

Mayrine Silva

**POTENCIAL DE USO DA ESPÉCIE ARBÓREA *Mimosa scabrella* BENTH. EM  
ENSAIOS DE ECOTOXICIDADE.**

Curitibanos

2018



Mayrine Silva

**POTENCIAL DE USO DA ESPÉCIE ARBÓREA *Mimosa scabrella* BENTH. EM  
ENSAIOS DE ECOTOXICIDADE.**

Trabalho Conclusão do Curso de Graduação em Engenharia Florestal do Centro de Ciências Rurais da Universidade Federal de Santa Catarina como requisito para a obtenção do Título de Bacharel em Engenharia Florestal.

Orientadora: Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup>. Júlia Carina Niemeyer

Coorientador: Prof. Dr. Alexandre Siminski

Curitibanos

2018

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor,  
através do Programa de Geração Automática da Biblioteca Universitária da UFSC.

Silva, Mayrine

Potencial de uso da espécie arbórea *Mimosa scabrella*  
Benth. em ensaios ecotoxicidade. / Mayrine Silva ;  
orientadora, Júlia Carina Niemeyer, coorientador,  
Alexandre Siminski, 2018.

46 p.

Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) -  
Universidade Federal de Santa Catarina, Campus  
Curitibanos, Graduação em Engenharia Florestal,  
Curitibanos, 2018.

Inclui referências.

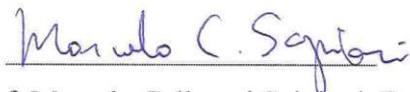
1. Engenharia Florestal. 2. Bracatinga. 3.  
Ecotoxicologia Terrestre. 4. Áreas Contaminadas. 5.  
Mineração. I. Niemeyer, Júlia Carina. II. Siminski,  
Alexandre. III. Universidade Federal de Santa Catarina.  
Graduação em Engenharia Florestal. IV. Título.

Mayrine Silva

**POTENCIAL DE USO DA ESPÉCIE ARBÓREA *Mimosa scabrella* BENTH. EM  
ENSAIOS DE ECOTOXICIDADE.**

Este Trabalho Conclusão de Curso foi julgado adequado para obtenção do Título de “Bacharel em Engenharia Florestal” e aprovado em sua forma final pela Banca Examinadora.

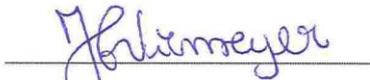
Curitiba, 03 de dezembro de 2018.



Prof. Marcelo Callegari Scipioni, Dr.

Coordenador do Curso

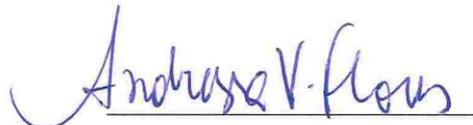
**Banca Examinadora:**



Prof.ª Júlia Carina Niemeyer, Dr.ª

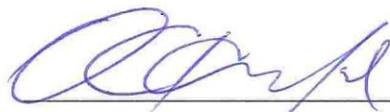
Orientadora

Universidade Federal de Santa Catarina



Prof.ª Andressa Vasconcelos Flores, Dr.ª

Universidade Federal de Santa Catarina



Prof. Otávio Camargo Campoe, Dr.

Universidade Federal de Santa Catarina

Este trabalho é dedicado à minha avó Eunice da Silva (*in memoriam*), que estará para sempre em meu coração.

## AGRADECIMENTOS

À Deus, por todas as oportunidades proporcionadas.

À minha família, pelo apoio, dedicação e compreensão desde o início da minha vida acadêmica, especialmente à minha mãe Mari e ao meu padrasto Luciano, pelo seu incondicional apoio, incentivo, por me ensinarem a ser forte nos momentos mais difíceis e a jamais desistir de alcançar meus sonhos.

À minha orientadora Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup>. Júlia Carina Niemeyer, por toda a paciência, amizade, conselhos, incentivos, ensinamentos, por me apresentar a ecotoxicologia e me orientar desde o início da graduação. Obrigada por compartilhar comigo suas experiências. E ao meu Coorientador Prof. Dr. Alexandre Siminski, por todo o apoio, disponibilidade, incentivo e conhecimento compartilhado comigo, agradeço.

Aos meus amigos desde o primeiro dia de aula e de grupo de pesquisa Tatiani Maria Pech e Guilherme Diego Fockink, por todos os trabalhos realizados, e por todos os momentos por nós compartilhados, bons e ruins.

À minha amiga e irmã de coração Daniceli Barcellos, por todo apoio, ajuda, incentivo e por não me deixar desanimar, agradeço.

Aos meus amigos Sandy Arguelho, Guilherme Nichele, Luci T. Stanck, Marina Sbardella e Vanessa Dambros, agradeço por cada experiência compartilhada.

Ao meu grupo de pesquisa NECOTOX, pelas experiências compartilhadas, ensinamentos, trabalhos realizados e por todos os momentos de conhecimento e diversão compartilhados.

A todos os professores e servidores técnicos que contribuíram com a minha jornada acadêmica.

Muito obrigada!

## RESUMO

Os processos de degradação ambiental ocorrem no Brasil desde o início do seu período colonial; um dos setores que mais causam estes impactos ambientais é o de extração de minerais que, apesar de ser considerada como uma atividade de uso temporário da terra, provoca grande degradação do ambiente e transformação da paisagem. Neste sentido, a ecotoxicologia pode ser usada como uma ferramenta capaz de auxiliar no monitoramento ambiental destas áreas, pois, os resultados obtidos através dos ensaios realizados podem indicar o potencial de recuperação de um ambiente ou a necessidade de ações remediadoras. A espécie arbórea *Mimosa scabrella* Benth. conhecida popularmente como bracatinga, pertencente à Família Fabaceae, é uma espécie nativa da Mata Atlântica, pioneira, que por apresentar um alto grau de interações ecológicas é recomendada por muitos autores como uma espécie apta para a recuperação de áreas degradadas. Portanto, o objetivo deste trabalho foi avaliar o uso da bracatinga como organismo-teste em ensaio de ecotoxicidade com plantas, sua sensibilidade à utilização do ácido bórico (AB) como substância de referência, e sua possível utilização para avaliar áreas contaminadas com resíduos oriundos de atividades mineradoras. Foram realizados ensaios seguindo a norma padrão ABNT NBR ISO 11269-2 com adaptações para utilização de uma espécie arbórea para verificar a condução dos ensaios em condições laboratoriais e a utilização de AB como substância de referência. Primeiramente, foram realizados ensaios para testar a sua capacidade de germinação em Solo Artificial Tropical (SAT) e, posteriormente, verificou-se a sua sensibilidade à substância de referência utilizada. Foram também conduzidos ensaios em casa de vegetação com dois períodos de avaliação: aos 20 e aos 35 dias após a germinação de 50% das plântulas no solo controle; as concentrações de AB para ambos ensaios foram de: 0,125, 250, 500, 750 e 1000 mg.kg<sup>-1</sup> utilizando SAT, solos e resíduos da extração de carvão mineral da Mina de Candiota (RS) e o resíduo lama-vermelha do processo de extração de bauxita. As variáveis avaliadas foram: tamanho (cm) de raiz, parte aérea e tamanho total das plântulas, biomassa seca e fresca da raiz e parte aérea. Os resultados dos ensaios de viabilidade de uso da espécie demonstraram que a bracatinga apresentou potencial de germinação satisfatório (96% apenas em SAT) e sensibilidade à utilização do ácido bórico como substância de referência a ser utilizada, apresentando uma curva dose-resposta. A variável mais sensível encontrada neste trabalho foi a biomassa seca da parte aérea e, recomenda-se que o ensaio seja adaptado para um período de duração de 35 dias. Os resultados obtidos nos ensaios elaborados para avaliar a utilização da bracatinga como organismo-teste em áreas contaminadas por resíduos de atividades mineradoras evidenciam que esta é uma espécie sensível, demonstrando seu potencial de uso em ensaios ecotoxicológicos com a finalidade de monitorar áreas contaminadas ou caracterização ecotoxicológica de resíduos.

**Palavras-chave:** Bracatinga. Ecotoxicologia Terrestre. Áreas Contaminadas. Mineração.

## ABSTRACT

The processes of environmental degradation have occurred in Brazil since the beginning of its colonial period; one of the sectors that most cause these environmental impacts is the extraction of minerals. Despite being considered as a temporary land use activity, it causes great degradation of the environment and transformation of the landscape. Ecotoxicology can be used to assist in the environmental monitoring of these areas, since the results obtained through the tests carried out can indicate the recovery potential of an environment or the need for remedial actions. The tree species *Mimosa scabrella* Benth. known as bracatinga, belonging to Fabaceae family, is a native species of the Atlantic Forest, a pioneer, because it presents a high degree of ecological interactions, and is recommended by many authors as a suitable species for the recovery of degraded areas. Therefore, the aim of this work was to evaluate the use of bracatinga as a test organism in a plant ecotoxicity test, as well as its sensitivity to boric acid (BA) (reference substance), and its possible use to evaluate contaminated areas with residues originated from mining activities. Tests were carried out following the standard guidelines ABNT NBR ISO 11269-2 (2014) adapted for using with an arboreal species to verifying the conduction of the tests in laboratory conditions, and the use of BA as reference substance. Firstly, tests were carried out testing its germination capacity in Tropical Artificial Soil (TAS) and, later, its sensitivity to the used reference substance. Greenhouse tests were also conducted with two evaluation periods: at 20 and 35 days after germination of 50% of the seedlings in the control soil; BA concentrations for both tests were: 0, 125, 250, 500, 750 and 1000 mg.kg<sup>-1</sup> using TAS, soils and wastes from Candiota Mine (RS) mineral extraction and the red mud residue of the bauxite extraction process. The evaluated parameters were: root size (cm), aerial part and total size of the seedlings, dry and fresh biomass of the root and shoot. Results of viability tests showed that bracatinga presented a satisfactory germination potential (96% in TAS only) and sensitivity to boric acid use as reference substance, showing a dose-response curve. The most sensitive parameter found in this work was the dry biomass of the aerial part, and it is recommended that the test be adapted for a 35 days duration. The results obtained in the tests designed to evaluate the use of bracatinga as a test organism in areas contaminated by wastes from mining activities showed that this is a sensitive species, demonstrating its potential for use in ecotoxicological tests aiming the monitoring of contaminated areas or ecotoxicological characterization of the waste.

**Keywords:** Bracatinga. Terrestrial Ecotoxicology. Contaminated Areas. Mining.

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b> .....	<b>9</b>
1.1	OBJETIVOS .....	10
1.1.1	<b>Objetivo Geral</b> .....	<b>10</b>
1.1.2	<b>Objetivos Específicos</b> .....	<b>10</b>
<b>2</b>	<b>REFERENCIAL TEÓRICO</b> .....	<b>11</b>
2.1	ECOTOXICOLOGIA .....	11
2.2	USO DE ESPÉCIES VEGETAIS EM ENSAIOS ECOTOXICOLÓGICOS .....	11
2.3	ÁCIDO BÓRICO COMO SUBSTÂNCIA DE REFERÊNCIA .....	13
2.4	BRACATINGA: DESCRIÇÃO, FENOLOGIA E ECOLOGIA .....	14
2.5	ATIVIDADES MINERADORAS NO BRASIL .....	15
2.6	ATIVIDADES DE MINERAÇÃO DE CARVÃO NO BRASIL .....	17
2.7	EXTRAÇÃO DE BAUXITA NO BRASIL .....	18
<b>3</b>	<b>MATERIAL E MÉTODOS</b> .....	<b>20</b>
3.1	MATERIAL VEGETAL .....	20
3.2	ETAPA I – DETERMINAÇÃO DO POTENCIAL DE GERMINAÇÃO DAS SEMENTES DE BRACATINGA .....	21
3.3	ETAPA II – DETERMINAÇÃO DO GRAU DE UMIDADE DAS SEMENTES ...	21
3.4	ETAPA III – PREPARO DAS AMOSTRAS .....	21
3.5	ETAPA IV – REALIZAÇÃO DE ENSAIO DE GERMINAÇÃO EM INCUBADORA BOD .....	22
3.6	ETAPA V – DETERMINAÇÃO DE EFEITOS SOBRE O CRESCIMENTO E A BIOMASSA USANDO ÁCIDO BÓRICO COMO SUBSTÂNCIA DE REFERÊNCIA .....	23
3.7	ETAPA VI – CONDUÇÃO DO ENSAIO ECOTOXICOLÓGICO COM RESÍDUOS PROVENIENTES DE ATIVIDADES MINERADORAS .....	24
3.8	ANÁLISE ESTATÍSTICA .....	24
<b>4</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÃO</b> .....	<b>26</b>
4.1	POTENCIAL DE GERMINAÇÃO DAS SEMENTES DE BRACATINGA .....	26
4.2	GRAU DE UMIDADE DAS SEMENTES .....	26
4.3	GERMINAÇÃO EM INCUBADORA BOD E PRÉ-TESTE DE SENSIBILIDADE AO ÁCIDO BÓRICO .....	27
4.4	SENSIBILIDADE AO ÁCIDO BÓRICO .....	27
4.5	ENSAIO ECOTOXICOLÓGICO COM RESÍDUOS PROVENIENTES DE ATIVIDADES MINERADORAS .....	32
<b>5</b>	<b>CONCLUSÃO</b> .....	<b>39</b>
	<b>REFERÊNCIAS</b> .....	<b>40</b>

## 1 INTRODUÇÃO

O setor mineral brasileiro compõe uma das bases da economia nacional, sendo estratégico para o suprimento de matéria-prima e manufaturas de usos múltiplos necessários para o desenvolvimento industrial e tecnológico (SOARES; CASTILHOS, 2015). As atividades mineradoras envolvem a exploração de bens não renováveis através de minas subterrâneas e de superfície sendo, portanto, uma atividade produtora de impactos ambientais de alto grau que afetam o ecossistema de forma integral (SILVA; ANDRADE, 2017). Apesar de haver um entendimento, por parte da sociedade, de que a degradação ambiental é consequência do desenvolvimento econômico, atualmente há uma maior preocupação e cobrança no sentido de restaurar e conservar estes ambientes com base em conhecimentos técnicos oriundos de diversas áreas do conhecimento (SILVA et al., 2017).

Neste sentido, a ecotoxicologia é uma ferramenta importante a ser utilizada no monitoramento ambiental. Esta é uma ciência que tem como objetivo avaliar os níveis de ecotoxicidade e os consequentes efeitos da contaminação dos ecossistemas causados por substâncias naturais ou sintéticas, oriundas das atividades humanas (SISINO; OLIVEIRA FILHO, 2013). Os resultados obtidos através dos ensaios de ecotoxicidade permitem avaliar possíveis efeitos deletérios sobre as populações, comunidades e ecossistemas envolvidos, podendo indicar o potencial de recuperação do ambiente ou a necessidade de ações de remediação (SEGAT et al., 2018). À medida que aumenta a geração de resíduos pelas atividades industriais, também aumentam as exigências ambientais em termos de monitoramento e destinação correta destes materiais, bem como a recuperação de áreas degradadas por tais atividades (BIANCHI et al., 2010). Em áreas que foram exploradas por atividades de mineração, a possibilidade de regeneração natural da vegetação é um fator decisivo para a restauração do ecossistema.

A norma ABNT NBR ISO 11269-2 (ABNT, 2014), atualmente utilizada para avaliação da ecotoxicidade de solos e resíduos para plantas, recomenda uma lista de espécies de plantas de uso agrícola. Tais espécies não fazem parte do ecossistema potencialmente degradado, porém são usadas por possuírem um ciclo curto e por ser possível cultivá-las em condições laboratoriais. Uma das críticas à norma é a ausência de alternativa de espécie arbórea como organismo teste, o que seria mais realístico e ecologicamente relevante em situações onde o solo não se destinará ao uso agrícola, e sim à recuperação da cobertura vegetal natural. O presente trabalho tem como objetivo avaliar a possibilidade de uso da espécie *Mimosa scabrella*

Benth., conhecida popularmente como bracatinga, como uma alternativa para uso no o ensaio de ecotoxicidade com plantas, pois esta espécie é pioneira e possui diversas interações ecológicas, favorecendo a sucessão ecológica em ambientes degradados (STEENBOCK et al., 2011).

## 1.1 OBJETIVOS

### 1.1.1 Objetivo Geral

Avaliar o potencial de uso da espécie *Mimosa scabrella* Benth. em ensaio de ecotoxicidade com plantas, seguindo a norma ABNT NBR ISSO 11269-2, como uma alternativa de espécie arbórea.

### 1.1.2 Objetivos Específicos

- Avaliar o potencial de germinação de sementes de *M. scabrella* em condições laboratoriais, no substrato padrão usado em ensaios de ecotoxicidade;
- Aplicar a metodologia do ensaio de ecotoxicidade com plantas da ABNT, usando *M. scabrella* como organismo-teste e para avaliar a ecotoxicidade de solos e resíduos de áreas de mineração a serem recuperadas;
- Aprimorar a metodologia do ensaio de ecotoxicidade com plantas, proposto pela ABNT, propondo adaptações ao protocolo para uso de espécies arbóreas.

## 2 REFERENCIAL TEÓRICO

### 2.1 ECOTOXICOLOGIA

O termo ecotoxicologia foi sugerido pela primeira vez em 1969, pelo toxicologista francês René Truhaut, em uma das reuniões do *Committee of the International Council of Scientific Unions (ICSU)* em Estocolmo e, por sua vez, pode ser definida como a ciência que estuda os efeitos de substâncias sintéticas ou naturais sobre organismos vivos, de comunidades animais ou vegetais, terrestres ou aquáticos, e que inclui a interação destas substâncias com o meio no qual os organismos estão inseridos, sendo assim uma ferramenta para avaliação de qualidade do ecossistema (MAGALHÃES; FERRÃO-FILHO, 2008).

A ecotoxicologia é dividida em duas principais linhas (aquática e terrestre) sendo que a última tem como objetivo quantificar os efeitos causados por diferentes contaminantes, que possam ter o solo como destino, para determinar níveis ou concentrações seguras para manter as funções do ecossistema solo. A necessidade de proteção do solo é baseada nas importantes funções por ele desempenhadas como, por exemplo, dar suporte à prestação de serviços ecossistêmicos (SEGAT et al., 2018).

Ainda segundo Segat et al. (2018), a ecotoxicologia terrestre, ao testar contaminantes, avalia a função habitat que está relacionada com a capacidade do solo em servir de habitat para microrganismos, plantas e animais terrestres além da capacidade destes organismos permanecerem no solo após a sua contaminação; e a função de retenção do solo que está ligada à sua capacidade adsorver contaminantes reduzindo sua mobilidade e translocação para a cadeia alimentar do solo.

No Brasil, a Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) é uma das principais agências que elaboram e padronizam as normas de ensaios ecotoxicológicos, a partir dos conhecimentos obtidos por seus pesquisadores e adaptando os ensaios as necessidades brasileiras (SILVA et al., 2015).

### 2.2 USO DE ESPÉCIES VEGETAIS EM ENSAIOS ECOTOXICOLÓGICOS

No caso de ecossistemas severamente degradados não existe automanutenção, os processos de sucessão secundária e a colonização por espécies arbóreas são impedidas ou muito dificultadas. Entre as atividades humanas que causam grande desequilíbrio em ecossistemas

estão as atividades de mineração que, seja pela forma de extração dos minérios, ou seja pelas características químicas ou físicas dos rejeitos, podem impedir ou dificultar a regeneração natural nestes locais por afetar o desenvolvimento das espécies vegetais (ENGEL; PARROTA, 2003). Conseqüentemente, o processo de restauração não avança, uma vez que a cobertura vegetal e estrutura do habitat são fundamentais para a recuperação da funcionalidade do ecossistema (NIEMEYER et al., 2012).

Em projetos de restauração de áreas degradadas, deve-se objetivar o alcance de níveis de sucessão que favoreçam a estabilidade do ecossistema. Neste contexto, ao se escolher as espécies para iniciar a restauração, há a necessidade de que as mesmas tenham capacidade de se desenvolver no local (restrições) e possuírem um alto grau de interações bióticas, pois se sabe que a diversidade de micro-organismos, animais e plantas em ambientes tropicais é sustentada por diversas interações interespecíficas. Portanto a seleção das espécies vegetais deve levar em consideração três categorias básicas de interações: as chamadas plantas-plantas, onde se utiliza espécies pioneiras, pois são capazes de cobrir o solo e favorecer a formação da serapilheira, permitindo o aparecimento dos primeiros organismos decompositores; interações plantas-micro-organismos, onde recomenda-se fortemente o uso de leguminosas pela sua já reconhecida interação com fungos e bactérias; e interações do tipo plantas-animais onde inclui-se a dispersão de sementes, a predação e a polinização (REIS; KAGEYAMA, 2003).

A norma ABNT/ISO 11269-2 (2014), atualmente utilizada no Brasil, recomenda como organismos-teste para a avaliação da ecotoxicidade de solos e resíduos, o uso de cultivares agrícolas, entre as quais estão: aveia - *Avena sativa* L., (Poaceae); milho - *Zea mays* L. (Poaceae); trigo - *Triticum aestivum* L., (Poaceae); como representantes da classe monocotiledônea e canola – *Brassica napus* ssp. *napus* L. (Brassicaceae); nabo *Brassica rapa* ssp. *rapa* (DC.) Metzg., (Brassicaceae); alface *Lactuca sativa* L., (Asteraceae) como representante da classe eudicotiledônea, entre outras espécies citadas na referida norma. Estas espécies são indicadas por terem um ciclo curto e serem sensíveis a contaminantes. Porém, há uma carência de estudos com a utilização de espécies arbóreas, as quais seriam mais relevantes quanto o objetivo é a recuperação da vegetação em áreas contaminadas.

Sisino e Oliveira-Filho (2013) ressaltam que, para a proposição de uso de um organismo-teste, faz-se necessário que a espécie tenha um ciclo rápido, seja de fácil manipulação, e que tenha sensibilidade a uma gama de contaminantes. No processo de padronização de um ensaio de ecotoxicidade, faz-se necessário o estabelecimento de uma substância de referência para avaliar a sensibilidade dos organismos-testes, sendo um controle

positivo, onde os organismos respondem a um contaminante apresentando os efeitos esperados. Neste sentido, o ácido bórico tem sido indicado para este propósito, pois evita o risco de exposição a produtos químicos que atualmente são referenciais, mas são proibidos ou causam grande risco de exposição/contaminação ao pesquisador e ao meio ambiente (AMORIM et al., 2012), além de ter se mostrado adequada para uso como substância de referência em ensaios de ecotoxicidade com organismos terrestres (BECKER et al., 2011; NIEMEYER et al., 2018).

Em relação aos ensaios com plantas, Becker et al (2011) verificou a aplicabilidade desta substância para os vegetais superiores sugeridos (*Avena sativa* – monocotiledônea e *Brassica napus* – eudicotiledônea). Ao final do ensaio, observou-se que as referidas espécies apresentaram relações de dose-resposta em um intervalo correspondente a 31,3 e 500 mg.kg<sup>-1</sup>, confirmando a aplicabilidade do ácido bórico como substância de referência para estas espécies.

### 2.3 ÁCIDO BÓRICO COMO SUBSTÂNCIA DE REFERÊNCIA

O ácido bórico tem sido testado como substância de referência em ensaios de ecotoxicidade terrestre a fim de substituir as atuais substâncias recomendadas pelas normas ISO e ABNT, pois estas, além de apresentarem alta toxicidade para os seres humanos e para o meio ambiente (p.ex., os pesticidas Betanal plus e Carbendazin), estão se tornando substâncias banidas do mercado e, em um futuro próximo, podem não estar mais disponíveis (RÖMBKE; AHTIAINEN, 2007). O boro é um elemento químico indispensável ao crescimento e desenvolvimento dos vegetais fanerógamos, porém em altas concentrações pode causar toxicidade, afetando diversos processos metabólicos e fisiológicos (FERREIRA, 2014). Este elemento é encontrado em rochas e em depósitos de borato na natureza; durante os processos de intemperismo da rocha, o boro entra na solução do solo, principalmente como ácido bórico, prontamente disponível para a absorção das plantas e, na solução do solo, o boro segue o fluxo da água. Sua disponibilidade pode ser afetada por fatores do solo como pH, textura, temperatura e disponibilidade de matéria orgânica (HERRERA-RODRIGUEZ et al., 2010).

Ao selecionarmos uma substância referência, alguns critérios devem ser observados como, por exemplo: a biodisponibilidade desta substância durante o ensaio; se afeta os organismos-teste de maneira reprodutível; a sua facilidade de obtenção do produto e a sua viabilidade de manuseio em condições laboratoriais, de forma a evitar riscos sanitários e ambientais, apresentar métodos analíticos facilmente disponíveis e uma análise de baixo custo (RÖMBKE; AHTIAINEN, 2007; GOURMELON; AHTIAINEN, 2007; PRINCZ et al., 2017).

O ácido bórico tem cumprido estes critérios e tem sido recomendado para uso como substância de referência em ensaios de ecotoxicidade (NIEMEYER et al., 2018), inclusive em ensaios com plantas (BECKER et al., 2011). Especificamente para plantas, a toxicidade do ácido bórico varia de acordo com a espécie, conforme Princz et al. (2017), as plantas eudicotiledôneas em geral, são mais sensíveis ao ácido bórico quando comparadas com as monocotiledôneas e as gimnospermas.

#### 2.4 BRACATINGA: DESCRIÇÃO, FENOLOGIA E ECOLOGIA

Popularmente conhecida como bracatinga, maracatinga ou bracatinga-branca, a depender da região de ocorrência, a *Mimosa scabrella* Benth. é uma espécie pertencente à família Fabaceae e subfamília Mimosoideae (STEEMBOCK et al., 2011). Esta espécie arbórea é semidecídua, pouco exigente quanto às condições físicas e químicas do solo, que apresenta um rápido crescimento nas suas fases iniciais (primeiros 5 anos) e pode atingir até 25 m de altura já aos 8 anos onde ocorre o início de seu declínio vital, atingindo 30 anos de vida no máximo (MAZUCHOWSKI, 2012). O diâmetro de seu tronco varia de 30 a 40 cm e é revestido por uma casca pardo-acinzentada. Suas folhas são do tipo alternas espiraladas, compostas, bipinadas. Suas inflorescências apresentam coloração amarela, em glomérulos axilares e seus frutos são vagens do tipo craspédio e com indumento ferrugíneo (LORENZI, 2008). As suas sementes apresentam formato irregular, de coloração castanha escura e possuem dormência ocasionada pela impermeabilidade do tegumento à água (dormência tegumentar) (CARVALHO, 2002). A bracatinga pode iniciar seu florescimento a partir dos 8 meses de idade para plantas com altura superior a 2,5 metros, produzindo sementes viáveis. Os botões florais começam a se formar no período de abril a setembro, com presença de variação para os estados da região sul do Brasil; a maturação dos frutos ocorre de novembro a março (CARPANEZZI et al., 1988).

A bracatinga ocorre naturalmente desde o estado de Minas Gerais até o Rio Grande do Sul e tem sido introduzida em países da América Latina, Europa e África (CARVALHO, 2002; DUTRA; MORIM, 2015). Esta é uma espécie heliófita e pioneira que possui diversas interações ecológicas no ecossistema Floresta Ombrófila Mista, sua rusticidade favorece o rápido recobrimento de áreas com a presença de solos alterados ou degradados, favorecendo a recuperação de ambientes degradados (ROTA; OLIVEIRA., 1981; STEENBOCK et al., 2011).

Especificamente na região sul do país, esta espécie ocorre principalmente em altitudes acima de 700 m e a altitude mínima para a ocorrência da bracatinga é de aproximadamente 350 m (CARVALHO, 2002).

O clima predominante na região de ocorrência é classificado, segundo Koeppen, como Cfb – temperado chuvoso, constantemente úmido com temperatura média do mês mais quente não alcança 22°C e do mês mais frio inferior a 18°C. A precipitação média anual está entre 1.300 e 2.500 mm distribuída uniformemente com leve diminuição no período correspondente ao inverno. E algumas áreas de ocorrência podem ser classificadas como Cfa – onde a temperatura média do mês mais quente está entre 22 e 23° C (ROTTA; OLIVEIRA, 1981; CARVALHO, 2002).

A bracatinga é uma espécie pioneira fortemente heliófita em todas as fases do seu desenvolvimento, apta para colonização de áreas abertas e bem iluminadas. Está fortemente associada com a Floresta Ombrófila Mista; em florestas que apresentam avançado estágio de desenvolvimento a ocorrência da espécie é baixa, contudo, se desenvolve em áreas de distúrbio, como clareiras. Porém, para que haja recrutamento desta espécie se faz necessária a superação da dormência das suas sementes que naturalmente ocorre com aquecimento proporcionado pelo sol (CARPANEZZI et al., 1988).

Além da forte indicação devido ao grupo ecológico ao qual pertence, sabe-se que a bracatinga também apresenta um grau de interação muito complexo com outras espécies nativas, como por exemplo, com as formigas fazem o transporte de cochonilhas até seu tronco e estas, ao sugarem a seiva da planta, excretam um líquido adocicado que atrai para a árvore um grande número de insetos e pássaros que procuram este líquido para se alimentar, além de predadores que aproveitam-se desta aglomeração pra buscar possíveis presas. O grande acúmulo de açúcares faz com que surja um complexo fúngico saprófico (fumagina) recobrendo toda a planta, dando então a sua cor escura característica que possivelmente seja indicativo da presença de alimento para os animais. Cabe ressaltar também o grande poder de nitrogação do solo, pelo mutualismo com bactérias fixadoras de N, e sua rusticidade (REIS; KAGEYAMA, 2003).

## 2.5 ATIVIDADES MINERADORAS NO BRASIL

A Organização Nações Unidas - ONU define como mineração as atividades de extração, elaboração e beneficiamento de minerais que se encontram em seu estado natural de

forma sólida, líquida e gasosa (AMARAL; LIMA FILHO, 2018). As atividades de extração mineral ocorrem no Brasil desde o início do processo de colonização, e se relacionam intimamente com a crescente busca e aproveitamento dos recursos minerais disponíveis, contribuindo para a economia do país e ampliando a ocupação do território nacional (PESSOA, 2006). Segundo dados apresentados pelo Instituto Brasileiro de Mineração (IBRAM), o setor da indústria extrativista representa 4,3% do PIB do Brasil e 17% do PIB Industrial brasileiro (IBRAM, 2017).

Segundo Barreto (2001), há a produção nacional de 70 diferentes minerais, sendo que algumas destas substâncias apresentam uma produção expressiva quando comparada com outros países. Entre elas destacam-se: o nióbio, minério-de-ferro, tantalita, manganês, alumínio e amianto, grafita, magnesita, caulim, talco e vermiculita. A matéria-prima extraída são bens não renováveis, que futuramente se esgotarão à medida que aumente a sua demanda (extração). Estão entre os principais tipos de minérios extraídos nacionalmente: ouro, carvão, chumbo, prata, zinco, ferro, calcário, cassiterita, gipsita, agregados empregados no setor de construção civil, além de garimpos (SILVA, 2007).

Segundo Milanez (2017), o principal método de extração de minerais no Brasil é por meio de minas a céu aberto, onde a instalação do empreendimento inicia com o desmatamento da área a ser lavrada, juntamente com a retirada de toda a camada fértil do solo que, por não apresentar grandes teores de minérios é denominada “estéril” pelas empresas mineradoras que a acumulam em grandes pilhas. Posteriormente, ocorre o início do processo de extração; envolvendo cortes em blocos de dimensões padronizadas, aparência característica de um poço dotado de plataformas em forma de degraus. O preparo da escavação é dado a partir da perfuração dos blocos por meio da utilização de cargas de explosivos, após a detonação, ocorre o afrouxamento dos blocos e, então, as escavadeiras mecânicas carregam o material extraído em caminhões que transportam este material até as unidades de beneficiamento.

Esta é uma atividade considerada como de uso temporário da terra, que provoca fortes alterações na paisagem e nas condições naturais ambientais e que, portanto, torna-se de difícil recuperação pois altera o solo, a água e a vegetação (ARAÚJO et al., 2005).

A partir da década de 70, alterações na paisagem e no equilíbrio ecológico dos ecossistemas começou a tomar espaço entre as discussões dos pesquisadores em conjunto com políticas públicas (SILVA, 2007). Entre os principais problemas desencadeados pelas atividades mineradoras estão: poluição da água, do ar e sonora, além da subsidência do terreno, que conseqüentemente afetam de forma direta a fauna e a flora locais (FARIAS, 2002). A fim

de minimizar, prevenir e evitar que os impactos provocados danifiquem o ecossistema de forma desordenada, os órgãos ambientais competentes passaram a exigir dos empreendimentos o licenciamento ambiental como uma maneira de estabelecimento de controle ambiental (SILVA, 2017).

## 2.6 ATIVIDADES DE MINERAÇÃO DE CARVÃO NO BRASIL

O carvão mineral tem origem fóssil e foi uma das primeiras fontes de energia amplamente utilizadas pelo homem. Sua utilização para a produção de vapor constituiu-se como um dos pilares da Revolução Industrial, no século XVIII. No fim do século XIX, o vapor foi então utilizado para a produção de energia elétrica, porém, ao longo do tempo perdeu espaço para o petróleo e o gás natural com o advento dos motores a explosão. Nos anos 70, como consequência do choque do petróleo, o interesse pelo carvão veio novamente à tona e mantém-se até os dias de hoje (ANEEL, 2008).

No Brasil, a descoberta do carvão mineral ocorreu em 1795, no estado do Rio Grande do Sul, e nacionalmente, o carvão ocorre em coberturas plataformais Fanerozóicas da Bacia do Paraná e em camadas com idade Permiana pertencentes à formação Rio Bonito, contendo jazidas conhecidas nos 3 estados da região sul (GOMES et al., 2003). Segundo a ANEEL (2008), as reservas brasileiras contêm carvão do tipo linhito e sub-betuminoso e as maiores jazidas situam-se nos estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina. As menores estão nos estados do Paraná e São Paulo. Com relação ao número de reservas, o RS corresponde a 89,25%, SC a 10,41%, PR a 0,32% e SP a 0,02% do total nacional. A Jazida de Candiota, no RS, possui sozinha 38% do total de carvão nacional, mas este é considerado pobre do ponto de vista energético e que não pode ser beneficiado devido ao alto grau de impurezas, fazendo com que este material seja utilizado sem beneficiamento diretamente na boca da mina (ANEEL, 2008).

A Mineração de carvão em Candiota é datada de 1863 período em que atendia a fábricas e charqueadas do entorno. O garimpo ocorria em minas de encosta e a margem de cursos de água. O carvão proveniente desta região abasteceu a Viação Férrea até o ano de 1920 e no ano de 1958 a primeira mina descoberta, Mina dos Ratos, chega a sua exaustão após 105 anos de exploração. A área da Jazida de Candiota corresponde a 2.000 Km<sup>2</sup>, composta por 17 camadas, sendo a denominada como Candiota, a mais importante, tendo espessura média de sua camada total 4,5 m, sendo única em lavra e corresponde a 63% dos recursos da jazida, outro

fator que é levado em consideração como decisivo na economicidade da lavra é a pequena cobertura (18%) com presença de coberturas menores que 50 m, o que possibilita sua lavra a céu aberto (GOMES et al, 2003). Um dos fatores limitantes do carvão obtido é o seu “grade” expresso por um teor de cinzas entre 51 e 54% e, principalmente, pela sua difícil lavabilidade, com obtenção de um rendimento de produto final entre 30 a 52%. O carvão proveniente de Candiota é classificado como “Betuminoso de Alto Volátil C” não coqueificável. Trata-se da maior mina de carvão a céu aberto do Brasil, produtora de carvão bruto, britado que é consumido pela Usina Termoelétrica de Presidente Médici gerando 446 MW através do sistema pulverizado (GOMES et al., 2003).

## 2.7 EXTRAÇÃO DE BAUXITA NO BRASIL

A bauxita é uma rocha de coloração avermelhada composta, em grande parte, por minerais hidratados de alumínio encontrada, principalmente, nas regiões tropicais e subtropicais do planeta. Estima-se que aproximadamente 92% de toda a produção mundial de bauxita seja utilizada no processo produtivo de alumina ( $Al_2O_3$ ), porém, este mineral também é utilizado em indústrias químicas (sulfato de alumínio), de abrasivos e cimento (aluminoso) (MÁRTIRES, 2001; ABAL, 2017).

Ainda, segundo Mártires (2001), esta rocha ocorre na natureza em grandes depósitos, a partir dos quais acontecem os processos de extração, produzindo alumina (óxido de alumínio) que posteriormente sofre uma redução eletrolítica para eliminar o oxigênio presente e produzir o alumínio metálico. Para que o processo produtivo se torne economicamente viável, a bauxita necessita apresentar, no mínimo, 30% de óxido de alumínio aproveitável; são necessárias de 5 a 7 toneladas de bauxita para a produção de 2 toneladas de alumina que são convertidas em 1 tonelada de alumínio (ABAL, 2017).

O Brasil possui reservas de bauxita que estão classificadas entre as maiores do mundo e são consideradas de ótima qualidade, por apresentarem valores maiores que 40% de alumina. Nacionalmente, a lavra deste minério ocorre a céu aberto, através do método por tiras, e, grande parte destas reservas estão presentes nos Estados do Pará e Minas Gerais (ABAL, 2017; MME, 2009).

Dentro do processo produtivo de alumínio, a bauxita sofre um processo de moagem e, posteriormente, é misturada a uma solução de soda cáustica resultando em uma pasta que ao ser aquecida sob pressão recebe novamente adição de soda cáustica, a bauxita então se dissolve,

formando uma solução que é submetida a processos de filtração e clarificação para retirada de impurezas. Estes processos resultam na produção de alumina – principal insumo utilizado na produção de alumínio, que ao sofrer mais um processo de redução, resulta no alumínio metálico. Esta técnica de produção é denominada de processo Bayer. (FAHEY et al., 2002). O resíduo insolúvel gerado durante o processo de produção da alumina, conhecido popularmente como lama-vermelha, contém minerais ricos em ferro, traços de titânio, sódio, quartzo, carbonatos e aluminatos de cálcio, sílica além do alumínio que não foi totalmente extraído durante o processo. Entre as principais características da lama-vermelha estão a sua elevada alcalinidade e a presença de partículas muito finas. (SILVA FILHO et al., 2007). Devido ao fato da lama-vermelha ser um resíduo que apresenta alta alcalinidade e elevadas quantidades de sais, seu descarte necessita de cuidados e, atualmente, este resíduo tem sido depositado em lagoas projetadas para este fim (MOREIRA et al., 2012). O alto custo da construção destes tanques fez com que as empresas buscassem alternativas para a sua utilização como: recobrimento de aterros, insumo para produção de cimentos especiais, matéria prima para a produção de revestimentos cerâmico e, em outros países, como corretivo aplicado em solos ácidos, contudo, vários cenários de utilização ainda estão sendo estudados (MOREIRA et al., 2012).

Nacionalmente, a produção de bauxita ocupa o terceiro lugar em volume de recursos naturais produzidos (aproximadamente 37 milhões de toneladas anuais), conforme o publicado no Sumário Mineral (DNPM, 2016). O Brasil também ocupa o terceiro lugar mundial na produção de bauxita, porém, dados divulgados sobre a geração de lama vermelha são muito escassos (SILVA FILHO et al., 2007).

### 3 MATERIAL E MÉTODOS

#### 3.1 MATERIAL VEGETAL

Dois lotes de sementes foram usados no presente estudo. Para a primeira parte do trabalho, onde se avaliou a germinação em câmara tipo BOD (*Biochemical Oxygen Demand*), utilizou-se sementes (Figura 1B) de *M. scabrella* (Figura 1A) foram oriundas de árvores-matrizes presentes na Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), Campus de Curitibanos, em Curitibanos, SC. Estas sementes foram coletadas e beneficiadas em janeiro de 2016 e, posteriormente, armazenadas em recipiente fechado de polietileno acondicionado em refrigerador. Para os experimentos em casa de vegetação, utilizou-se sementes oriundas de árvores-matrizes presentes na comunidade Dez de Novembro, pertencente ao município de Fraiburgo, no Estado de Santa Catarina. As sementes foram coletadas e beneficiadas em janeiro de 2018 e, posteriormente, armazenadas em um recipiente fechado de polietileno acondicionado em refrigerador.

Figura 1 – Aspecto físico da *Mimosa scabrella* Benth. e suas sementes.



Legenda: A) Exemplar de indivíduo adulto de *Mimosa scabrella*; B) Sementes.

Fonte: A autora.

### 3.2 ETAPA I – DETERMINAÇÃO DO POTENCIAL DE GERMINAÇÃO DAS SEMENTES DE BRACATINGA

A partir do lote de sementes disponível, foram selecionadas ao acaso 400 sementes e divididas em 4 repetições de 100 sementes cada. O tratamento adotado para superação da dormência foi pelo método de imersão em água quente (80°C) por 18 horas, conforme o recomendado por Carvalho (2002). O substrato utilizado para este ensaio foi o rolo-de-papel. Para cada repetição, foram utilizadas 3 folhas de papel Germitest umedecidas com água destilada com aproximadamente 1,5 vezes o peso do papel. As sementes foram distribuídas em duas folhas, utilizando espaçamento de aproximadamente 1,5 – 5,0 vezes a largura da semente, sendo recobertas por uma folha, formando então os rolos. O ensaio foi armazenado em sacos plásticos transparentes sob luz constante por um período de 10 dias em incubadora BOD a  $20^{\circ} \pm 2^{\circ}$  C. As avaliações foram realizadas no 5° e 10° dias do ensaio. A avaliação do lote de sementes se deu através da porcentagem de plântulas germinadas neste ensaio. O conceito de plântula utilizado para a contagem foi aquelas que apresentaram desenvolvimento de radícula, cotilédone, hipocótilo e epicótilo (BRASIL, 2009).

### 3.3 ETAPA II – DETERMINAÇÃO DO GRAU DE UMIDADE DAS SEMENTES

O objetivo desta etapa foi avaliar a possível influência do modo de armazenamento das sementes sobre a sua viabilidade. Para a realização deste ensaio, foram utilizadas quatro repetições de 25 sementes cada (totalizando 100 sementes). O procedimento foi realizado em estufa à uma temperatura de  $105^{\circ} \text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$  por um período de 24 horas. Tanto o peso úmido, quanto o peso seco das amostras foram aferidos com o auxílio de uma balança analítica, de acordo com as Regras para Análise de Sementes – RAS (BRASIL, 2009). O teor de umidade foi obtido através da média das repetições e calculada pela diferença do peso inicial e final.

### 3.4 ETAPA III – PREPARO DAS AMOSTRAS

O solo controle padrão usado em ensaios de ecotoxicidade foi preparado em laboratório para utilização em todos os ensaios realizados. Este solo, denominado Solo Artificial Tropical (SAT), foi preparado seguindo as recomendações de adaptação propostas por Garcia (2004) para solos tropicais que consiste em uma mistura composta por 70% de areia

fina, 20% de caulim e 10% de pó de casca de coco. A areia foi previamente lavada com água para remoção do material orgânico e seca em estufa a uma temperatura de 150°C até peso constante. O pó de casca de coco foi peneirado em uma malha de 3 mm e seco em estufa de circulação forçada a uma temperatura de 60°C. O SAT teve o seu pH final ajustado com adição de carbonato de cálcio (CaCO<sub>3</sub>) até a obtenção de um valor entre 5,5 e 6,5.

As amostras de solos contaminados e resíduos utilizados neste trabalho, foram provenientes das atividades extratoras de minério de duas regiões do país: mineração de carvão vegetal provenientes da Mina de Candiota (RS), e rejeito de extração de bauxita de uma empresa do Estado do Pará.

Os solos e resíduos da área de Candiota são descritos abaixo:

- Controle: solo da região de Candiota, porém sem deposição de resíduos;
- Solo Argiloso: área em recuperação com adição de argila;
- Passivo Ambiental Não Recuperado: resíduo da atividade mineradora em estado bruto;
- Solo Recuperado: oriundo de área em processo de recuperação há 2 anos.

Todas as amostras foram secas ao ar livre e peneiradas em malha de 3 mm para a retirada de material grosseiro como pedras e pequenos galhos.

Também foi utilizado o resíduo proveniente do processo de extração de bauxita (lama-vermelha), oriundo de uma empresa mineradora presente no Estado do Pará. Este resíduo, extremamente compactado, passou por um processo de redução de tamanho (ralador) para que pudesse ser utilizado.

Para todos os solos utilizados neste trabalho, foram realizados os cálculos da capacidade de retenção de água - CRA, conforme o descrito na norma ABNT NBR ISO 17512-1 (ABNT, 2011) em seu Anexo F, e sua determinação de umidade inicial, para que fosse possível a realização do ajuste da umidade em 50% da sua respectiva capacidade de retenção.

### 3.5 ETAPA IV – REALIZAÇÃO DE ENSAIO DE GERMINAÇÃO EM INCUBADORA BOD

Esta etapa teve como objetivo avaliar o potencial da *M. scabrella* para condução de ensaio de germinação em incubadora BOD. O ensaio foi conduzido seguindo as recomendações contidas na norma ABNT NBR ISO 11269-2 (ABNT, 2014) e também as recomendações contidas nas Regras para Análise de Sementes (BRASIL, 2009) para adequação do ensaio a

uma espécie arbórea. O ensaio foi realizado em caixas plásticas transparentes (19 x 14 x 4 cm), preenchidas com aproximadamente 340 g de SAT umedecido até 50% da CRA. Foram utilizadas no total 50 sementes de bracatinga, dispostas em 5 repetições com 10 sementes cada. O ensaio foi incubado em câmara BOD com temperatura de  $20^{\circ} \pm 1^{\circ}\text{C}$  com fotoperíodo de 12h/12h luz/escuro. As avaliações foram realizadas no 5° e 10° dias após a instalação do ensaio.

Para verificar a sensibilidade da espécie, e a possibilidade de condução deste ensaio com um maior período de duração, foi realizado um ensaio similar ao descrito anteriormente com as seguintes modificações: utilização de ácido bórico ( $\text{H}_3\text{BO}_3$  - concentração de 4 mg/ml) como substância de referência, nas seguintes concentrações: (0, 125, 250, 500, 750 e 1000 mg/kg-1) com 5 repetições cada, totalizando 300 sementes de bracatinga utilizadas. O ensaio foi realizado em caixas plásticas transparentes (19 cm x 14 cm x 4 cm) preenchidas com 340 g de SAT umedecido até 50% da CRA. Foram incubadas 10sementes por réplica. O ensaio foi incubado em câmara BOD com temperatura de  $20^{\circ} \pm 1^{\circ}\text{C}$  com fotoperíodo de 12h/12h luz/escuro. As avaliações ocorreram após 5, 7 e 21 dias, registrando-se o número de sementes germinadas.

### 3.6 ETAPA V – DETERMINAÇÃO DE EFEITOS SOBRE O CRESCIMENTO E A BIOMASSA USANDO ÁCIDO BÓRICO COMO SUBSTÂNCIA DE REFERÊNCIA

Esta etapa teve como objetivo avaliar a aplicabilidade do ácido bórico como substância de referência para ensaios de crescimento e biomassa de *M. scabrella*. O ensaio foi conduzido conforme as recomendações contidas na norma ABNT/ISO 11269-2 (2014) com as algumas adaptações descritas a seguir.

O experimento foi conduzido em casa de vegetação com temperatura média de  $20^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ . O ácido bórico foi usado como substância de referência nas concentrações: 0,125, 250, 500, 750 e 1000 mg.kg<sup>-1</sup>. Foram utilizados 12 tubetes por tratamento, preenchidos com aproximadamente 130 gramas de SAT umedecido até 50% da CRA, considerando a adição da solução de ácido bórico. Cada tubete recebeu 3 sementes e foi enumerado (0 – 12). Foram utilizados, no total, 72 tubetes e 216 sementes de *M. scabrella*. Após o décimo dia de instalação do experimento (período máximo considerado para a germinação das sementes) foi realizado um raleio, deixando-se apenas 1 plântula por réplica.

O ensaio foi finalizado após o 20º dia da realização do raleio para as réplicas de número ímpar, e no 35º dia após o raleio para as réplicas de número par. Para as duas etapas de remoção do experimento, as plantas tiveram seu comprimento total, tamanho de parte aérea e tamanho de raiz medidas com auxílio de uma régua (cm). Além disso, foram obtidos o peso fresco e o peso seco, em gramas, com auxílio de uma balança analítica. Para a obtenção do peso seco, as réplicas foram secas em estufa de circulação forçada à 60°C até seu peso constante.

### 3.7 ETAPA VI – CONDUÇÃO DO ENSAIO ECOTOXICOLÓGICO COM RESÍDUOS PROVENIENTES DE ATIVIDADES MINERADORAS

Esta etapa do ensaio foi conduzida da mesma forma que a anterior, porém, avaliando-se os solos e resíduos das áreas de mineração. Nesta etapa, também foi utilizado um controle com SAT para fins de validação do ensaio. O critério de validação do ensaio seguiu o recomendado na norma ABNT/ISO 11269-2 (2014) de 50% de germinação no tratamento controle.

Foram utilizados, no total, 72 tubetes e 216 sementes de *M. scabrella* como organismo-teste (totalizando 12 repetições por tratamento). Após o décimo dia de instalação do experimento (período máximo considerado para a germinação das sementes), foi realizado um raleio, restando apenas 1 plântula por réplica.

O ensaio foi finalizado após o 20º dia da realização do raleio para as réplicas de número ímpar, e no 35º dia após o raleio para as réplicas de número par. Para as duas etapas de remoção do experimento, as plantas tiveram seu tamanho total, comprimento de parte aérea e tamanho de raiz medidas com auxílio de uma régua (cm). Além disso, foram obtidos o peso fresco e o peso seco, em gramas, com auxílio de uma balança analítica. Para a obtenção do peso seco, as réplicas foram secas em estufa de circulação forçada à 60°C até seu peso constante.

### 3.8 ANÁLISE ESTATÍSTICA

Todos os dados coletados nas etapas IV, V e VI foram submetidos à análise de variância (ANOVA). As análises foram realizadas por meio dos programas R (versão 3.5.1) utilizando o pacote Mathlab, seguida do teste de comparações de Dunnet ( $p < 0,05$ ) comparando as variáveis avaliadas (tamanho (cm) de raiz, parte aérea e tamanho total das mudas, biomassa seca e fresca da raiz e parte aérea) no solo teste e no solo controle. A normalidade dos dados e

a homogeneidade das variâncias foram verificados com os testes de Shapiro Wilk e Bartlett, respectivamente. Para o ensaio realizado com o resíduo oriundo do estado do Pará (etapa VI), os dados coletados foram submetidos à ANOVA, seguida da realização do teste t de Student, comparando o resíduo lama vermelha com o SAT. Para o cálculo da concentração de efeito para 50% (CE50) dos organismos-teste foi utilizado o Software Statistica® (versão 13.3), as curvas de ajuste utilizadas seguiram o descrito por Chelinho et al. (2014) que melhor se adequaram aos pontos encontrados e com menor variação que foram: Gompertz, Hormesis, Linear ou Logística.

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1 POTENCIAL DE GERMINAÇÃO DAS SEMENTES DE BRACATINGA

Ambos os lotes de sementes utilizadas para a realização deste ensaio apresentaram um alto potencial de germinação (94 e 96%) em papel Germitest, indicando que o método utilizado para a superação da dormência e as condições de armazenamento não afetaram a qualidade fisiológica das sementes utilizadas. Carvalho (2002) ressalta que a dormência desta espécie varia de acordo com seu local de origem, portanto, como os lotes são oriundos de regiões semelhantes, utilizar o mesmo método de superação de dormência demonstrou-se eficiente. Em um estudo realizado por Wielewicki et al. (2006) utilizando a mesma metodologia para a superação da dormência adotada neste ensaio, a bracatinga apresentou um potencial de germinação de 71%, portanto, ao compararmos o resultado do seu estudo com o resultado apresentado neste ensaio (96%) pode-se dizer que as matrizes utilizadas no presente estudo apresentam um potencial de germinação que pode ser considerado alto.

### 4.2 GRAU DE UMIDADE DAS SEMENTES

Os fatores umidade e temperatura, são extremamente importantes no armazenamento de sementes, pois sua viabilidade é prolongada quando seu armazenamento ocorre em baixa umidade e temperatura (MAZUCHOWSKI; GUEDES, 2014). O lote de sementes de *M. scabrella* utilizado nos ensaios de ecotoxicidade, após seu beneficiamento, apresentaram teor de água médio de  $4,08 \pm 0,39\%$ . Segundo Mazuchowski et al. (2014), quanto maior o teor de umidade presente nas sementes armazenadas, maiores serão os fatores que afetarão a sua qualidade fisiológica. Portanto, o teor de umidade presente no lote de sementes utilizadas favoreceu seu armazenamento, sem que a sua qualidade fisiológica fosse afetada. Segundo Medeiros et al. (2006), pequenos lotes de sementes de *M. scabrella* podem ser armazenadas em geladeiras domésticas, desde que apresentem um teor de umidade entre 5 e 7%, em embalagens herméticas, por um período de até 2 anos. Desta forma, as sementes utilizadas foram acondicionadas de maneira a proporcionar sua longevidade, e esta forma de armazenamento pode ser adotada por laboratórios de análises ecotoxicológicas sem maiores dificuldades.

#### 4.3 GERMINAÇÃO EM INCUBADORA BOD E PRÉ-TESTE DE SENSIBILIDADE AO ÁCIDO BÓRICO

O ensaio realizado apenas para testar o potencial de germinação das sementes de bracatinga em SAT obteve um percentual de 96% de germinação aos 10 dias. Isto evidencia que a espécie *M. scabrella* apresenta satisfatório potencial de germinação em solo artificial preparado em laboratório (SAT), o que se faz necessário para os ensaios de ecotoxicidade.

Os resultados do ensaio realizado para testar a sensibilidade da bracatinga ao ácido bórico demonstraram que a germinação da espécie no tratamento controle para este ensaio foi de 83%, portanto, de acordo com a norma ABNT/ISO 11269-2 (2014) que determina um percentual mínimo de germinação correspondente à 50% no tratamento controle, os critérios para a validação deste ensaio foram cumpridos.

A concentração de efeito sobre a germinação de 50% das plântulas ( $CE_{50}$ ) encontrada neste ensaio foi calculada em  $957,4 \text{ mg.kg}^{-1}$  de ácido bórico ( $IC_{95\%} = 841,3-1073,5 \text{ mg.kg}^{-1}$ ) e foi observada durante o 7º dia de avaliação da germinação. Desta forma, o ácido bórico apresentou resultados satisfatórios como substância de referência a ser recomendada ao utilizarmos a bracatinga como organismo-teste. A aplicabilidade do ácido bórico como substância de referência já foi comprovada para alguns organismos da fauna edáfica conforme o descrito por Niemeyer et al. (2018). Quando utilizado em ensaios ecotoxicológicos com espécies vegetais (de uso agrícola) também demonstrou resultados satisfatórios comprovados por Becker et al. (2011) e Princz et al, (2017), indicando que espécies vegetais pertencentes à classe eudicotiledônea são os organismos que apresentaram maior sensibilidade a substância.

#### 4.4 SENSIBILIDADE AO ÁCIDO BÓRICO

A porcentagem de germinação neste ensaio foi de 100% no controle, cumprindo os critérios de validação do ensaio (ABNT/ISO 11269-2 (2014)). As variáveis avaliadas foram: comprimento de raiz, comprimento de parte aérea, peso fresco e seco da parte aérea e da raiz, podem ser observados na tabela 1.

Tabela 1 – Média ( $\pm$  desvio padrão) de plântulas de *M. scabrella* em ensaio de ecotoxicidade com solo artificial tropical contaminado com ácido bórico. Tratamentos: C0 = controle (sem contaminação); 125 mg.kg<sup>-1</sup>; 250 mg.kg<sup>-1</sup>; 500 mg.kg<sup>-1</sup>; 750 mg.kg<sup>-1</sup>; 1000 mg.kg<sup>-1</sup> ácido bórico. bf = biomassa fresca; bs = biomassa seca. Valores apresentados em mg.

<b>Trat.</b>	<b>Raiz (cm)</b>	<b>Parte Aérea (cm)</b>	<b>Raiz (bf)</b>	<b>Parte Aérea (bf)</b>	<b>Raiz (bs)</b>	<b>Parte Aérea (bs)</b>
<b>20 dias</b>						
<b>C0</b>	10,98 $\pm$ 0,31	3,65 $\pm$ 0,41	104,00 $\pm$ 26,00	74,00 $\pm$ 13,00	5,00 $\pm$ 2,00	8,00 $\pm$ 2,00
<b>125</b>	11,23 $\pm$ 0,22	3,40 $\pm$ 0,33	79,00 $\pm$ 9,00*	73,00 $\pm$ 14,00	6,00 $\pm$ 1,00	10,00 $\pm$ 1,00
<b>250</b>	11,35 $\pm$ 0,24	3,88 $\pm$ 0,37	83,00 $\pm$ 10,00*	75,00 $\pm$ 24,00	5,00 $\pm$ 2,00	10,00 $\pm$ 3,00
<b>500</b>	10,12 $\pm$ 0,85	3,56 $\pm$ 0,54	37,00 $\pm$ 9,00*	58,00 $\pm$ 20,00	3,00 $\pm$ 1,00	6,00 $\pm$ 2,00*
<b>750</b>	6,43 $\pm$ 1,09*	2,85 $\pm$ 0,37	15,00 $\pm$ 6,00*	45,00 $\pm$ 23,00	1,00 $\pm$ 1,00*	3,00 $\pm$ 1,00*
<b>1000</b>	5,28 $\pm$ 2,41*	2,72 $\pm$ 1,06*	15,00 $\pm$ 5,00*	41,00 $\pm$ 15,00*	2,00 $\pm$ 1,00*	5,00 $\pm$ 1,00*
<b>35 dias</b>						
<b>C0</b>	10,52 $\pm$ 0,50	4,86 $\pm$ 0,77	47,00 $\pm$ 17,00	92,00 $\pm$ 18,00	21,00 $\pm$ 3,00	25,00 $\pm$ 7,00
<b>125</b>	11,05 $\pm$ 0,22	3,76 $\pm$ 0,22*	23,00 $\pm$ 6,00*	49,00 $\pm$ 21,00*	15,00 $\pm$ 3,00*	11,00 $\pm$ 3,00*
<b>250</b>	11,42 $\pm$ 0,38	3,97 $\pm$ 0,58	20,00 $\pm$ 10,00*	40,00 $\pm$ 19,00*	14,00 $\pm$ 5,00*	9,00 $\pm$ 3,00*
<b>500</b>	9,12 $\pm$ 1,85	3,43 $\pm$ 0,35*	7,00 $\pm$ 3,00*	31,00 $\pm$ 19,00*	5,00 $\pm$ 2,00*	6,00 $\pm$ 2,00*
<b>750</b>	7,87 $\pm$ 2,39*	3,77 $\pm$ 0,86*	7,00 $\pm$ 3,00*	41,00 $\pm$ 19,00*	6,00 $\pm$ 2,00*	8,00 $\pm$ 3,00*
<b>1000</b>	5,97 $\pm$ 1,97*	2,83 $\pm$ 0,60*	4,00 $\pm$ 2,00*	31,00 $\pm$ 23,00*	3,00 $\pm$ 2,00*	6,00 $\pm$ 2,00*

\* Médias com diferenças estatisticamente significativas, pelo teste de Dunnet, a 5% de probabilidade.

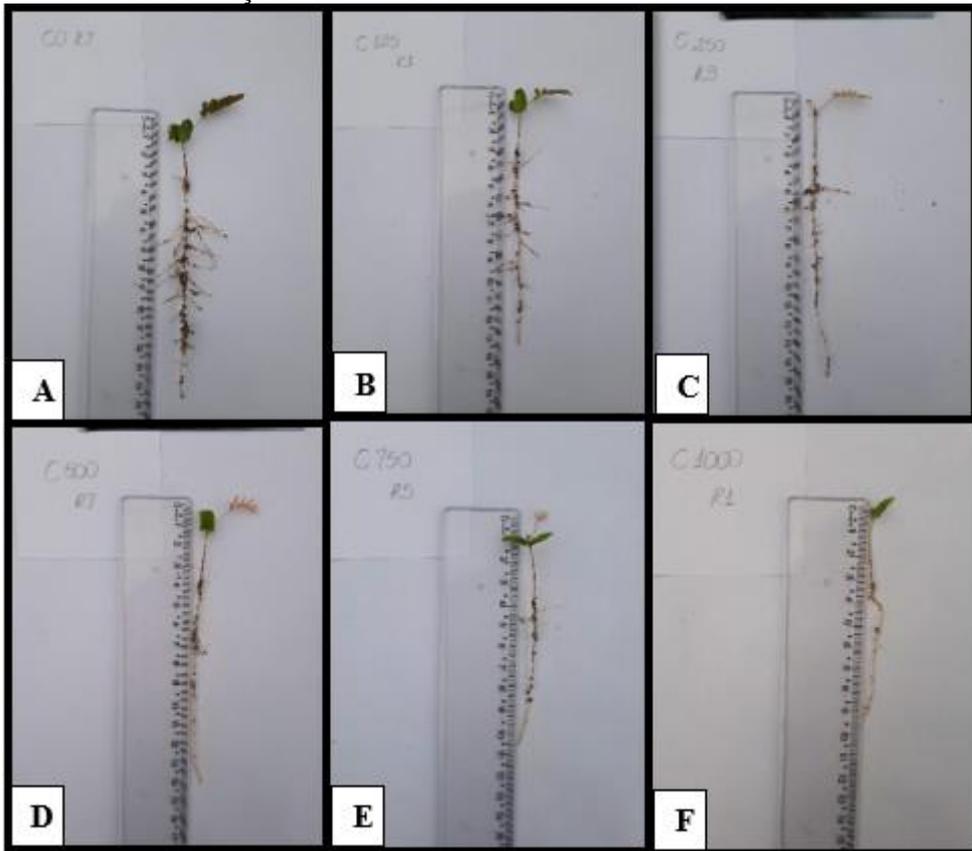
Fonte: A autora.

Aos 20 dias de duração do experimento, podemos notar que para a variável comprimento de raiz, a dose resposta em relação ao ácido bórico encontra-se entre as concentrações 750 e 1000 mg.kg<sup>-1</sup>, já para o comprimento da parte aérea a dose resposta apresenta-se apenas na concentração de 1000 mg.kg<sup>-1</sup>. A biomassa fresca da raiz apresentou efeitos estatisticamente significativos ( $p < 0,05$ ) em todas as concentrações testadas quando comparadas com o controle. Porém, quando comparamos a biomassa seca, a concentração de efeito encontra-se entre as concentrações 750 e 1000 mg.kg<sup>-1</sup> de ácido bórico. Para a variável biomassa da parte aérea, quando fresca, a concentração de efeito encontra-se em 1000 mg.kg<sup>-1</sup> e quando seca apresenta-se na concentração 500 mg.kg<sup>-1</sup>, mostrando ser mais sensível quando se usa o peso seco.

Aos 35 dias de duração do experimento, para o comprimento de raiz os efeitos significativos foram observados nas concentrações 750 e 1000 mg.kg<sup>-1</sup>, enquanto que para o comprimento da parte aérea foi nas concentrações 125, 500, 750 e 1000 mg.kg<sup>-1</sup>. Em relação as variáveis biomassa seca e fresca, todas as concentrações testadas apresentaram efeitos do ácido bórico ( $p < 0,05$ ), quando comparadas ao controle.

Em termos gerais, ocorre uma maior redução da biomassa (fresca e seca) conforme há o aumento da concentração de ácido bórico aplicado ao solo, o que indica haver um efeito dose-resposta da bracatinga em relação a esta substância. O aspecto das plântulas de *M. scabrella* aos 20 dias de experimento podem ser observados na figura 2.

Figura 2 – Desenvolvimento das mudas de *M. scabrella* aos 20 dias de duração do experimento em diferentes concentrações de ácido bórico.

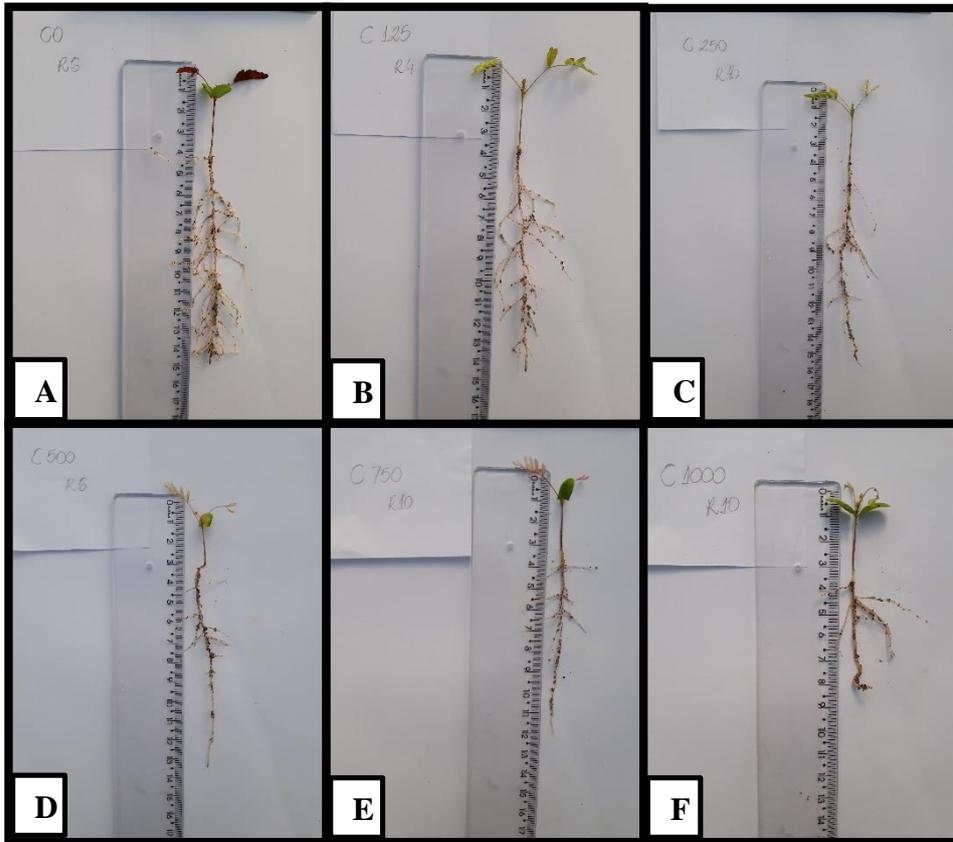


Legenda: A) Tratamento controle (C0); B) Concentração 125 mg.kg<sup>-1</sup>; C) Concentração 250 mg.kg<sup>-1</sup>; D) Concentração 500 mg.kg<sup>-1</sup>; E) Concentração 750 mg.kg<sup>-1</sup>; F) Concentração 1000 mg.kg<sup>-1</sup>.

Fonte: A autora.

Através da figura 2 pode-se observar a influência do ácido bórico no desenvolvimento das mudas. É notável que, com o aumento da concentração de ácido bórico (Figuras B à F) as mudas apresentam redução no desenvolvimento de raízes e notável alteração de cor dos folíolos. Observa-se também que na concentração de 1000 mg.kg<sup>-1</sup> as plântulas ainda não emitiram o seu segundo par de folhas (Figura 2 F). O aspecto das plântulas de *M. scabrella* aos 35 dias de experimento podem ser observados na figura 3.

Figura 3 – Desenvolvimento das mudas de *M. scabrella* aos 35 dias de duração do experimento em diferentes concentrações de ácido bórico.



Legenda: A) Tratamento controle (C0); B) Concentração 125 mg.kg<sup>-1</sup>; C) Concentração 250 mg.kg<sup>-1</sup>; D) Concentração 500 mg.kg<sup>-1</sup>; E) Concentração 750 mg.kg<sup>-1</sup>; F) Concentração 1000 mg.kg<sup>-1</sup>.

Fonte: A autora.

Pode-se observar através da figura 3 que já aos 35 dias de duração do experimento há uma representativa emissão de raízes e de folíolos, mesmo que com significativa alteração de cor, pelas mudas (Figuras 3 B à F). Nota-se também que as mudas representantes do tratamento com maior concentração de ácido bórico iniciam a sua emissão do segundo par de folhas apenas aos 35 dias, evidenciando que esta substância inibe consideravelmente o desenvolvimento das plântulas de *M. scabrella* (Figura F). Fica evidente que mesmo apresentando a emissão de raízes e do segundo par de folhas, todos os tratamentos quando comparados com o controle apresentam diferenças significativas, e isto foi observado através da análise estatística demonstrada na tabela 1.

Os resultados apresentados neste ensaio, para os dois períodos de duração, são corroborados pelo estudo realizado por Herrera-Rodriguez et al. (2010) onde são citados como efeitos tóxicos causados por altas concentrações de boro: inibição do crescimento radicular e menor teor de clorofila foliar, além de causar mudanças significativas no metabolismo e, conseqüentemente, no ciclo de vida das plantas afetadas limitando a sua produtividade.

Torna-se evidente que, em um período maior de exposição ao ácido bórico (35 dias ao invés de 20 dias), há um aumento significativo de sensibilidade do ensaio. Isso pôde ser observado por Princz et al. (2017), os quais trazem um levantamento espécies de plantas (especialmente agrícolas) utilizadas em ensaios de ecotoxicidade como organismos-teste sensíveis à utilização do ácido bórico, evidenciaram que as plantas da classe eudicotiledônea apresentam maior sensibilidade ao ácido bórico como, por exemplo, a alface (*Lactuca sativa* L.), pertencente a mesma classe da espécie arbórea *M. scabrella*.

Em relação às curvas de dose-resposta obtidas, os valores encontrados para a Concentração de Efeito para 50% (CE<sub>50</sub>) da população estão descritos na tabela 2.

Tabela 2 – Concentração de efeito para 50% da população (CE<sub>50</sub>) de *Mimosa scabrella* em ensaio de ecotoxicidade com ácido bórico. Os valores do intervalo de confiança (95%) são apresentados entre parênteses.

Variáveis	20° dia de experimento	35° dia de experimento
Raiz (cm)	913,84 (829,32 - 998,36)	>1000
Parte Aérea (cm)	>1000	>1000
Tam. Total (cm)	>1000	>1000
Raiz Fresca (g)	425, 61 (339,58 - 511, 65)	141, 18 (59, 23 - 223,13)
Aérea fresca (g)	>1000	144, 05 (0 -448, 06)
Raiz Seca (g)	625, 05 (408,04 - 842,07)	313,36 (206, 58 - 420,14)
Aérea Seca (g)	816, 77 (521, 64 - 1111,90)	48,86 (0 - 159, 65)

Fonte: A autora.

Os menores valores de CE<sub>50</sub> foram encontrados para as variáveis de peso fresco e seco da planta. A variável mais sensível, apresentando o menor valor de CE<sub>50</sub>, foi o peso seco da parte aérea (CE<sub>50</sub> = 48,86 mg.kg<sup>-1</sup>). As variáveis de medida em cm da raiz e da parte aérea, bem como o tamanho total, se mostraram menos sensíveis às concentrações de ácido bórico (CE<sub>50</sub>>1000 aos 35 dias de exposição).

No presente estudo, observa-se que as variáveis que apresentaram maior sensibilidade ao ácido bórico foram biomassa seca e fresca. Em um estudo realizado por Becker et al. (2011) ao avaliar a sensibilidade de aveia (*Avena sativa* L.) e nabo (*Brassica napus* L.) ao ácido bórico, identificou-se que para ambas espécies a variável mais sensível foi a biomassa. Os autores demonstraram que a espécie eudicotiledônea (*B. napus*) teve uma CE<sub>50</sub> calculada em 175 mg.kg<sup>-1</sup> para a biomassa fresca da parte aérea, semelhante ao encontrado para a bracatinga, CE<sub>50</sub> = 144,05 mg.kg<sup>-1</sup>. Os resultados destes autores corroboram os dados observados neste

experimento, demonstrando assim que a bracinga é um organismo que apresenta sensibilidade ao ácido bórico e pode ser utilizado em ensaios ecotoxicológicos.

#### 4.5 ENSAIO ECOTOXICOLÓGICO COM RESÍDUOS PROVENIENTES DE ATIVIDADES MINERADORAS

A porcentagem de germinação neste ensaio foi de 64% no controle (solo natural da região de Candiota), cumprindo os critérios de validação do ensaio (ABNT NBR ISO 11269-2 (ABNT, 2014)).

Os valores para as variáveis avaliadas durante a segunda etapa de realização dos ensaios, com utilização do resíduo e dos solos provenientes da Mina de Candiota, aos 20 e 35 dias de duração, estão descritos na tabela 3.

Tabela 3 – Média ( $\pm$  desvio padrão) de plântulas de *M. scabrella* em ensaio de ecotoxicidade com solos contaminados e resíduos oriundos da Mina de Candiota, RS. Cont. = controle (solo natural); S. Rec. = solo em processo de recuperação; S. Arg. = área experimental com adição de argila; P. Amb. = passivo ambiental (resíduo). bf = biomassa fresca; bs = biomassa seca. Valores apresentados em mg.

<b>Trat.</b>	<b>Raiz (cm)</b>	<b>Parte Aérea (cm)</b>	<b>Raiz (bf)</b>	<b>Parte Aérea (bf)</b>	<b>Raiz (bs)</b>	<b>Parte Aérea (bs)</b>
<b>20 dias</b>						
Cont.	10,78 $\pm$ 0,63	4,93 $\pm$ 0,57	256,00 $\pm$ 49,00	168,00 $\pm$ 19,00	23,00 $\pm$ 3,00	38,00 $\pm$ 4,00
S. Rec.	10,00 $\pm$ 0,52	5,28 $\pm$ 0,32	204,00 $\pm$ 20,00	134,00 $\pm$ 22,00	28,00 $\pm$ 7,00	37,00 $\pm$ 8,00
S. Arg.	8,27 $\pm$ 4,21	4,27 $\pm$ 0,87	145,00 $\pm$ 97,00*	85,00 $\pm$ 29,00	18,00 $\pm$ 11,00	21,00 $\pm$ 7,00*
P. Amb.	10,25 $\pm$ 0,49	4,87 $\pm$ 0,34	75,00 $\pm$ 33,00*	99,00 $\pm$ 13,00	21,00 $\pm$ 7,00	28,00 $\pm$ 6,00*
<b>35 dias</b>						
Cont.	9,75 $\pm$ 1,04	6,46 $\pm$ 1,18	158,00 $\pm$ 76,00	260,00 $\pm$ 91,00	65,00 $\pm$ 23,00	82,00 $\pm$ 27,00
S. Rec.	9,56 $\pm$ 0,73	5,10 $\pm$ 0,68*	66,00 $\pm$ 16,00*	141,00 $\pm$ 30,00*	50,00 $\pm$ 10,00*	52,00 $\pm$ 11,00*
S. Arg.	8,53 $\pm$ 2,72	4,66 $\pm$ 1,22*	41,00 $\pm$ 19,00*	111,00 $\pm$ 42,00*	33,00 $\pm$ 15,00*	43,00 $\pm$ 18,00*
P. Amb.	9,58 $\pm$ 0,38	4,38 $\pm$ 0,27*	29,00 $\pm$ 11,00*	61,00 $\pm$ 24,00*	24,00 $\pm$ 10,00*	28,00 $\pm$ 9,00*

\* Médias com diferenças estatisticamente significativas, pelo teste de Dunnet, a 5% de probabilidade.

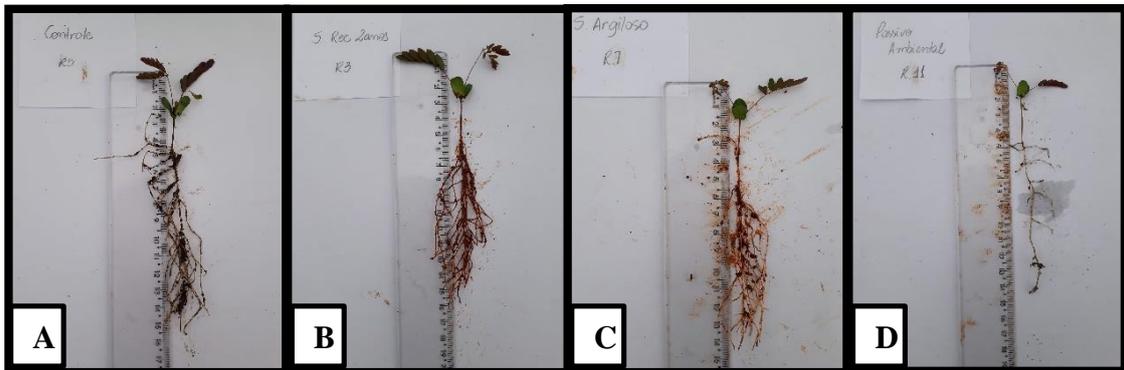
Fonte: A autora.

Com relação aos resíduos avaliados, o comprimento de raiz não apresentou diferenças estatisticamente significativas ( $p < 0,05$ ) quando os tratamentos foram comparados ao solo controle da região. Ao avaliarmos o comprimento da parte aérea, nota-se que aos 20 dias de experimento não houve diferenças estatisticamente significativas ( $p < 0,05$ ), porém, aos 35 dias de duração do experimento, todos os tratamentos apresentaram diminuição significativa ( $p < 0,05$ ) em relação ao controle, com maior efeito no tratamento Passivo Ambiental, referente

a uma área sem trabalhos de recuperação e composta de disposição do resíduo da mineração de carvão.

Ao avaliarmos a biomassa seca e fresca da parte aérea e da raiz, houve diferenças significativas ( $p < 0,05$ ) em todos os tratamentos quando comparados ao controle após 35 dias de exposição. Apenas a biomassa seca da raiz aos 20 dias de exposição não apresentou diferenças significativas ( $p < 0,05$ ) em relação ao tratamento controle, indicando ser mais adequado usar o maior período de exposição (35 dias) para avaliar os resultados. Os menores efeitos sobre a biomassa foram observados no tratamento Solo Recuperado (S. Rec.), o que é coerente, uma vez que este solo é proveniente de uma área que já está em processo de recuperação há aproximadamente 2 anos. Porém, ao demonstrar ecotoxicidade para a bracatinga, o ensaio nos indica que as condições do solo podem ainda não ser adequadas para o reestabelecimento da vegetação arbórea nativa neste local. O aspecto das mudas utilizadas neste experimento, podem ser observadas nas figuras 4 e 5.

Figura 4 – Desenvolvimento das mudas de *M. scabrella* aos 20 dias de duração do experimento com resíduo da produção de carvão mineral e solos da região.



Legenda: A) Tratamento controle com solo da região de Candiota – RS; B) Solo em Recuperação há 2 anos; C) Solo com adição de argila; D) Passivo Ambiental (resíduo da extração de carvão mineral).

Fonte: A autora.

Figura 5 – Desenvolvimento das mudas de *M. scabrella* aos 35 dias de duração do experimento, com resíduo da produção de carvão mineral e solos da região.



Legenda: A) Tratamento controle com solo da região de Candiota – RS; B) Solo em Recuperação há 2 anos; C) Solo com adição de argila; D) Passivo Ambiental (resíduo da extração de carvão mineral).

Fonte: A autora.

Através das figuras 4 e 5, pode-se observar que aos 20 dias de duração do experimento, as plântulas do tratamento controle ( Solo controle da região, Figura A) e os solos que já sofreram algum tipo de ação com o objetivo de recuperar a área (Solo em Recuperação e Argiloso, Figuras B e C, respectivamente) apresentam um bom desenvolvimento tanto de raízes quanto de parte aérea, o que é coerente, uma vez que não há a disposição do resíduo puro. Já o tratamento composto apenas pela adição do resíduo puro da produção de carvão mineral (Figura D) apresenta uma redução da emissão de raízes, porém, como demonstrado na tabela 3, não há diferença estatisticamente significativa para a variável comprimento de raiz (cm), tanto aos 20, quanto aos 35 dias de experimento. Para a variável comprimento da parte aérea (cm), aos 35 dias, todos os tratamentos apresentaram diferenças estatisticamente significantes, e isto pode ser observado também na tabela 3.

A utilização de espécies arbóreas para a recuperação de áreas degradadas por atividades mineradoras traz consigo inúmeras vantagens como: melhoria da fertilidade do solo, principalmente dos horizontes superficiais; criação de condições favoráveis ao desenvolvimento da microflora, micro, meso e macrofauna e consequente melhora das características químicas, físicas e biológicas próximas das suas raízes que, por consequência melhoram as condições para o desenvolvimento de outras espécies vegetais (SOARES; CASTILHOS, 2015).

Escassos são os estudos encontrados na literatura com a utilização de uma espécie arbórea em ensaios de ecotoxicidade de resíduos. Para fins comparativos deste ensaio, ao utilizar resíduos da produção de carvão mineral, Oliveira-Filho (2013) verificou a ecotoxicidade do resíduo piritoso sobre a germinação de *A. sativa* (L.) e *Lotus corniculatus* (L.); seus

resultados demonstraram que a espécie *L. corniculatus* teve a sua germinação significativamente afetada após sete dias de exposição ao resíduo.

A porcentagem de germinação neste ensaio, foi de 80% em SAT (controle padrão), cumprindo os critérios de validação do ensaio (ABNT/ISO 11269-2 (2014)). Os valores encontrados para o outro resíduo avaliado neste estudo, proveniente do processo produtivo da extração de bauxita (lama vermelha), estão descritos na tabela 4.

Tabela 4 – Média ( $\pm$  desvio padrão) de plântulas de *M. scabrella* em ensaio de ecotoxicidade com resíduo de mineração de bauxita do Pará. SAT = Solo Artificial Tropical; Bauxita = lama vermelha (resíduo). bf = biomassa fresca; bs = biomassa seca. Valores apresentados em mg.

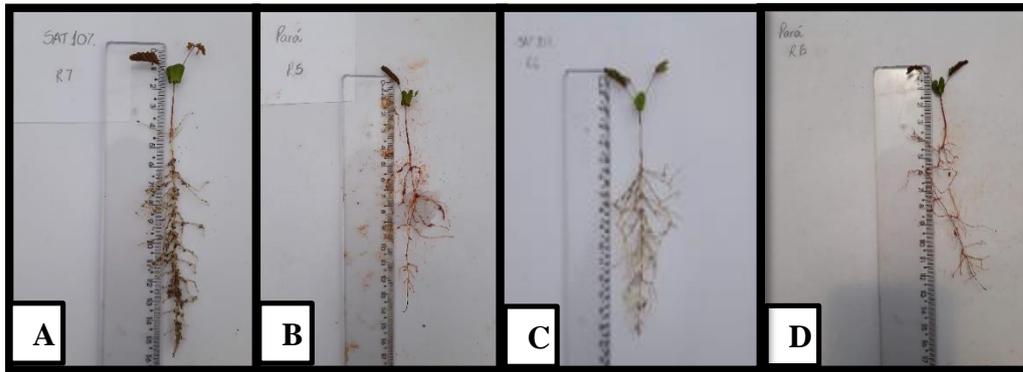
<b>Trat.</b>	<b>Raiz (cm)</b>	<b>Parte Aérea (cm)</b>	<b>Raiz (bf)</b>	<b>Parte Aérea (bf)</b>	<b>Raiz (bs)</b>	<b>Parte Aérea (bs)</b>
<b>20 dias</b>						
SAT	11,58 $\pm$ 0,55	3,73 $\pm$ 0,35	217,00 $\pm$ 112,00	90,00 $\pm$ 16,00	28,00 $\pm$ 9,00	23,00 $\pm$ 5,00
Bauxita	10,20 $\pm$ 0,68*	3,72 $\pm$ 0,36	72,00 $\pm$ 26,00*	68,00 $\pm$ 10,00*	19,00 $\pm$ 4,00	15,00 $\pm$ 4,00*
<b>35 dias</b>						
SAT	10,98 $\pm$ 0,62	4,40 $\pm$ 0,50	59,00 $\pm$ 25,00	94,00 $\pm$ 13,00	34,00 $\pm$ 9,00	27,00 $\pm$ 4,00
Bauxita	9,40 $\pm$ 0,55*	3,88 $\pm$ 0,29	18,00 $\pm$ 4,00*	31,00 $\pm$ 8,00*	16,00 $\pm$ 4,00*	14,00 $\pm$ 2,00*

\* Médias com diferenças estatisticamente significativas, pelo teste de Dunnet, a 5% de probabilidade.  
Fonte: A autora.

Em relação à ecotoxicidade do resíduo lama vermelha, podemos observar que, aos 20 dias de duração do experimento, não houve diferença estatisticamente significativa ( $p < 0,05$ ) apenas para o comprimento de parte aérea e biomassa seca de raiz quando comparado ao solo controle.

Já aos 35 dias de duração do experimento, apenas o comprimento de parte aérea não apresentou diferença significativa ( $p < 0,05$ ) quando comparada ao solo controle. Houve redução significativa do ganho de biomassa fresca e seca tanto para a raiz quanto para a parte aérea, em relação ao solo controle, indicando que o resíduo lama vermelha em seu estado puro apresenta ecotoxicidade sobre o desenvolvimento da bracinga. Isto indica a necessidade de ações efetivas de recuperação do ambiente onde há disposição deste resíduo a fim de favorecer o reestabelecimento da vegetação arbórea e a restauração do ecossistema. O aspecto das mudas utilizadas neste experimento, podem ser observadas na figura 6.

Figura 6 – Desenvolvimento das mudas de *Mimosa scabrella* aos 20 e 35 dias de duração do experimento com o resíduo da produção de bauxita (Pará).



Legenda: A) Tratamento controle (SAT) aos 20 dias; B) Pará (lama vermelha do processo de extração de bauxita) aos 20 dias; C) Tratamento controle (SAT) aos 35 dias; D) Bauxita (lama vermelha) aos 35 dias.

Fonte: A autora.

Por meio da figura 6 pode-se observar que as plântulas apresentam diferenças visíveis na quantidade de raízes emitidas, tanto aos 20 quanto aos 35 dias de experimento, isso pode ser correlacionado com as variáveis biomassa seca e fresca de raiz (Tabela 4). Observa-se também uma diferença quanto ao comprimento da raiz (cm) para os dois períodos de realização do ensaio, o que foi demonstrado na análise estatística (Tabela 4).

Um ensaio de ecotoxicidade realizado por Bianchi (2013) para testar a influência da lama vermelha (em estado puro e “filtrada” - onde havia a redução de 3% do teor total de sódio) sobre a germinação do milho (*Zea mays*) cultivar AG 1051 e da soja (*Glycine max*) cultivar BRS 239, o resíduo “filtrado” apresentou inibição da germinação de ambas espécies no tratamento com uma dose de 10% e o resíduo em estado puro na mesma concentração (dose 10%), ainda apresentava um elevado grau de germinação para estas espécies; com o aumento das concentrações dos resíduos testados, houve redução significativa de todos as variáveis avaliadas (número de plantas emergentes, crescimento, massa seca e fresca de raiz e parte aérea). A soja (leguminosa) apresentou menor produção de raiz e massa seca, e, para a parte aérea a soja produziu maior massa seca quando comparada ao milho. O comprimento de parte aérea foi menos sensível para a soja do que para o milho. Resultados semelhantes aos encontrados neste estudo, ao compararmos as espécies leguminosas (soja e bracinga).

Outro estudo, realizado por Moreira et al. (2012), avaliando o efeito do resíduo lama vermelha sobre o desenvolvimento das plantas: braquiária (*Brachiaria brizantha* (A. Rich.) Stapf) e feijão (*Phaseolus vulgaris* L.) demonstrou que o feijoeiro apresentou redução significativa (44%) da sua biomassa nos tratamentos que receberam maiores doses do resíduo,

indicando que a espécie leguminosa demonstrou maior sensibilidade, conforme o observado no presente trabalho.

As plantas desempenham papel relevante na estruturação de habitats, pois, estão intimamente relacionadas ao desenvolvimento e manutenção das comunidades microbianas do solo. A redução da vegetação contribui para a diminuição da atividade dos microrganismos e, conseqüentemente, com para a redução da biomassa produzida, pois a microbiota está intimamente relacionada com os ciclos biogeoquímicos, portanto, afetam a disponibilidade de macronutrientes como o N e o P, por exemplo (NIEMEYER et al., 2015).

Além da ecotoxicidade avaliada nos ensaios apresentados, em ambientes contaminados por metais, as restrições das condições físicas do solo e o conseqüente insucesso no reestabelecimento das espécies vegetais resultam na perda da função habitat destas áreas, influenciando negativamente a atividade alimentar da fauna edáfica e os serviços ecológicos por eles prestados que auxiliariam a recuperação da área contaminada (NIEMEYER et al., 2012). Ao realizar um estudo sobre a restauração de áreas de mineração de bauxita na região amazônica, Parrotta et al. (2003), ressaltam os seguintes fatores relevantes: a realização de um preparo adequado do solo (descompactação) e a reposição da sua camada superficial original (banco de sementes), a realização de um estudo prévio que caracterize e identifique as principais espécies vegetais naturais da região afim de que as espécies usadas no reflorestamento mantenham o maior número de interações possíveis entre a fauna e a flora, evidenciando inclusive o enriquecimento florístico ocasionado por dispersão zoocórica, quando há, próximo do local a ser restaurado, áreas com vegetação nativa conservadas. Ressaltam também, que práticas correntes de reflorestamento com espécies nativas a longo prazo podem ser bem-sucedidas para o êxito de restaurar o complexo ecossistema de terra firme da Amazônia.

Espécies vegetais pertencentes à família botânica Fabaceae, como a bracatinga, são consideradas estratégicas quando relacionadas a sustentabilidade ecológica. A associação dos vegetais desta família com bactérias fixadoras de nitrogênio contribui com o incremento de N disponibilizado no sistema solo-planta e incremento de matéria orgânica ao solo (formação de serapilheira), aumentando a cobertura do solo e favorecendo a ciclagem de nutrientes; são fatores que contribuem para que a *M. scabrella*, e demais espécies vegetais desta família, sejam consideradas importantes no processo de recuperação de ambientes degradados (FRANCO; CAMPELLO, 2011).

Desta forma, pode-se inferir a relevância de estudos que busquem associar espécies vegetais, especialmente as arbóreas, em ensaios que visem demonstrar a capacidade de desempenhar a função habitat para que as demais comunidades à elas associadas (microbiota, fauna edáfica, megafauna, por exemplo) se reestabeleçam no local a ser restaurado, a fim de que o ambiente volte a desempenhar sua função ecossistêmica.

## 5 CONCLUSÃO

Os resultados obtidos no presente estudo permitem concluir que a espécie arbórea *M. scabrella* mostrou-se adequada como organismo-teste para realização de ensaio ecotoxicológicos com plantas arbóreas, apresentando alto potencial de germinação em condições laboratoriais e no substrato padrão utilizado (SAT) e em ensaio de crescimento e biomassa conduzido em casa de vegetação.

A utilização do ácido bórico como substância de referência demonstrou ser adequado para a realização de ensaio de ecotoxicidade com esta espécie arbórea, o qual apresentou uma curva dose-resposta para esta substância, sendo a variável mais sensível encontrada neste estudo a biomassa seca da parte aérea. Recomenda-se que o ensaio seja adaptado para ter uma duração de 35 dias.

A bracatinga mostrou-se sensível na avaliação de amostras contaminadas com resíduos de atividades mineradoras, sendo a variável mais sensível a biomassa seca da parte aérea. Os resultados indicaram que esta espécie possui potencial de uso em ensaios de ecotoxicidade para monitorar áreas contaminadas ou para a caracterização ecotoxicológica de resíduos.

## REFERÊNCIAS

ABAL – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DO ALUMÍNIO. **Bauxita no Brasil: mineração responsável e competitividade.** p. 62, abril, 2017. Disponível em: <[http://www.abal.org.br/downloads/ABAL\\_Relatorio\\_Bauxita\\_2017\\_1.pdf](http://www.abal.org.br/downloads/ABAL_Relatorio_Bauxita_2017_1.pdf)> Acesso em: 24 de out. 2018.

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Qualidade do solo – Determinação dos efeitos de poluente na flora terrestre – Parte 2: Efeito de substâncias químicas na emergência e no crescimento de vegetais superiores.** ABNT NBR ISO 11269-2. ABNT: Rio de Janeiro, 2014.

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR ISO 17512-1: Qualidade do solo – Ensaio de fuga para avaliar a qualidade de solos e efeitos de substâncias químicas no comportamento. Parte 1: Ensaio com minhocas (*Eisenia fetida* e *Eisenia andrei*).** Rio de Janeiro, 2011 a.

AMARAL, A. J. R.; LIMA FILHO, C. A. **Mineração.** 2018. Disponível em: <<http://www.dnpm-pe.gov.br/Geologia/Mineracao.php>>. Acesso em: 21 out. 2018.  
AMORIM, M. J. B et al. Boric acid as reference substance: pros cons and standardization. **Ecotoxicology**, v. 21, n. 3, p. 919-924, 2012.

ANEEL, 2008. **Atlas de energia elétrica do Brasil In: Parte III: Fontes não-renováveis, Carvão Mineral.** Agência Nacional de Energia Elétrica. Brasília. 236 p.

ARAÚJO, F. S. et al. **Florística da vegetação arbustivo-arbórea colonizadora de uma área degradada por mineração de caulim, em Brás Pires, MG.** Revista Sociedade de Investigações Florestais, Viçosa, MG. v. 29, n. 6, p. 983-992, ago. 2005.

BARRETO, M. L. **Mineração e desenvolvimento sustentável: desafios para o Brasil.** Rio de Janeiro: CETEM/MCT, 2001. 215p.

BECKER, L. et al. Effects of boric acid on various microbes, plants, and soil invertebrates, **Journal of Soils and Sediments**, v. 11, n° 2, p. 238-248, 2011.

BIANCHI, M. O. **Importância de estudos ecotóxicológicos com invertebrados do solo.** / Miriam de Oliveira Bianchi et al. Seropédica: Embrapa Agrobiologia, 2010. 09-12 p. (Embrapa Agrobiologia. Série Documentos, 266). ISSN: 1980-3075

BIANCHI, M. O. **Ensaio ecotoxicológico como ferramenta para avaliação do impacto ambiental de resíduos de mineração sobre o solo**. 2013. 91 f. Tese (Doutorado) - Curso de Pós-graduação em Agronomia, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, 2013. Cap. 1.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Regras para análise de sementes / Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento**. Secretaria de Defesa Agropecuária. – Brasília: Mapa/ACS, 2009. 346p.

CARPANEZZI, A. A. et al. **Manual técnico da bracatinga** (*Mimosa scabrella*Benth.). 1988, Curitiba: EMBRAPA-URPFCS, 1988. 70 p. (EMBRAPA-URPFCS. Documentos, 20).  
CARVALHO, P. E. R. **Bracatinga**. Curitiba: EMBRAPA-URPFCS, 2002. 13 p. (EMBRAPA-URPFCS. Circular técnica, 59).

CHELINHO, S. et al. Toxicity of phenmedipham and carbendazim to *Enchytraeus crypticus* and *Eisenia andrei* (Oligochaeta) in Mediterranean soils. **Journal Of Soils And Sediments**, [s.l.], v. 14, n. 3, p.584-599, 5 dez. 2013. Springer Nature. <http://dx.doi.org/10.1007/s11368-013-0818-8>.

DNPM – DEPARTAMENTO NACIONAL DE PRODUÇÃO MINERAL. **Sumário Mineral**. Brasília: DNPM, 2016. p.135.

DUTRA, V. F.; MORIM, M. P. *Mimosa scabrella* in **Lista de Espécies da Flora do Brasil**. Jardim Botânico do Rio de Janeiro. Disponível em:  
<<http://floradobrasil.jbrj.gov.br/jabot/floradobrasil/FB100978>>. Acesso em: 21 out. 2018.

ENGEL, V. L. & PARROTA, J. A. **Restauração Ecológica de Ecossistemas Naturais**. In: *Definindo a Restauração Ecológica: Tendências e perspectivas mundiais*. Botucatu: FEPAF, 2003. p. 3-22.

FAHEY, M.; NEWSON, T. A.; FUJIYASU, Y. “Engineering with tailings”, In: **Environmental Geotechnics**, v. 2, Balkema, p. 947-973, Rio de Janeiro, Brasil, 2002.

FARIAS, C. E. G. **Mineração E Meio Ambiente No Brasil**. Outubro, 2002. Disponível em:  
<[http://www.mma.gov.br/estruturas/sqa\\_pnla/\\_arquivos/minera.pdf](http://www.mma.gov.br/estruturas/sqa_pnla/_arquivos/minera.pdf)>. Acesso em 1 de out. 2018.

FERREIRA, G. A. **Absorção de boro e potássio e relação com a atividade da H<sup>+</sup> - ATPase de porta-enxerto de citros**. Dissertação (Gestão de Recursos Agroambientais). 2014, 61 f. Instituto Agrônomo, Campinas, 2014.

FRANCO, A. A.; RESENDE, A. S.; CAMPELLO, E. F. C. **Importância das leguminosas arbóreas na recuperação de áreas degradadas e na sustentabilidade de sistemas agroflorestais.** In: SEMINÁRIO DE SISTEMAS AGROFLORESTAIS E DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL, 1., 2011, Campo Grande: EMBRAPA Gado de Corte, 2011. f. 24.

GARCIA, M. Effects of Pesticides on Soil Fauna: Development of Ecotoxicological Test Methods for Tropical Regions. **Ecology and Development Series.** Hohen Landwirtschaftlichen Fakultät, Universidade de Bonn, 2004. p. 281.

GOMES, A. J. P. et al. **Recursos Minerais e Energéticos: Carvão e Urânio.** In: BIZZI, L. A.; SCHOBENHAUS, C.; VIDOTTI, R. M.; GONÇALVES, J. H. (eds.) *Geologia, Tectônica e Recursos Minerais do Brasil.* Brasília: CPRM, 2003. p. 577- 601.

GOURMELON, A.; AHTIAINEN, J. Developing Test Guidelines on invertebrate development and reproduction for the assessment of chemicals, including potential endocrine active substances—The OECD perspective. **Ecotoxicology**, [s.l.], v. 16, n. 1, p.161-167, 13 jan. 2007. Springer Nature. <http://dx.doi.org/10.1007/s10646-006-0105-1>.

HERRERA-RODRÍGUEZ, María Begona et al. Role of Boron in Vascular Plants and Respose Mechanisms to Boron Stresses. **Global Science Books**, [s.l.], v. 4, n. 2, p.115-122, dez. 2010.

IBRAM – INSTITUTO BRASILEIRO DE MINERAÇÃO. **Relatório Anual de Atividades.** p. 36, junho 2017.

LORENZI, H. **Árvores Brasileiras:** manual de identificação e cultivo de plantas arbóreas do Brasil. 5 ed. Nova Odessa: Instituto Plantarum, 2008. 384 p.

MAGALHÃES, D. P.; FERRÃO-FILHO, A. S. A ecotoxicologia como ferramenta no biomonitoramento de ecossistemas aquáticos. **Oecol. Bras.** Rio de Janeiro, v. 12, n.3, p. 355-381, 2008.

MÁRTIRES, R. A. C. **ALUMÍNIO.** Balanço Mineral Brasileiro, 2001. Disponível em: <<http://www.anm.gov.br/dnpm/paginas/balanco-mineral/arquivos/balanco-mineral-brasileiro-2001>> Acesso em: 12 de out. 2018.

MAZUCHOWSKI, J. Z. **Sistema de produção de Bracatinga (*Mimosa scabrella* Benth.) sob técnicas de manejo silvicultural.** 2012, 218 f. Tese (Doutorado em silvicultura) Universidade Federal do Paraná – UFPR, Curitiba, 2012.

MAZUCHOWSKI, J. Z.; GUEDES, R. S. **Bracatinga, *Mimosa scabrella* Bentham**: cultivo, manejo e usos da espécie. In: *Produção de sementes*. Florianópolis: Epagri, 2014, p. 41-75.

MILANEZ, Bruno. Mineração, ambiente e sociedade: impactos complexos e simplificação da legislação. **Repositório do Conhecimento do Ipea**: Boletim Regional, Urbano e Ambiental, Brasília (df), v. 16, n. 1, p.93-101, jun. 2017. Semestral. Disponível em: <<http://repositorio.ipea.gov.br/handle/11058/7936>>. Acesso em: 10 out. 2018.

MOREIRA, F. J. et al. **Uso do rejeito da produção de alumina como condicionador de solos**. Seropédica: EMBRAPA, 2012. 40 p. (EMBRAPA Agrobiologia, Documentos, 291).  
MME – MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA. **Relatório Técnico 22**: Perfil da Mineração de Bauxita. Set. 2009. p. 40.

NIEMEYER, J.C. et al. Functional and structural parameters to assess the ecological status of a metal contaminated area in the tropics. **Ecotoxicology And Environmental Safety**, [s.l.], v. 86, n. 1, p.188-197, dez. 2012. Mensal. Elsevier BV.  
<http://dx.doi.org/10.1016/j.ecoenv.2012.09.013>.

NIEMEYER, J. C. et al. Boric acid as reference substance for ecotoxicity tests in tropical artificial soil. **Ecotoxicology**, [s.l.], v. 27, n. 4, p.395-401, 28 fev. 2018. Springer Nature.  
<http://dx.doi.org/10.1007/s10646-018-1915-7>.

NIEMEYER, J. C. et al. Ecological Risk Assessment of a Metal-Contaminated Area in the Tropics. Tier II: Detailed Assessment. **Plos One**, [s.l.], v. 10, n. 11, p.1-25, 3 nov. 2015. Public Library of Science (PLoS). <http://dx.doi.org/10.1371/journal.pone.0141772>.

OLIVEIRA FILHO, Luís Carlos Iuñes de. Ecological risk assessment and mesofaunal in mining areas. 2013. 159 f. Tese (Doutorado em Ciência do Solo) - Universidade do Estado de Santa Catarina, Lages, 2013.

PARROTTA, J. A. **Restauração Ecológica de Ecossistemas Naturais**. In: *Restauração Florestal em Áreas de Mineração de Bauxita na Amazônia*. Botucatu: FEPAF, 2003. p. 309-339.

PESSOA, G. A. **Avaliação de projetos de mineração utilizando a teoria das opções reais em tempo discreto – um estudo de caso em mineração de ferro**. 2006. 174 f. Dissertação (Mestrado em Gestão Empresarial) – Fundação Getúlio Vargas. Rio de Janeiro, 2006.

PRINCZ, J. et al. Ecotoxicity of boric acid in standard laboratory tests with plants and soil organisms. **Ecotoxicology**, [s.l.], v. 26, n. 4, p.471-481, 17 mar. 2017. Springer Nature.  
<http://dx.doi.org/10.1007/s10646-017-1789-0>.

REIS, A. & KAGEYAMA, P. Y. **Restauração Ecológica de Ecossistemas Naturais**. In: *Restauração de áreas degradadas utilizando interações interespecíficas*. Botucatu: FEPAF, 2003. p. 93-110.

RÖMBKE, J.; AHTIAINEN, J. The search for the “ideal” soil toxicity test reference substance. **Integrated Environmental Assessment And Management**, [s.l.], v. 3, n. 3, p.464-466, jul. 2007. Wiley. <http://dx.doi.org/10.1002/ieam.5630030320>.

ROTTA, E. & OLIVEIRA, Y. M. M. Área de distribuição natural da bracatinga (*Mimosa scabrella*). In: SEMINÁRIO SOBRE ATUALIDADES E PERSPECTIVAS FLORESTAIS, 4., 1981, Curitiba. **Bracatinga uma alternativa para reflorestamento**: anais. Curitiba: EMBRAPA-URPFCS, 1981. p. 77-90. (EMBRAPA-URPFCS. Documentos, 5).

SEGAT, J. C. et al. **Ecotoxicologia Terrestre: Métodos e aplicações de ensaios com Collembola e Isopoda**. In: *Ecotoxicologia Terrestre*. Florianópolis: UDESC, 2018. p. 11-38.

SILVA, B. V.; GIUSTINA, C. D.; LEAL, A. C. In: SIMPÓSIO NACIONAL DE CIÊNCIA E MEIO AMBIENTE, 8., 2017, Anápolis. **Novas Mudanças da Legislação Mineral e Desafios para Recuperação de Áreas Degradadas pela Mineração**. Anápolis (goiás): Unievangélica, 2017. 14 p. Disponível em: <<http://anais.unievangolica.edu.br/index.php/sncma/article/view/50>>. Acesso em: 01 nov. 2018.

SILVA, D. C. V.; POMPÊO, M. & PAIVA, T. C. B. **A ecotoxicologia no contexto atual no Brasil**. In: *Ecologia de reservatórios e interfaces* [S.l: s.n.], p. 460 , 2015. Disponível em:< [http://bdpi.usp.br/single.php?\\_id=002682344](http://bdpi.usp.br/single.php?_id=002682344)> Acesso em: 29 de março de 2017.

SILVA-FILHO, E. B.; ALVES, M. C. M.; MOTTA, M. da. Lama vermelha da indústria de beneficiamento de alumina: produção, características, disposição e aplicações alternativas. **Revista Matéria**, v. 12, n. 2, p. 322-338, 2007.

SILVA, J. P. S. **Impactos ambientais causados por mineração**. Revista Espaço da Sophia, n. 8, ano 1, nov. 2007.

SILVA, M. L.; ANDRADE, M. C. K. Os Impactos ambientais da atividade mineradora. **Caderno Meio Ambiente e Sustentabilidade**. Curitiba, dezembro, 2017. p. 1-16. Disponível em: <<https://www.uninter.com/cadernosuninter/index.php/meioAmbiente/article/view/541/489>>. Acesso em: 15 de out. 2018.

SISINNO, C. L. S.; OLIVEIRA-FILHO, E. C. **Princípios de Toxicologia Ambiental: conceitos e aplicações**. Rio de Janeiro: Interciência, 2013, 3-15p.

SOARES, P.G.; CASTILHOS, Z.C. Recuperação de áreas degradadas pela mineração no Brasil. In: JORNADA DO PROGRAMA DE CAPACITAÇÃO INTERNA DO CETEM, 04. Rio de Janeiro. Anais. CETEM/MCTI, 2015.

STEENBOCK, W., PASCHOAL FILHO, T. J., SIMINSKI, A., REIS, M. S. *Mimosa scabrella*: Bracatinga. In: CORADIN, L., SIMINSKI, A., REIS, A. **Espécies Nativas da Flora Brasileira de Valor Econômico Atual ou Potencial**: Plantas para o Futuro: Brasília: MMA, 2011.

WIELEWICKI, A. P. et al. Proposta de padrões de germinação e teor de água para sementes de algumas espécies florestais presentes na região sul do Brasil. **Rev. Brasileira de Sementes**, Pelotas, v. 28, n. 3, p. 191-197, dez. 2006. Disponível em: <[http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0101-31222006000300027&lng=en&nrm=iso](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0101-31222006000300027&lng=en&nrm=iso)>. Acesso em 01 nov. 2018. <http://dx.doi.org/10.1590/S0101-31222006000300027>.