. C. C.; GARCIA, R.; ARAÚJO FILHO, J. A.; COUTO, L.; ROGERIO, M. C. P.; GARCEZ NETO, A. F.; DUTRA, L. A. Manejo in situ do Sabiá (*Mimosa caesalpinifolia* Benth.) para produção simultânea de madeira e forragem em um sistema silvopastoril. **Agronegócio**, v.1, n.2, p 121-129, 2004.

CARVALHO, J. H.; MAIA, C. M. N. A.; AMORIM, G. C. Seleção de sabiá (*Mimosa caesalpinifolia* Benth.) sem acúleos no Meio Norte. In: QUEIROZ, M. A.; GOEDERT, C. O.; RAMOS, S. R. R. (Eds.). Recursos genéticos e melhoramento de plantas para o Nordeste brasileiro. (on line). Versão 1.0. Petrolina: Embrapa Semi-Árido / Brasília, DF: **Embrapa Recursos Genéticos e Biotecnologia**, 1999.

CARVALHO, P. E. R. Pata-de-vaca. Colombo: Embrapa Florestas, 12 p. **Embrapa Florestas**. Circular Técnica, 74, 2003

CELIS, R.; HERMOSÍN, M.; CORNEJO, L.; CARRIZOSA, M.; CORNEJO, J. Clay-herbicide complexes to retard picloram leaching in soil. **International Journal of Environmental Analytical Chemistry**; 82:503–517. 2002.

CHAVES, T. A. **Propagação vegetativa de espécies florestais com potencial para uso como cerca viva**. Seropédica: UFRRJ, 2016. 33 p. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-graduação em Agricultura Orgânica, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, 2016.

CHEN, L.; ZENG, G.; ZHANG, Y.; TANG, L.; HUANG, D.; LIU, C.; PANG, Y.; LUO, J. Trace detection of picloram using an electrochemical immunosensor based on three-dimensional gold nanoclusters. **Analytical Biochemistry**.:172–179. 2010.

CHRISTOFFOLETI, P. J.; LÓPES-OVEJERO, R. F. **Comportamento dos herbicidas aplicados ao solo na cultura da cana-de-açúcar**. Piracicaba:SP , 90p, 2008.

CNCFlora. ***Mimosa caesalpinifolia* in Lista Vermelha da flora brasileira versão 2012.2** Centro Nacional de Conservação da Flora. Disponível em <[http://cncflora.jbrj.gov.br/portal/pt-br/profile/Mimosa caesalpinifolia](http://cncflora.jbrj.gov.br/portal/pt-br/profile/Mimosa%20caesalpinifolia)>. Acesso em 12 janeiro de 2019.

COLIN, F.; A. DUCOUSSO, F.; FONTAINE. Epicormics in 13-yearold *Quercus petraea*: small effect of provenance and large influence of branches and growth unit limits. **Annals of Forest Science**. 67:312. 2010.

CRESTANI, M.; CARVALHO, F. I. F.; OLIVEIRA, C. O.; SILVA, J. A. G.; SOUZA, V. Q.; PARACHU, E. A. M.; SILVEIRA, G.; RIBEIRO, G.; LUCHE, H. S. Estresse por alumínio em genótipos de aveia preta em condição hidropônica. **Bragantia**, 68, 3/4: 639-649. 2009.

CRUZ C. D.; REGAZZI A.J.; CARNEIRO P. C. S. **Modelos biométricos aplicados ao melhoramento genético**. Editora UFV, Viçosa pp 390. 2004.

CUNHA J. P. A. R.; ALVES, G. S.; MARQUES, R. S. Tensão superficial, potencial hidrogeniônico e condutividade elétrica de caldas de produtos fitossanitários e adjuvantes. **Revista Ciência Agrônômica**, v. 48, n. 2, p. 261-270, 2017.

- DEAL, R. L.; BARBOUR, R. J.; MCCLELLAN, M. H.; PARRY, D. L. Development of epicormic sprouts in Sitka spruce following thinning and pruning in south-east Alaska. **Forestry**, 76:401–412. 2003.
- DEJONG, T. M.; NEGRON, C.; FAVREAU, R.; COSTES, E.; LOPEZ, G.; GUÉDON, Y. Using Concepts of Shoot Growth and Architecture to Understand and Predict Responses of Peach Trees to Pruning. **Acta Horticulturae**, Wageningen, v.962, p.225-232, 2012.
- DELHAIZE, E.; RYAN, P. R. Aluminum toxicity and tolerance in plants. **Plant Physiology**, Rockville, v. 107, n. 2, p. 315-321, 1995.
- DIEGUES, I. P. **Diversidade Genética em Aroeira (*Schinus terebinthifolius* Raddi.) com base em Aspectos Morfoagronômicos, Moleculares e Químicos** (Doutorado em Fitotecnia). Instituto de Agronomia, Departamento de Fitotecnia, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, RJ, 2018.
- DÖBEREINER, J. Nodulação e fixação de nitrogênio em leguminosas florestais. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 19, nesp., p. 83-90, jun. 1994.
- DOMINGOS, A. H.; CEPPELLARI JÚNIOR, L. Plantas medicinais: patas-de-vaca. **Série Produtor Rural** - n 60. 29p. Piracicaba, 2016.
- DRUMMOND, R.D. et al. Prospecting sugarcane genes involved in aluminium tolerance. **Genetics and Molecular Biology**, v. 24, n. 1-4, p. 221-230, 2001.
- DRUMOND, M. A.; OLIVEIRA, V. R.; LIMA, M. F. *Mimosa caesalpinifolia*: Estudos de melhoramento genético realizados pela Embrapa Semi-Árido. In: QUEIROZ, M. A.; GOEDERT, C. O.; RAMOS, S. R. R. (Eds.). Recursos genéticos e melhoramento de plantas para o Nordeste brasileiro. (on line). Versão 1.0. Petrolina: Embrapa Semi-Árido / Brasília, DF: **Embrapa Recursos Genéticos e Biotecnologia**, 1999.
- DUTRA, V. F.; MORIM, M. P. **Mimosa in Lista de Espécies da Flora do Brasil. Jardim Botânico do Rio de Janeiro.** 2015. Disponível em: <<http://floradobrasil.jbrj.gov.br/jabot/floradobrasil/FB18776>>. Acesso em: 10 de janeiro de 2019.
- ECCO, M.; SANTIAGO, E. F.; LIMA, P. R. Respostas biométricas em plantas jovens de cana-de-açúcar submetidas ao estresse hídrico e ao alumínio. **Comunicata Scientiae**, 5: 59-67. 2014.
- EDWARD A. GAGE, E. A.; COOPER, D. J. Urban forest structure and land cover composition effects on land surface temperature in a semi-arid suburban area. **Urban Forestry & Urban Greening** 28, 28–35. 2017.
- ECHKHOUT, T.; LARSEN, P.; VEYLDER, L. Modification of DNA checkpoints to confer aluminum tolerance. **Trends in Plants Science**, 22(2), 102-105. 2017.

EPSTEIN, E.; BLOOM, A. J. **Nutrição mineral de plantas: princípios e perspectivas**. 2. ed. Londrina: Planta, 403 p, 2006

FAIRCHILD, J. F.; FELTZ, K. P.; SAPPINGTON, L. C.; ALLERT, A. L.; NELSON, K. J.; VALLE, J. An Ecological Risk Assessment of the Acute and Chronic Toxicity of the Herbicide Picloram to the Threatened Bull Trout (*Salvelinus confluentus*) and the Rainbow Trout (*Onchorhynchus mykiss*). **Archives of Environmental Contamination and Toxicology**; 56:761-769. 2003.

FALCÃO M. A.; CLEMENT D. R. Fenologia e produtividade do ingá-cipó (*Inga edulis*) na Amazônia central. **Acta Amazônica**, 30(2): 173-180. 2000.

FAO – Food and Agriculture Organization of United Nations. **FAO Specification and Evaluations for Agricultural Pesticides: Picloram**. 2012.

FARIA, S. M.; CAMPELLO, E. F. C. Algumas espécies de leguminosas fixadoras de nitrogênio recomendadas para revegetação de áreas degradadas. Seropédica: **Embrapa Agrobiologia**, 8 p. (Recomendação Técnica, 7), 2008

FERREIRA, D. F. **Sisvar. Versão 5.6**. Lavras: UFLA/DEX, 2015. Disponível em: <<http://www.dex.ufla.br/~danielff/programas/sisvar.html>>. Acesso em: 1 Set. 2018.

FERREIRA, R. P.; SEDIYAMA, C. S.; CRUZ, C. D.; FREIRE, M. S. Herança da tolerância à toxidez de alumínio em arroz baseada em análises de médias e variâncias. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.32, n.5, p.505-515,1997.

FERRELL, J.; ENLOE, S.; SELLERS, B. Herbicide application techniques for woody plant control. Gainesville, FL: **Agronomy Department, IFAS Extension, University of Florida**, 4p. (Documento SS-AGR-260), 2010.

FLEIG, M.; KLEIN, R. M. **Anacardiáceas. Flora Ilustrada Catarinense**. Itajaí-SC, 64p, 1989.

FOY, C. D.; FLEMING, A. L.; GERLOFF, G. C. Differential aluminium tolerance in two snapbean varieties. **Agronomy Journal**. 64. 815-818. 1972.

FRANS, R. E.; TALBERT, R. Measuring plant responses. In: TRUELOVE, B. (Ed.). **Research methods in weed science**. 2. ed. New York: **Southern Weed Science Society**, 225 p, 1977.

FREITAS, F. C. L.; GROSSI, J. A. S.; BARROS, A. F.; MESQUITA, E. R.; FERREIRA, F. A. Controle de plantas daninhas na produção de mudas de plantas ornamentais. **Planta Daninha**, 25(3), 595-601, 2007.

FURTINI NETO, A. E.; RESENDE, A. V.; VALE, F. R.; FAQUIN, V.; FERNANDES, L. A. Acidez do solo, crescimento e nutrição mineral de algumas espécies arbóreas, na fase de muda. **Cerne**, Lavras/MG, v. 5, n. 2, p. 01-12, 1999a.

FURTINI NETO, A. E.; RESENDE, A. V.; VALE, F. R.; SILVA, I. R. Liming effects on growth of native woody species from Brazilian Savannah. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 34, n. 5, p. 829-837, mai. 1999b.

FURTINI NETO, A. E.; SIQUEIRA, J. O.; CURI, N.; MOREIRA, F. M. Fertilização em reflorestamentos com espécies nativas. In: GONÇALVES, J. L. M. & BENEDETTI, V. (Eds) **Nutrição e Fertilização Florestal**. Piracicaba: IPEF, p. 351-384. 2000.

GALVIN M. F. A methodology for assessing and managing biodiversity in street tree populations: a case study. **Journal of Arboriculture**; 25(3): 124-128, 1999.

GARCIA, C. H. Tabelas para classificação do coeficiente de variação. Instituto de Pesquisas e Estudos Florestais – **IPEF**. Circular Técnica, n171. 1989.

GARCIA, F. C. P. **Relações Sistemáticas e Fitogeografia de *Inga Miller* (Leguminosae) nas florestas da costa sul e sudeste do Brasil**. Tese de Doutorado do Programa de Ciências Biológicas da UNESP de Rio Claro. 247p, 1998.

GARCIA, F. C. P.; FERNANDES, J. M. **Inga in Lista de Espécies da Flora do Brasil. Jardim Botânico do Rio de Janeiro**. Disponível em: <<http://floradobrasil.jbrj.gov.br/jabot/floradobrasil/FB22803>>. 2015.

GOMES, L. J.; SILVA-MANN, R.; MATTOS, P. P.; RABBANI, A. R. C. Pensando a biodiversidade: aroeira (*Schinus terebinthifolius* Raddi.). São Cristóvão: **Editora UFS**, 372 p, 2013.

GONÇALVES, E. O.; PAIVA, H. N.; NEVES, J. C. L.; GOMES, J. M. Crescimento de mudas de sansão-do-campo (*Mimosa caesalpiniaefolia* Benth.) sob diferentes doses de macronutrientes. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v. 38, n. 88, p. 599-609, 2010.

GONÇALVES, M. A.; COCCO, C.; VIGNOLO, G. K.; PICOLOTTO, L.; ANTUNES, L. E. C.. Efeito da intensidade de poda na produção e qualidade de frutos de pessegueiro. **Revista Brasileira de Fruticultura**, 36(3), 742-747, 2014.

HAHN, G.; MARSCHNER, H. Cation concentrations of short roots of Norway spruce as affected by acid irrigation and liming. **Plant and Soil**, 199:1, 23-27, 1998.

HEAP, I. **The International Survey of Herbicide Resistant Weeds**. Online. Internet. Wednesday, February 6, Available in < www.weedscience.org >

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**, v. 106, n. 1, p. 185-197, 2010.

Indústria Brasileira de Árvores – IBÁ. Relatório 2017. 80p. Disponível em: < https://iba.org/images/shared/Biblioteca/IBA_RelatorioAnual2017.pdf>. Acesso em: 15 de dezembro de 2018.

INOUE, M. H.; OLIVEIRA, J. R.; REGITANO, J. B.; TORMENA, C. A.; TOMISIELO, V. ; CONSTANTIN, J. Critérios para avaliação do potencial de lixiviação dos herbicidas comercializados no estado do Paraná. **Planta Daninha**, v. 21, n. 2, p. 312-323, 2003.

JORDAN, T. N.; WARREN, G. F. Herbicide combinations and interactions. In: **HERBICIDE ACTION COURSE**. Indiana: Purdue University, p. 238-254, 1995.

JOSÉ, A. C; DAVIDE, A. C.; OLIVEIRA, S. L. Produção de mudas de aroeira (*Schinus terebinthifolius* Raddi) para recuperação de áreas degradadas pela mineração de bauxita. **Cerne**, v.11, n.2, p.187-196, 2005.

KAGEYAMA, P. Y.; SEBBENN, A. M.; RIBAS, L. A.; GANDARA, F. B.; CASTELLEN, L.; PERECIM, M. B.; VENCOVSKY, R. Diversidade genética em espécies arbóreas tropicais de diferentes estágios sucessionais por marcadores genéticos. **Scientia Forestalis**, n.64, p.93-107, 2003.

KAMRIN, M. A. **Pesticides Profile: Toxicity, Environmental Impact, and Fate**. Lewis: New York, 704 p. 1997.

KENNEY, W. A.; VAN WASSENAER, P. J. E.; SATEL, A. L. Criteria and indicators for strategic urban forest planning and management. **Arboriculture & Urban Forestry**; 17(3): 108-117, 2011.

KERR, G.; R. HARMER. Production of epicormic shoots on oak (*Quercus robur*): effects of frequency and time of pruning. **Forestry** 74:467–477. 2001.

KINRAIDE, T. B. Reconsidering the rhizotoxicity of hydroxyl, sulphate, and fluoride complexes of aluminium. **Journal of Experimental Botany**. 48, 1115–1124. 1997.

KINRAIDE, T. Identity of the rhizotoxic aluminium species. **Plant and Soil**, v. 134, n. 1, p. 167-178, 1991.

KISNIERIENÉ, V.; LAPEIKAITĖ, I. When chemistry meets biology: the case of aluminium - a review. **Chemija** 26, 148–158. 2015.

KOCHIAN, L. V. Cellular mechanisms of aluminum toxicity and resistance in plants. Annual Review of **Plant Physiology and Plant Molecular Biology**. 46, 237–260. 1995.

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

KOPITTKE, P. M.; BLAMEY, F. P. C.; MENZIES, N. W. Toxicities of soluble Al, Cu, and La include ruptures to rhizodermal and root cortical cells of cowpea. **Plant and Soil** 303:217–227. 2008.

- KREUTZER, K.; WEISS, T. Hoglewald research: biological effects of acidification and liming on a nitrogen saturated ecosystem of *Picea abies* (L., Karst). **Plant and Soil**, 199: 1, 1, 1998.
- KUMAR, P. H. Effect of aluminium on the growth of cashew seedlings (*Anacardium occidentale* L.) in sand culture. **Indian Cashew Journal**, v. 14, p. 9-11, 1981.
- LEITE W. F.; PAVAN B. E.; MATOS FILHO C. H. A.; ALCANTARA NETO F.; OLIVEIRA C. B.; FEITOSA F. S. Estimativas de parâmetros genéticos, correlações e índices de seleção para seis caracteres agronômicos em linhagens F8 de soja. **Comunicata Scientiae** 7(3): 302-310, 2016.
- LEMOS, J. 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.
- LEMOS, J. J.; MACHADO, A. L.; JACOB NETO, J. Minimização do processo de poda em árvores utilizadas no paisagismo urbano. **Semioses**, v 10, n.03, 2016.
- LENZI, M.; ORTH, I. A. Caracterização funcional do sistema reprodutivo da aroeira-vermelha (*Schinus terebinthifolius*raddi). **Revista Brasileira Fruticultura**, v. 26, n. 2, p. 198-201. 2004.
- LIN, Z.; MYHRE, D. L. Differential response of citrus rootstocks to aluminium levels in nutrient solutions: I. Plant growth. **Journal of Plant Nutrition**, v. 14, p. 1223-1238, 1991.
- LORENZI, H. **Manual de identificação e controle de plantas daninhas**. 4.ed. Nova Odessa: Editora Plantarum Ltda., 299p. 1994.
- LORENZI, H. **Plantas daninhas do Brasil: Terrestres, aquáticas, parasitas, tóxicas e medicinais**. Nova Odessa. Editora Plantarum. 1991.
- LUSA, M.G.; BONA, C. Análise morfoanatômica comparativa da folha de *Bauhinia forficata* Link e *B. variegata* Linn. (*Leguminosae, Caesalpinioideae*). **Acta Botanica Brasilica**, 23(1):196-211. 2009.
- MACIEL, G. M.; INÁCIO, F. D.; SÁ-NAKANISHI, A. B.; HAMINIUK, C. W. I.; CASTOLD, R.; COMAR, J. F.; BRACHT, A.; PERALTA, R. M. Response of *Ganoderma lucidum* and *Trametes* sp. to the herbicide picloram: Tolerance, antioxidants and production of ligninolytic enzymes. **Pesticide Biochemistry and Physiology**: 84-92. 2003.
- MAPA – **Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento**. Disponível em: http://extranet.agricultura.gov.br/agrofit_cons/principal_agrofit_cons. Acesso em 25 de novembro de 2017.
- MARCO-BROWN, J. L.; ARECO, M. M.; SANCHÉS, R. M. T.; AFONSO, M. S. Adsorption of picloram herbicide on montmorillonite: Kinetic and equilibrium studies. *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*. 449:121-8. 2014.

MARCUZZO, S. B.; ARAÚJO, M. M.; GASPARIN, E. Plantio de espécies nativas para restauração de áreas em unidades de conservação: Um estudo de caso no sul do Brasil. **Floresta**, v. 45, n. 1, p. 129 - 140. 2015.

MARQUES, V. B.; PAIVA, H. N.; GOMES, J. M.; NEVES, J. C. L. Efeitos de fontes e doses de nitrogênio no crescimento de mudas de sabiá (*Mimosa caesalpiniaefolia* Benth.). **Scientia Forestalis**, n.71, p.77-85, 2006.

MATINS, C. E.; MIGUEL, P. S. B.; ROCHA, W. S. D. D.; SOUSA SOBRINHO, F.; GOMES, F. T.; OLIVEIRA, A. V. D. Seleção de genótipos de *Brachiaria Ruziziensis* quanto à tolerância ao alumínio em solução nutritiva: I: Resposta a diferentes concentrações de alumínio e valores de ph em solução nutritiva. **Revista de Ciências Agrárias**, 34(1), 154-162. 2011.

MATSUMOTO, H.; HIRASAWA, H.; TORIKAI, H.; TAKAHASHI, E. Localization of absorbed aluminium in pea root and its binding to nucleic acids. **Plant Cell Physiology**, v. 17, p. 127-137, 1976.

FRANCESCHI, M.; YAMASHITA, O. M.; ARANTES, S. A. C. M.; ANDRADE, S. P. Comportamento do 2,4-D + picloram em Latossolo Vermelho Amarelo. **Revista Brasileira de Herbicidas**, v.16, n.3, p.238-245, jul./set. 2017.

McCORMICK, R. W. Effects of CO₂, N₂, air and nitrogen salts on spray solution pH. **Weed Technology**, Champaign, v. 4, n. 4, p. 910-912, 1990.

McPHERSON, A. E. G.; XIAOB, Q.; DOORNC, N. S.; GOEDED, J.; BJORKMAND, ALLAN HOLLANDERD, J.; BOYNTOND, R. M.; QUINND, J. F.; THORNE, J. H. The structure, function and value of urban forests in California communities. **Urban Forestry & Urban Greening** 28 43–53, 2017.

MENDES, B. V. Sabiá (*Mimosa caesalpiniaefolia* Benth): valiosa forrageira arbórea produtora de madeira das caatingas. **ESAM – Mossoró**, 1989.

MENDONÇA, T.P.; MACHADO, A.L. & JACOB-NETO, J. Toxidez do Al em plântulas de angico vermelho (*Anadenathera macrocarpa* (Benth) Brenan) e Pata-de-Vaca (*Bauhinia variegata* L.). **Semioses**, v 11, n.03, p. 66-76, 2017.

MESQUITA, K. C.; PAULA, A.; SANTOS, J. S.; SANTOS, M. L. P. Uso de espécies da arborização urbana no biomonitoramento de poluição ambiental. **Ciência Florestal**, 27(2). 2017.

MEZZAVILLA, N. V. **Resposta de plântulas de aroeira (*Schinus terebinthifolius* R.) ao alumínio e a calagem. Dissertação** (Mestrado em Fitotecnia). Instituto de Agronomia, Departamento de Fitotecnia, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, RJ, 2016.

MEZZAVILLA, N. V. e JACOB-NETO, J. Avaliação do desenvolvimento de plântulas de aroeira (*Schinus terebinthifolius* r.) em diferentes concentrações de alumínio. **Semioses**, v 11, n.03, p. 9-18, 2017.

Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento – **MAPA**. Disponível em: <<http://www.agricultura.gov.br/assuntos/insumos-agropecuarios/insumosagricolas/agrotoxicos/agrofit>> Acesso em: 10 de janeiro de 2019.

MOREIRA, H. J. C.; BRAGANÇA, H. N. P. Manual de identificação de plantas infestantes. Campinas: **FMC Agricultural Products**, 1017p, 2011.

NAGENDRA, H.; GOPAL, D. Street trees in Bangalore: Density, diversity, composition and distribution. **Urban Forestry & Urban Greening**, Amsterdam, v. 9, n. 2, p. 129-137, 2010.

NALEWAJA, J. D.; MATYSIAK, R. Optimizing adjuvants to overcome glyphosate antagonistic salts. **Weed Technology**, Champaign, v. 7, n. 2, p. 337-342, 1993

NASCIMENTO, T. C.; REZENDES, T. M.; SILVA, C. I.; GAMA, L. U. Ecologia da Polinização de *Bauhinia variegata* (L.) (Fabaceae Caesalpinioidea). **UFV**, 2005.

NEILSEN, W. A.; PINKARD, E. A. Effects of green pruning on growth of *Pinus radiata*. **Canadian Journal of Forest Research**, vol. 33, no 11, p. 2067-2073. 2003.

NETO, E. N.; LACAZ, F. A. C.; PIGNATI, W. A. Vigilância em saúde e agronegócio: os impactos dos agrotóxicos na saúde e no ambiente. Perigo à vista! **Ciência & Saúde Coletiva**, 19(12):4709-4718. 2014.

NEVES, E. J. M.; SANTOS, A. M.; GOMES, J. B. V.; RUAS, F. G.; VENTURA, J. A. Cultivo da aroeira-vermelha (*Schinus terebinthifolius* Raddi) para produção de pimenta-rosa. Colombo : **Embrapa Florestas**, 24 p, 2016.

NOGUEIRA, A. C. O.; SABINO, C. V. S. Revisão do Gênero *Bauhinia* abordando aspectos científicos das espécies *Bauhinia forficata* Link e *Bauhinia variegata* L. de interesse para a indústria farmacêutica. **Revista Fitos**. v. 7, n. 02, 2012.

NOGUEIRA, J. C. B. Reflorestamento heterogêneo com essências florestais indígenas. São Paulo: **Instituto florestal de São Paulo**, p. 1-71 (Boletim técnico, v. 25). 1977.

NOGUEIROL, R. C.; MONTEIRO, F. A.; AZEVEDO, R. A. Tropical soils cultivated with tomato: fractionation and speciation of Al. **Environmental Monitoring and Assessment**, 187(4), 160. 2015.

NOSKO, P.; BRASSARD, P.; KRAMER, J. R.; KERSHAW, K. A. The effect of aluminum on seed germination and early seedling establishment, growth, and respiration of white spruce (*Picea glauca*). **Canadian Journal of Botany**, 66:2305-2310, 1988.

O'HARA, K. L.; BERRILL, J. P. Epicormic sprout development in pruned coast redwood: pruning severity, genotype, and sprouting characteristics. **Annals of Forest Science**. 66:409. 2009.

OLIVEIRA JÚNIOR, R. S. Introdução ao controle químico. In: OLIVEIRA JÚNIOR, R. S.; CONSTANTIN, J.; INOUE, M. H. (Ed.). **Biologia e manejo de plantas daninhas**. Curitiba: Editora Omnipax, p. 125-140, 2011.

OLIVEIRA, M. S. **Tolerância de variedades de cana-de-açúcar (*Sclerostachya spp*) à toxidez por alumínio em solução**. UFSCAR, São Carlos pp 109, 2012.

OLIVEIRA, J. A.; BEGAZO, J. C. E. Utilização de herbicidas pré-emergentes na cultura do café em formação (*Coffea arabica* L.). **Cafeicultura Moderna**, v. 2, n. 6, p. 20-25, 1989.

OLIVEIRA, M. F. Comportamento de herbicidas no ambiente. In: OLIVEIRA, R.S.; CONSTANTIN, J. **Plantas daninhas e seu manejo**. Guaíba: Agropecuária, p.315-355, 2001.

OLIVEIRA, M. F.; BRIGHENTI, A. M. Comportamento de herbicidas no ambiente. In: OLIVEIRA JÚNIOR, R. S.; CONSTANTIN, J.; INOUE, M. H. **Biologia e manejo de plantas daninhas**. Curitiba: Omnipax, p.263-304, 2011.

PANDA, S. K.; BELUSKA, F.; MATSUMOTO, H. Aluminum stress signaling in plants. **Plant Signaling & Behavior**, v. 4, n. 7, p. 592-597, 2009.

PAULA, J. E.; ALVES, J. L. H. **Madeiras nativas: anatomia, dendrologia, dendrometria, produção e uso**. Brasília, DF: Fundação Mokiti Okada, 543 p. 1997.

PAVAN, M. A.; BINGHAN, F. T. Toxidez de alumínio em cafeeiros cultivados em solução nutritiva. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, 17:1293-1302, 1982.

PEIXOTO, P. H. O.; PIMENTA, D. L.; CAMBRAIA, J. Alterações morfológicas e acúmulo de compostos fenólicos em plantas de sorgo sob estresse de alumínio. **Bragantia**, 66: 17-25. 2017.

PENNINGTON, T. D. The genus *Inga*: Botany. **Kew, Royal Botanic Gardens**. 844p, 1997.

PEREIRA, W. E.; SIQUEIRA, D. L.; PUIATTI, M. Growth of citrus rootstocks under aluminium stress in hydroponics. **Scientia Agricola**, v. 60, p. 31-41, 2003.

PERNAK, J.; SYGUDA, A.; MATERNA, K.; JANUS, E.; KARDASZ, P.; PRACZYK, T. 2, 4-D based herbicidal ionic liquids. **Tetrahedron**, 68(22), 4267-4273. 2012.

PIGNATI, W. A.; LIMA, F. A. N. D. S.; LARA, S. S. D.; CORREA, M. L. M.; BARBOSA, J. R.; LEÃO, L. H. D. C.; PIGNATTI, M. G. Distribuição espacial do uso de agrotóxicos no Brasil: uma ferramenta para a Vigilância em Saúde. **Ciência & Saúde Coletiva**, 22(10):3281-3293, 2017.

PIMENTEL-GOMES, F. **Curso de estatística experimental**. 15. ed. ESALQ. 451p, 2009.

POLESE, V. **Efeito de inibidores de crescimento e do tipo de poda em plantas utilizadas na arborização**. 2013. 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.

PRESOTTO, R. A.; PEREIRA, M. G.; ZONTA, E.; MATTIELLO, E. M. Influência do Al^{3+} em solução nutritiva no crescimento de três espécies florestais utilizadas na recuperação de áreas degradadas. **Ciência Florestal**. [online]. vol.28, n.1, 2018.

PROCÓPIO, S.O.; SILVA, A.A.; VARGAS, L.; FERREIRA, F.A. **Manejo de plantas daninhas na cultura da cana-de-açúcar**. Viçosa - MG, 150p, 2003

QUEIROZ; J. A. S.; MARTINS, J. A. S.; CUNHA, J. P. A. R. Adjuvantes e qualidade da água na aplicação de agrotóxicos. **Bioscience Journal**, v. 24, n. 4, p. 8-19, 2008.

RAIMBAULT, P.; JONGHE, F.; TRUAN, R.; TANGUY, M. La gestion des arbres d'ornement: Gestion de la partie aérienne - les principes de la taille longue moderne des arbres d'ornement. **Revue Forestière Française**. v.XLVII - 1-1995.

RAIMBAULT, P.; TANGUY, M. La Gestion des arbres d'ornement . 1 fe partie : une méthode d'analyse et de diagnostic de la partie aérienne. **Revue Forestière Française**, v. XLV, n° 2, pp . 97-117, 1993.

RAMALHO, M.A.P.; SANTOS, J.B.; ZIMMERMAN, M.J.O. **Genética quantitativa em plantas autógamas: aplicações ao melhoramento do feijoeiro**. Goiânia: UFG, 271p. 1993.

RAMOS, D. P.; CASTRO, A. F. de; CAMARGO, M. N. Levantamento detalhado de solos da área da Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, (Série Agronomia), Rio de Janeiro, v.8, p.1-27, 1973.

REGITANO, J. B.; KOSKINEN, W. C.; SADOWSKY, M. J. Influence of soil aging on sorption and bioavailability of simazine. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, 54:1373-1379, 2006.

REITZ, R.; KLEIN, R. M.; REIS, A. **Projeto madeira de Santa Catarina**. Itajaí, Herbário Barbosa Rodrigues, 320p, 1979.

- RHEINHEIMER, D. S.; SOUZA, R. O. Condutividade elétrica e acidificação de águas usadas na aplicação de herbicidas no Rio grande do sul. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 30, n. 1, p. 97-104, 2000.
- RIBASKI, J.; LIMA, P. C. L.; OLIVEIRA, V. R. de; DRUMOND, M. A. Sabiá (*Mimosa caesalpiniaefolia*) árvore de múltiplo uso no Brasil. Colombo: Embrapa Florestas, 4p. **Embrapa Florestas**. Comunicado técnico, 104). 2003.
- RIZZINI, C. T. Contribuição ao conhecimento das floras nordestinas. **Rodriguésia**, Rio de Janeiro, v. 28, n. 41, p. 137- 193, 1976.
- RODRIGUES, B. N.; ALMEIDA, F. S. (Eds.). **Guia de herbicidas**. Londrina: Ed. dos Autores, 697p. 2011.
- RODRIGUES, M. V. N.; SERRA, G. E. Determinação de resíduos de 2,4D em amostras vegetais. **Pesticidas R. Téc. Cient**, 6, 99. 1996.
- ROSSIELO, R. O. P.; JACOB NETO, J. Toxidez de alumínio em plantas: novos enfoques para um velho problema. In: FERNANDES, M.S. (Ed.). **Nutrição mineral de plantas**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, p. 375-418, 2006.
- RYAN, P. R.; KOCHIAN, L. V. Interaction between aluminum toxicity and calcium uptake at the root apex in near-isogenic lines of wheat (*Triticum aestivum* L.) differing in aluminum tolerance. **Plant Physiology**. 102:975-982. 1993.
- RYAN, P. R.; DELHAIZE, E. The convergent evolution of aluminium resistance in plants exploits a convenient currency. **Funct. Plant Biology**. 37, 275–284. 2010.
- RYAN, P. R.; DITOMASO, J. M.; KOCHIAN, L. V. Aluminium toxicity in roots: an investigation of spatial sensitivity and the role of the root cap. **Journal of Experimental Botany**. 44, 437–446. 1993.
- SANCHOTENE, M. C. C. **Frutíferas nativas úteis à fauna na arborização urbana**. Porto Alegre, Feplan, 311p, 1985.
- SANTOS, M. V.; FREITAS, F. C. L.; FERREIRA, F. A.; VIANA, R. G.; TUFFI, L. D. S.; FONSECA, D. M. Eficácia e persistência no solo de herbicidas utilizados em pastagem. **Planta Daninha**, 24(2), 391-398. 2006.
- SANTOS. A. R. **Ecologia urbana de plantas nativas e exóticas no Município do Rio de Janeiro**. Universidade Estadual do Rio de Janeiro. Tese de doutorado, 168 p, 2006.
- SILVA I. R.; SMYTH T. J.; RAPER C. D.; CARTER T. E.; RUFTY T. Differential aluminum tolerance in soybean: an evaluation of the role of organic acids. **Physiology Plant** 112:200-210, 2001.

SILVA, I. R.; SMYTH, T. J.; MOXLEY, D. F.; CARTER, T. E.; ALLEN, N. S.; RUFTY, T. W. Aluminum accumulation at nuclei of cells in the root tip. Fluorescence detection using lumogallion and confocal laser scanning microscopy. **Plant Physiology**. 123:543-552, 2000.

SILVA, A. A.; FERREIRA, F. A.; FERREIRA, L. B. Herbicidas: Classificação e mecanismos de ação. In: SILVA, A. A.; SILVA, J. F. (Eds) **Tópicos em manejo de plantas daninhas**. Editora UFV; 367p. 2007.

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

SILVA-LUZ, C.L.; PIRANI, J.R. 2015 **Anacardiaceae in Lista de Espécies da Flora do Brasil. Jardim Botânico do Rio de Janeiro**. Disponível em: <<http://floradobrasil.jbrj.gov.br/jabot/floradobrasil/FB15471>>. Acesso em: 20 de agosto de 2018.

Sistema Nacional de Informações Florestais – SNIF. Boletim 2017 sobre Recursos Florestais no Brasil. Disponível em: <<http://www.florestal.gov.br/documentos/publicacoes/3230-boletim-snif-2017-ed1-final/file>>. Acesso em: 15 de dezembro de 2018.

SOUSA, F. B. F. **Tolerância de genótipos de cana-de-açúcar a toxidez por alumínio, manganês e baixa disponibilidade de nutrientes** – Jaboticabal, 2018. 56 p. Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, 2018.

SPEHAR, C. R.; SOUZA, L. A. C. Selection for aluminum tolerance in tropical soybeans. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 36, p. 1-6, 2006.

SPEHAR, C. R. Aluminium tolerance of soya bean genotypes in short term experiments. **Euphytica**, Dordrecht, v. 76, p. 73-80, 1994.

TAKIYA, M.; H. KOYAMA, K.; UMEKI, M.; YASAKA, Y.; WATANABE, O.; TERAZAWA, K. The effects of early and intense pruning on light penetration, tree growth, and epicormic shoot dynamics in a young hybrid. **Journal of Forest Research**, vol. 15, no 3, p. 149-160, 2009.

TANIGUCHI, C. A. K.; SERRANO, L. A. L.; SOUSA, L. F. R. A.; NASCIMENTO, J. C. N. Efeitos do alumínio no desenvolvimento de mudas de cajueiro. Fortaleza: Embrapa Agroindústria Tropical. 20 p. Boletim de pesquisa e desenvolvimento / **Embrapa Agroindústria Tropical**, ISSN 1679-6543; 178. 2018.

AGOSTINETTO, D.; VARGAS, L. **Resistência de plantas daninhas a herbicidas no Brasil**. Pelotas - UFPel, 398p, 2014.

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

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, 2002a.

VASCONCELOS, S. S.; ROSSIELLO, R. O.; JACOB-NETO, J. Parâmetros morfológicos para estabelecer tolerância diferencial à toxicidade de alumínio em cultivares de arroz **Pesquisa Agropecuária Brasileira** [online] vol.37, 2002b.

VAZ, A.M.S.F. Bauhinia in **Lista de Espécies da Flora do Brasil. Jardim Botânico do Rio de Janeiro**. Disponível em: <<http://floradobrasil.jbrj.gov.br/jabot/floradobrasil/FB22811>>. 2015.

WAGATSUMA, T.; ISHIKAWA, S.; OBATA, H.; TAWARAYA, K.; KATOHDA, S. Plasma membrane of younger and outer cells is the primary specific site for aluminum toxicity in roots. **Plant Soil** 171:105-112, 1995.

WANAMARTA, G. E.; PENNER, D. Foliar absorption of herbicides. **Review Weed Science**, Champaign, v.4, p. 215-232, 1989.

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

ZHANG, H., JIANG, Z., QIN, R., ZHANG, H., ZOU, J., JIANG, W., ET AL. Accumulation and cellular toxicity of aluminum in seedling of *Pinus massoniana*. **BMC Plant Biology**. 14:264. 2014.

ZHAO, X. J.; SUCOFF, E.; STADELMANN, E. J. Al^{3+} and Ca^{2+} alteration of membrane permeability of *Quercus rubra* root cortex cells. **Plant Physiology**. 83:159-162. 1987.