

INSTITUTO FEDERAL DE MINAS GERAIS CAMPUS SÃO JOÃO EVANGELISTA
LUCIMEIRI ALVES NASCIMENTO

FITOTOXICIDADE DO MERCÚRIO DURANTE A PROPAGAÇÃO SEXUADA DE
***Sapindus saponaria* L.**

SÃO JOÃO EVANGELISTA

2014

LUCIMEIRI ALVES NASCIMENTO

**FITOTOXICIDADE DO MERCÚRIO DURANTE A PROPAGAÇÃO SEXUADA DE
Sapindus saponaria L**

Monografia apresentada ao Instituto Federal de Minas Gerais – *campus* São João Evangelista como exigência parcial para obtenção do título de Especialista em Meio Ambiente.

Orientador: Me. Bruno Oliveira Lafetá

SÃO JOÃO EVANGELISTA

2014

FICHA CATALOGRÁFICA

Nascimento, Lucimeiri Alves

N224f Fitotoxicidade do mercúrio durante a propagação sexuada de
Sapindus Saponaria L. [manuscrito] / Lucimeiri Alves
Nascimento. – 2014.

31 f. : il.

Orientador: Bruno Oliveira Lafetá

TCC (Pós-Graduação) – Instituto Federal de Educação,
Ciência e Tecnologia de Minas Gerais, Campus São João
Evangelista. Especialização em Meio Ambiente.

1. Fitorremediação. – Monografia. 2. Germinação. –
Monografia. 3. Metais pesados. – Monografia. I. Lafetá,
Bruno Oliveira. II. Instituto Federal de Educação, Ciência e
Tecnologia de Minas Gerais. Campus São João Evangelista.
III. Especialização em Meio Ambiente. IV. Título.

CDU 504

Catálogo: Biblioteca Tarquínio J. B. de Oliveira - IFMG – Campus
Ouro Preto

LUCIMEIRI ALVES NASCIMENTO

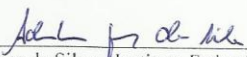
FITOTOXICIDADE DO MERCÚRIO DURANTE A PROPAGAÇÃO SEXUADA DE
Sapindus saponaria L

Monografia apresentado ao Instituto Federal
de Minas Gerais – *campus* São João
Evangelista como exigência parcial para
obtenção do título de Especialista em Meio
Ambiente.

Aprovado em: 24/06/2014

BANCA EXAMINADORA


Prof. Me. Bruno Oliveira Lafetá - Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de
Minas Gerais *Campus* São João Evangelista


Prof. Dr. Aderlan Gomes da Silva - Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de
Minas Gerais *Campus* São João Evangelista


Prof.^a Ma. Ana Carolina Ferraro - Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de
Minas Gerais *Campus* São João Evangelista

AGRADECIMENTOS

A Deus!

Ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Minas Gerais – *campus* São João Evangelista pelo apoio estrutural e logístico para o desenvolvimento do presente trabalho.

A minha família pelo apoio, em especial, meus pais Mariza e Sebastião, que sempre me incentivaram nos estudos.

A meu orientador Bruno Lafetá, que foi fundamental na realização deste trabalho, muito obrigada pela paciência, confiança, incentivo e orientação.

A todos os professores deste Instituto, que foram os grandes responsáveis pelos conhecimentos adquiridos e que me mostraram o quanto estudar é bom.

Aos meus colegas de especialização, pela convivência, pelas dicas, auxílio e amizade.

Aos amigos que conquistei durante a especialização, pelos momentos de descontração e pelas lembranças que sempre ficarão.

A todos aqueles que direta ou indiretamente ajudaram na realização deste trabalho.

Muito obrigada!

Cabe ao homem compreender que o solo fértil, onde tudo que se planta dá, pode secar que o chão que dá frutos e flores pode dar ervas daninhas, que a caça se dispersa e a terra da fartura pode se transformar na terra da penúria e da destruição. O homem precisa entender, que de sua boa convivência com a natureza, depende sua subsistência e que a destruição da natureza é sua própria destruição, pois a sua essência é a natureza, a sua origem e o seu fim. (ELIZABETH JHIN, 2012)

RESUMO

A contaminação do solo por metais pesados é hoje um dos maiores problemas ambientais. A situação é mais preocupante em áreas de mineração e processamento de metais. A identificação e uso de espécies autóctones fitorremediadoras e, ou bioindicadoras, minimiza custos e permitem uma recuperação mais eficiente de solos contaminados. A espécie *Sapindus saponaria* L. é uma espécie arborea nativa utilizada na recuperação de áreas degradadas e arborização urbana. A dormência física causada pela impermeabilidade do tegumento está presente nas sementes desta espécie. Este fenômeno é uma estratégia evolutiva de algumas espécies que distribui a germinação no tempo garantindo sua perpetuação. O objetivo deste trabalho foi avaliar o efeito de diferentes concentrações de HgO e da escarificação mecânica na germinação e desenvolvimento de plântulas da *S. saponaria*. O experimento foi instalado em DIC com quatro repetições de 25 sementes, no esquema fatorial 4 x 2, sendo estudado o efeito de quatro concentrações de HgO em vermiculita e de dois pré-tratamentos. Avaliaram-se atributos relacionados à germinação e desenvolvimento de plântulas. Realizaram-se teste F, análise de regressão e teste *t* pareado, todos a 5,0 % de significância estatística. A escarificação mecânica do tegumento com esmeril elétrico favoreceu a embebição das sementes (100,0 %), germinação (85,25 %) e emissões de raízes secundárias (70,0 %) e de parte aérea (76,25 %). A presença de mercúrio na vermiculita prejudicou o desenvolvimento das plântulas. Conclui-se que a escarificação mecânica do tegumento com esmeril elétrico pode ser indicado para superar a dormência das sementes de *S. saponaria*. Esta espécie pode tolerar pequenas concentrações de HgO (0,0045 g/cm³) sem causar danos a seu crescimento e acúmulo de massa verde.

Palavras-chave: Fitorremediação. Germinação. Metais Pesados.

ABSTRACT

Soil contamination by heavy metals nowadays is one of the biggest environmental problems. The situation is more alarming in areas of mining and processing of metals. The identification and use of native species and phytoremediator or bioindicators, minimizes the costs and enable more efficient remediation of contaminated soils. *Sapindus saponaria* is a native tree species used in the recovery of degraded areas and urban forestry. The physical dormancy caused by impermeabilidade integument is present in the seeds of this species. This phenomenon is an evolutionary strategy for some species that distributes germination time ensuring its perpetuation. The objective of this study was to evaluate the effect of different concentrations of mercuric oxide (HgO) and mechanical scarification on germination and seedling development of *S. saponaria*. The experiment was established in completely randomized design with four repetitions of 25 seeds, in 4 x 2 factorial arrangement, being studied the effect of four concentrations of HgO in vermiculite and two pre-treatments. Were evaluated attributes related to germination and seedling development. Were realized F-test, regression analysis and paired t-test, all of the 5.0 % statistical significance. Mechanical scarification with electric emery favored seed imbibition (100.0%), germination (85.25%) and emissions of secondary roots (70.0%) and shoot (76.25%). The presence of mercury in vermiculite impaired seedling development. It was conclude that mechanical scarification with electric emery can be indicated to overcome seed dormancy of *S. saponaria*. This species can tolerate low concentrations of HgO (0.0045 g/cm³) without causing damage to their growth and accumulation of green mass.

Keywords: Phytoremediation. Germination. Heavy metals.

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	8
2	REVISÃO BIBLIOGRAFICA	10
2.1	CONTAMINAÇÃO DE SOLOS E DA VEGETAÇÃO POR METAIS	10
2.2	MERCÚRIO NO BRASIL	11
2.3	FITORREMEDIAÇÃO	11
2.4	A ESPÉCIE <i>Sapindus saponaria</i>	12
3	METODOLOGIA.....	14
4	RESULTADOS	17
5	DISCUSSÃO.....	21
6	CONCLUSÕES.....	25
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	26

1 INTRODUÇÃO

Atividades antrópicas têm causado aumento da concentração de metais em ambientes particulares a níveis tóxicos (WHITE, BROWN, 2010). A contaminação de solos por metais é um problema ambiental grave, pois podem ser absorvidos pelas plantas e ingressar na cadeia alimentar, colocando em risco a saúde humana. Portanto ações remediadoras são necessárias para reduzir os teores destes elementos a níveis ambientalmente seguros (MELO, NASCIMENTO, SANTOS, 2006).

Rossi (2007) menciona que a descontaminação de solos poluídos com metais pesados pode ser alcançada por várias técnicas que envolvem processos químicos e físicos. Entre estas, a escavação e substituição do solo ou tratamentos químicos são eficazes quando aplicados em pequenas áreas (MULLIGAN, YONG, GIBBES, 2001). Porém são técnicas caras que causam grande impacto visual. Uma alternativa eficiente e simples para a recuperação dessas áreas é a fitorremediação (PIRES et al., 2003). Esta técnica pode remover ou imobilizar metais pesados em solos contaminados através de plantas específicas, trata-se de um método capaz de preservar a atividade biológica e estrutural do solo (CICATELLI et al., 2010).

O cultivo de espécies florestais em solos contaminados pode implicar em reduções da produtividade, seja madeireira ou não. A identificação ou desenvolvimento de genótipos tolerantes são necessários para recuperar a capacidade de resiliência de sítios perturbados. As plantas ideais devem ter o potencial de acumular o metal principalmente na parte aérea, tolerar grande concentração do metal no solo, ser de fácil cultivo e apresentar um rápido crescimento (BOURLEGAT et al., 2007).

As sementes de *Sapindus saponaria* L. (Sapindaceae) apresentam dormência física causada pela impermeabilidade do tegumento à penetração de água, o embrião se encontra totalmente formado, porém não ocorre a embebição (COOK et al., 2008; OLIVEIRA et al., 2012; TURNER et al., 2010). A superação da dormência física pode ser obtida com a escarificação mecânica do tegumento das sementes e temperaturas entre 25 e 35°C podem favorecer a germinação (KLINKEN, FLACK, 2005). Alguns trabalhos demonstraram que a escarificação mecânica com esmeril elétrico tem proporcionado bons resultados na superação deste tipo de dormência (DAPONT et al., 2014; ZANETTI et al., 2012).

Informações sobre a propagação de espécies nativas em ambientes com metais pesados são necessárias para o desenvolvimento de métodos e tecnologias para a remediação

e prevenção de áreas sujeitas à contaminação. Deste modo, o objetivo do presente trabalho foi avaliar o efeito de diferentes concentrações de HgO e da escarificação mecânica na germinação e desenvolvimento de plântulas de *S. saponaria*.

2 REVISÃO BIBLIOGRAFICA

De acordo o artigo 225 da Constituição Federal de 1988 (BRASIL, 1988), um meio ambiente ecologicamente equilibrado é direito de todos os cidadãos brasileiros.

2.1 CONTAMINAÇÃO DE SOLOS E DA VEGETAÇÃO POR METAIS

Durante a Conferência Rio +10, realizada em Johannesburgo em 2002, a mineração foi considerada uma atividade fundamental para o desenvolvimento econômico e social de vários países (FARIAS, 2002). Entretanto, a extração de minerais pode contaminar extensas áreas no entorno de minas ativas, escórias metálicas descartadas de modo inadequado ficam sujeitas à ação de intempéries e seus íons podem ser absorvidos por vegetais (SANTOS, ZAMPIERON, S., ZAMPIERON, J., 2013). Além da mineração, o uso indiscriminado de pesticidas e de fertilizantes constituídos por íons metálicos tem contribuído para contaminações locais em zonas urbanas e proximidades (ARAÚJO, 2010).

O excesso de metais no solo prejudica a regeneração natural e biodiversidade em ecossistemas naturais (PAIM, 2002). Em cultivos agrícolas e florestais, a produtividade pode ser limitada. Metais podem ser incorporados e acumulados nos tecidos de determinadas espécies vegetais e na sequência trófica aos animais, ocorrendo o fenômeno da biomagnificação (REPULA et al., 2012; SALVAGNI, 2013).

O metal pesado pode inibir a respiração e causar danos no sistema fotossintético vegetal (MILNER, KOCHIAN, 2008; VOICU, ZWIAZEK, 2010). A primeira barreira de íons metálicos via simplasto é a membrana plasmática de células da raiz, a toxidade pode afetar a funcionalidade da membrana, estimulando a oxidação lipídica e desequilíbrio iônico no citoplasma (KENDERESOVÁ et al., 2012). Normalmente, plantas terrestres possuem uma capacidade limitada de tolerar solos com excesso de metais pesados, armazenando íons metálicos na parede celular das raízes e vácuolos (MILNER, KOCHIAN, 2008; CONN, GILLIHAM, 2010). A compartimentação do metal dentro das células é fundamental para manter baixa sua concentração no citoplasma (KENDERESOVÁ et al., 2012).

A regulação do influxo e efluxo celular de metal é responsável pela sua translocação para o tecido ou órgão onde será armazenado e, em alguns casos, inativado (KENDERESOVÁ et al., 2012). Segundo Conn e Gilliam (2010), a sensibilidade de plantas

a esses metais pode ser influenciada por fatores moleculares (aminoácidos, ferritinas e ácidos orgânicos) e fisiológicos (respostas a situações de estresse e absorção de metais através da parede celular e, ou, de ligação a exsudatos extracelulares).

2.2 MERCÚRIO NO BRASIL

O mercúrio é líquido à temperatura ambiente e faz parte da classe dos metais de transição, utilizado em diversos setores produtivos como na fabricação de lâmpadas e instrumentos de medidas e catalizador de reações químicas (VILLAMIL, 2012). As principais fontes de emissão de mercúrio são queima de combustíveis fósseis, indústrias de cloro-soda, incineradores de lixo, tintas, pesticidas, fungicidas, baterias, garimpo de ouro, entre outras (CALGAROTO, 2009).

Não se produz mercúrio no Brasil (SOUZA, BARBOSA, 2000). A importação e comercialização deste metal são controladas por meio da portaria do IBAMA nº 32/1995 (IBAMA, 1995). O cadastramento dos responsáveis, pessoas físicas ou jurídicas, por estas atividades devem ser realizadas junto ao IBAMA conforme Decreto nº 97.634/1989 (BRASIL, 1989c). De acordo com o Decreto nº 97.507/1989 (BRASIL, 1989a), é proibido o emprego de mercúrio para a extração de ouro, exceto quando devidamente licenciado pelo órgão ambiental. O Decreto nº 97.632/1989 (BRASIL, 1989b) estabelece para os empreendimentos que se destinam à exploração dos recursos naturais, como o garimpo de ouro, a obrigatoriedade de submissão e apresentação do plano para a recuperação de área degradada ao órgão ambiental competente.

2.3 FITORREMEDIAÇÃO

A fitorremediação é uma técnica que utiliza plantas para remover contaminantes orgânicos e inorgânicos de solos poluídos, baseada na capacidade destas em absorver e acumular metais pesados (PIRES et al., 2003). A fitorremediação apresenta vantagens como a reciclagem de metais e produção de madeira, é uma solução permanente, tem boa aceitação da população, e pode ser aplicada em grandes áreas de solos contaminados (ACCIOLY, SIQUEIRA, 2000). Segundo os mesmos autores esta técnica tem como desvantagens problemas como, ser mais lenta que as outras, pode não atingir 100% de remediação, depende da sazonalidade para crescimento da planta, pode resultar em bioacumulação em animais. As

plantas ideais devem ter o potencial de acumular o metal principalmente na parte aérea, tolerar grande concentração do metal no solo, ser de fácil cultivo e apresentar um rápido crescimento (BOURLEGAT et al., 2007). Após o seu crescimento corta-se a parte aérea da planta e descarta em local apropriado, como os aterros industriais (ANDRADE et al. 2009).

Estudos têm sido realizados para identificar espécies fitorremediadoras e, ou bioindicadoras, para determinados contaminantes (MARMIROLI et al., 2011). Várias espécies evoluíram e se adaptaram a solos metálicos, exemplos podem ser observados nas famílias Asteraceae, Brassicaceae, Caryophyllaceae, Fabaceae, Poaceae, Salicaceae e Violaceae (MARMIROLI et al., 2011; MILNER, KOCHIAN, 2008). Segundo Kenderesová et al. (2012), *Arabidopsis halleri* (L.) O'Kane & Al-Shehbaz e *Arabidopsis arenosa* (L.) Lawalrée, cultivadas *in vitro*, em meio de cultura MS, podem tolerar maiores concentrações de zinco (Zn). *Thlaspi caerulescens* J & C. Prest e *Arabidopsis halleri* podem acumular, principalmente, Zn, cádmio (Cd) e níquel (Ni) (MILNER, KOCHIAN, 2008). Marmioli et al. (2011) investigando espécies do gênero *Salix* e *Populus* observaram que, em ensaios de laboratório, este pode realizar a fitoextração de Cd e aquele, tolerar contaminações por Hg. Concentrações críticas foliares que implicam em toxidez de Hg tendem variar de 0,002 a 0,005 mg/g de matéria seca (WHITE, BROWN, 2010).

2.4 A ESPÉCIE *Sapindus saponaria*

A *Sapindus saponaria* L. (Sapindaceae) é uma espécie rústica, heliófita e nativa do Brasil, de ocorrência natural em florestas pluviais e semidecíduas nos estados de Goiás, Mato Grosso, Minas Gerais e Região Norte (MARTINS, ZUCARELI, COIMBRA, 2011). A espécie é comumente utilizada na arborização de ruas e praças em zonas urbanas e, indispensável para a composição de reflorestamentos heterogêneos destinados à recuperação de áreas degradadas (LORENZI, 2008).

A dormência física é comum nas sementes de *S. saponaria* (OLIVEIRA et al., 2012). Este fenômeno trata-se de uma característica fisioecológica que distribui a germinação ao longo do tempo, permitindo que as sementes originem plântulas em condições ambientais favoráveis para seu estabelecimento e desenvolvimento (ZUCARELI et al., 2010). Embora seja uma estratégia evolutiva para a sobrevivência de determinadas espécies, a dormência é considerada um empecilho para a produção de mudas em larga escala e conservação de materiais genéticos (CORTINES et al., 2010). Nessas condições, recomenda-se sua superação

através de tratamentos pré-germinativos, ou pré-tratamentos. Segundo Fowler e Bianchetti (2000), a escarificação mecânica é um método eficaz para superar a dormência tegumentar. Esta pode ser realizada com o atrito das sementes contra superfícies abrasivas, normalmente, se utiliza de lixa d'água ou esmeril elétrico.

3 METODOLOGIA

Foram selecionadas cinco árvores sadias de *S. saponaria* para a coleta de frutos de arborização urbana próximas a fragmentos de Mata Atlântica em área do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Minas Gerais – *campus* São João Evangelista (IFMG/SJE). O clima da região é temperado chuvoso-mesotérmico e classificado como Cwa pelo sistema de Köppen (com inverno seco e verão chuvoso), a precipitação média anual é de 1400 mm e a temperatura média anual de 21 °C (BRAGA et al., 1999).

A coleta dos frutos foi manual e realizada diretamente na copa das árvores, restringindo-se àqueles de coloração marrom. Posteriormente, foram acondicionados em sacos de papel Kraft e conduzidos ao Laboratório de Sementes do IFMG/SJE para triagem. Nesta foi realizado o beneficiamento manual do material experimental, isolando as sementes dos frutos e eliminando o material que possuía alguma injúria, atrofia ou ataque por insetos a fim de se obter uma melhor qualidade e pureza física dos lotes conforme descrito por Chaves e Usberti (2003).

O teor de umidade das sementes foi determinado pelo método da estufa a 105 ± 3 °C por 24 horas, com quatro repetições de 25 unidades, conforme a RAS (BRASIL, 2009).

As sementes após a triagem foram desinfestadas com hipoclorito de sódio (NaClO), com 2,0 % de cloro ativo, a 5,0 % (v/v) durante três minutos, depois lavadas com água destilada e colocadas para secar durante dez minutos sobre papel toalha. Optou-se pelo NaClO por se tratar de um composto químico contra proliferação bacteriana e fúngica, promovendo aumento de sementes germinadas (NASCIMENTO, FRANCO, FRASSETTO, 2007).

O trabalho foi conduzido em câmara de germinação do tipo *Biochemical Oxygen Demand* (BOD) com fotoperíodo contínuo (24 horas de luz) e temperatura de 31 °C. O delineamento experimental adotado foi o inteiramente casualizado com quatro repetições, no esquema fatorial 4 x 2, sendo estudado o efeito de quatro concentrações de Óxido de Mercúrio II (HgO) no substrato (C1 – 0,000 g/cm³; C2 – 0,025 g/cm³; C3 – 0,050 g/cm³ e C4 – 0,075 g/cm³) e dois pré-tratamentos (P1 – Testemunha: sementes com tegumento intacto e P2 – escarificação mecânica do tegumento em esmeril elétrico: as sementes foram friccionadas em esmeril elétrico com auxílio de um alicate na região oposta ao eixo-embrionário até o desgaste do tegumento, evitando, contudo danificar o embrião). Cada unidade experimental foi constituída por 25 sementes.

Empregou-se como substrato vermiculita expandida superfina distribuída em caixas gerboxes desinfestadas com álcool etílico 70 % (v/v), totalizando 32 unidades. Cada caixa gerbox conteve 200 cm³ de vermiculita.

A semeadura foi feita sobre a superfície do substrato e os recipientes espalhados, casualmente, no interior da BOD. As avaliações foram realizadas diariamente até a contagem final (trigésimo dia), registrando número de sementes embebidas (Emb), germinação (G) (protrusão de radícula superior a 1,0 cm) e emissões de parte aérea (EPA) e de raízes secundárias (ERS). As sementes não embebidas foram consideradas mortas ou dormentes. Calcularam-se os índices de velocidade da embebição (IVEmb) e da germinação (IVG) conforme Maguirre (1962).

$$IV_x = \frac{N_1}{D_1} + \frac{N_2}{D_2} + \dots + \frac{N_n}{D_n} \quad (1)$$

em que:

IV = índice de velocidade;

N_1 = número de sementes com a característica de interesse;

D_1 = número de dias para a 1º contagem.

N_n = número de sementes com característica de interesse na última contagem;

D_n = número de dias para a última contagem.

Após última contagem, tomaram-se das plântulas normais os comprimentos da raiz principal (CR) e da parte aérea (CPA) com um paquímetro digital de precisão 1/10 mm e depois, obtida a relação CPA/CR. A massa verde de cada um desses componentes foi tomada com balança digital de 0,0001 g de precisão. Calculou-se a massa verde total (MVT) pela soma das massas do sistema radicular (MVR) e da parte aérea (MVPA). Consideraram-se como plântula normal as que apresentaram desenvolvimento radicular maior que 1,0 cm (BRASIL, 2009).

Todos os dados expressos em porcentagem (embebição, germinação, emissão de raiz secundara, emissão de parte aérea, índice de velocidade de germinação e embebição) foram transformados em *arc seno* $\sqrt{x/100}$ e o restante (comprimento de parte aérea, comprimento de raiz, massa verde da raiz, massa verde da parte aérea e massa verde total) em $\sqrt{x}$, a fim de atender aos critérios de normalidade segundo Lilliefors e homogeneidade por Cochran (BANZATTO, KRONKA, 2006). Realizaram-se teste F, regressão linear quadrática e teste t

pareado, todos a 5,0 % de significância estatística. Na análise de regressão, foi usado o método dos mínimos quadrados ordinários (MQO) utilizando o software Excel ®.

4 RESULTADOS

O teor de água das sementes de *S. saponaria* foi de $12,72 \pm 6,1431$ %. O efeito estatístico pelo teste F para pré-tratamento foi observado em todas as fontes de variação, exceto aquelas obtidas após contagem final (Tabela 1). Estas apresentaram significância em nível de concentrações, menos o comprimento de parte aérea, cuja média e desvio padrão foram 20,66 e 6,1470 mm, respectivamente. As concentrações de HgO proporcionaram um crescimento diferenciado pelas plântulas da saboneteira. Em geral, os coeficientes de variação foram baixos e evidenciaram a precisão experimental.

Tabela 1 - Resumo da análise de variância, com os dados transformados, dos atributos avaliados até o trigésimo dia, (Emb, G, EPA, ERS, IVEmb, IVG) e após o trigésimo dia (CR, CPA, CPA/CR, MVR, MVPA, MVT) em sementes de *Sapindus saponaria*.

F.V.	Q.M. -----					
	Emb	G	EPA	ERS	IVEmb	IVG
Concentrações (c)	25,89 ^{ns}	24,19 ^{ns}	36,44 ^{ns}	49,12 ^{ns}	0,15 ^{ns}	0,02 ^{ns}
Pré-tratamentos (p)	12504,56*	4823,78*	3068,99*	2047,05*	3,33*	0,89*
c x p	25,89 ^{ns}	75,37 ^{ns}	268,22 ^{ns}	226,78 ^{ns}	0,03 ^{ns}	0,04 ^{ns}
Resíduo	22,14	59,33	268,80	302,78	0,06	0,04
CV exp	6,70	13,72	31,71	36,35	6,67	16,95
	CR	CPA	CPA/CR	MVR	MVPA	MVT
Concentrações (c)	63,63*	0,62 ^{ns}	0,47*	0,04*	0,02*	0,01*
Pré-tratamentos (p)	0,21 ^{ns}	0,08 ^{ns}	0,00 ^{ns}	0,00 ^{ns}	0,01 ^{ns}	0,00 ^{ns}
c x p	0,12 ^{ns}	0,45 ^{ns}	0,01 ^{ns}	0,00 ^{ns}	0,00 ^{ns}	0,00 ^{ns}
Resíduo	0,33	0,25	0,00	0,00	0,00	0,00
CV exp	9,47	11,07	6,96	11,92	23,41	3,10

* ($p \leq 0,05$). ^{ns} ($p > 0,05$). Os graus de liberdade foram 3, 1, 3 e 24 para concentrações, pré-tratamentos, interação e resíduo, respectivamente. Emb = Embebidas. G = Germinação. EPA = Emissão de parte aérea. ERS = Emissão de raízes secundárias. IVEmb = Índice de velocidade da embebição. IVG = Índice de velocidade da germinação. CR = Comprimento da raiz principal. CPA = Comprimento da parte aérea. MVR = Massa verde do sistema radicular. MVPA = Massa verde da parte aérea. MVT = Massa verde total.

A escarificação mecânica do tegumento com esmeril elétrico favoreceu a embebição (100,0 %) das sementes de *S. saponaria*, germinação (85,25 %) e emissões de raízes secundárias (70,0 %) e de parte aérea (76,25 %) na contagem final, além disso, apresentou os maiores valores de IVEmb (15,54) e IVG (2,07) (Tabela 2). Neste tratamento, a embebição das sementes em água iniciou no primeiro dia de contagem, seguida da germinação (quinto dia) e emissões de parte aérea (oitavo dia) e de raízes secundárias (nono dia).

Tabelas 2 - Médias da embebição (%), germinação (%), emissão de raiz secundaria (%), emissão de parte aérea (%), índice de velocidade de embebição e germinação avaliados até o trigésimo dia em sementes de *Sapindus saponaria*.

Tratamentos	EMB	G	ERS	EPA	IVEmb	IVG
	----- % -----					
P1	59,25 b	48,00 b	41,25 b	44,75 b	10,91 b	1,19 b
P2	100,00 a	85,25 a	70,00 a	76,25 a	15,54 a	2,07 a

Médias seguidas pela mesma letra não se diferenciam pelo teste F ($p \leq 0,05$). Emb = Embebidas. G = Germinação. ER = Emissão de raízes. EPA = Emissão de parte aérea. IVEmb = Índice de velocidade da embebição. IVG = Índice de velocidade da germinação. P1 = Testemunha: sementes com tegumento intacto. P2 = Escarificação mecânica com esmeril elétrico.

Todos os parâmetros das equações geradas para estimar os atributos avaliados após contagem final apresentaram significância estatística (Tabela 3). Os coeficientes de determinação ajustados foram elevados (superior a 0,80), exceto para os atributos que envolveram a massa verde. Os valores estimados pelas equações foram semelhantes aos observados conforme teste t ($p = 0,05$).

Tabela 3 - Estatísticas dos ajustes realizados para a estimação dos atributos avaliados após contagem final (30 dias) em plântulas da *S. saponaria* em função de diferentes concentrações de HgO

Atributos	CR	H/DC	MVR	MVPA	MVT
$\bar{R}^2$	0,86	0,82	0,74	0,20	0,20
Erro padrão	14,68	0,14	0,02	0,03	0,10
Teste t (p)	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
β_0	100,8346*	0,2787*	0,1429*	0,0874*	1,5529*
β_1	-3623,5574*	29,2443*	-3,5865*	-1,9624*	-6,4496*
β_2	34850,9204*	-275,3404*	32,9591*	20,2160*	72,7029*

*($p < 0,05$). " $y = \beta_0 + \beta_1 C + \beta_2 C^2$ ", em que "C" é a concentração de HgO em g/cm³ de vermiculita. CR = Comprimento da raiz principal. MVR = Massa verde do sistema radicular. MVPA = Massa verde da parte aérea. MVT = Massa verde total.

A presença de mercúrio na vermiculita prejudicou o desenvolvimento das plântulas de *S. saponaria* (Figuras 1 e 2). Realizando a primeira derivada e igualando a zero as equações geradas, foram obtidos os pontos mínimos de comprimento da raiz principal (10,40 mm) e das massas verdes do sistema radicular (0,05 g), da parte aérea (0,04 g) e total (1,06 g) referentes às concentrações de 0,0520 g/cm³, 0,0544 g/cm³, 0,0485 g/cm³ e 0,0444 g/cm³, respectivamente. O ponto máximo da relação CPA/CR (1,06) foi na concentração de 0,0531 g/cm³ de HgO.



Figura 1 - Fase de embebição da semente até o desenvolvimento de uma plântula da espécie *Sapindus saponaria*. a – embebição; b – germinação (protrusão de radícula); c – emissão de parte aérea; d – emissão de raízes secundárias; e – plântula sadia e; f – plântula com sintomas de fitotoxidez do HgO (parte aérea tenra e raízes escuras e atrofiadas)

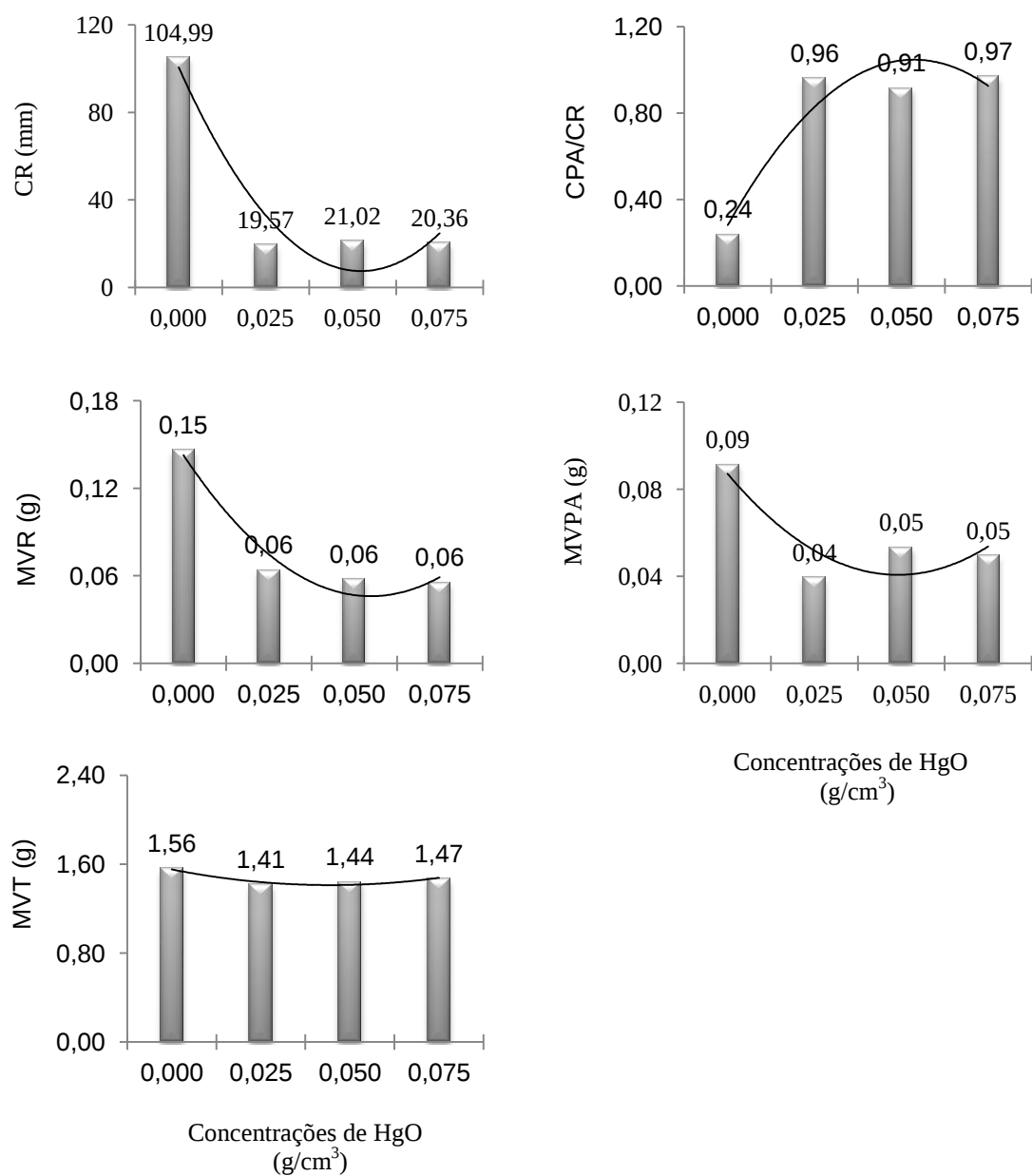


Figura 2 - Representação gráfica dos atributos avaliados, após contagem final (30 dias), em plântulas da *Sapindus saponaria* em função de diferentes concentrações do HgO. CR = Comprimento da raiz principal. MVR = Massa verde do sistema radicular. MVPA = Massa verde da parte aérea. MVT = Massa verde total.

5 DISCUSSÃO

A dormência tegumentar das sementes de *S. saponaria* foi eficientemente quebrada com uso de esmeril elétrico (Tabela 2). Foi necessária a escarificação do tegumento para favorecer a entrada de umidade e trocas gasosas entre o ambiente e o embrião. Esta impermeabilidade pode ter sido resultado de um conjunto de células parenquimáticas dispostas em paliçada e de uma camada de cutícula que protegem o embrião (FREITAS et al., 2013). Corroborando com Albiero, Bacchi e Mourão (2001), que confirmaram a existência de várias camadas no tegumento das sementes de *S. saponaria* que poderiam limitar a absorção de água.

Mais emissões de raízes secundárias e de parte aérea foram observadas ao escarificar o tegumento das sementes com esmeril elétrico. Isto possui grande importância ecológica, pois a semeadura a lanço de *S. saponaria* pode ser viabilizada empregando sementes escarificadas. Salienta-se que o sucesso de um programa de recuperação de áreas degradadas depende da capacidade dos vegetais em se estabelecerem em condições naturais, processo que se inicia com a germinação (RIBEIRO et al., 2012). No sentido prático, o sucesso na superação de uma dormência permite silvicultores melhor definir técnicas de revegetação. Pesquisas já tem sido realizadas sobre o plantio de sementes pré-germinadas visando a recuperação da fertilidade do solo e de florestas degradadas (ARAKI, 2005; CALDEIRA et al., 1997; GIOTTO, MIRANDA, MUNHOZ, 2009).

Considera-se ainda que, técnicas de escarificação mecânica são normalmente recomendadas para pequenos lotes de sementes (SANTOS, MORAIS, MATOS, 2004). No entanto, o emprego do esmeril elétrico pode ser ensejado para maiores lotes, desde que a semente apresente um tamanho que facilite seu manuseio (CRUZ, MARTINS, CARVALHO 2001). Segundo Paoli e Santos (1998), as sementes de *S. saponaria* são aproximadamente esféricas e de coloração negra brilhante, as médias do diâmetro maior e menor são de 10,65 mm e 10,13mm, respectivamente. Estas dimensões poderiam facilitar a operacionalidade do esmeril elétrico, sendo obrigatório o uso de equipamentos para proteção individual para evitar o contato direto da mão do operador com a máquina. Cruz, Martins e Carvalho (2001) observaram um rendimento razoável de mão de obra (1200 sementes em uma hora) ao escarificar sementes de *Hymenaea intermedia* Ducke com o esmeril.

Os índices de velocidade da embebição e da germinação foram influenciados pelos pré-tratamentos. A escarificação mecânica do tegumento com esmeril elétrico apresentou

mais sementes embebidas e germinadas durante as primeiras contagens (Tabelas 1 e 2). Maior vigor fisiológico, avaliado através do IVG (LOPES, BARBOSA, CAPUCHO, 2007), foi demonstrado pelas sementes escarificadas. A dormência pode ter atrasado o início da embebição das sementes no tratamento testemunha, gerando desuniformidade da germinação. Logo, a superação da dormência é fundamental para a propagação, conservação e produção de mudas da *S. saponaria*.

A presença do mercúrio na vermiculita não afetou a embebição e germinação das sementes da espécie em estudo (Tabela 2). Durante a embebição, que desencadeia o processo germinativo e posterior emergência de plântulas, as sementes absorvem umidade (ADEGAS, VOLL, PRETE, 2003; OLIVEIRA et al., 2012). Entretanto, a absorção do HgO pela semente pode ter sido limitada em virtude da baixa solubilidade em água (de 0,052 g/L à 25 °C), propiciando seu acúmulo no fundo das caixas gerboxes face a alta densidade (de 11,1 g/cm³ à 20°C) (SILVA, MACHADO, 2008). Consequentemente, solos contaminados por HgO podem, ainda, manter bancos de sementes viáveis. Neste caso, recomenda-se o resgate das mesmas o mais breve possível.

Todavia, o desenvolvimento das plântulas após a germinação foi significativamente influenciado pelo HgO na vermiculita, reduzindo o comprimento da raiz principal e massas verdes do sistema radicular, de parte aérea e total do material vegetal (Figura 2). Concentrações mais elevadas de mercúrio podem inibir reações metabólicas essenciais para o crescimento vegetal (VOICU, ZWIAZEK, TYREE, 2008).

O primeiro sintoma visível foi o escurecimento e atrofia das raízes à medida que concentrou o HgO (Figura 1f), o que poderia reduzir a absorção de água e de nutrientes pela plântula. O mercúrio pode causar estresse hídrico no vegetal, reagindo com sulfidrilas livres dentro da proteína de canal para a água, ou aquaporinas, diminuindo sua permeabilidade osmótica em células da raiz do vegetal (MAGGIO, JOLY, 1995; VOICU, ZWIAZEK, TYREE, 2008). Segundo Boening (2000), o mercúrio pode se acumular nas raízes e limitar a absorção e o transporte de nutrientes nas plantas. Soares et al. (2005) estudando a fitotoxidez de cádmio (Cd) para mudas de *Eucalyptus maculata* Hook e *Eucalyptus urophylla* S.T. Blake em solução nutritiva, observaram que os teores de P, Ca e Mg na parte aérea das plantas foram influenciados pelo aumento das doses do metal pesado. Segundo Pinto et al. (2009), concentrações crescentes de zinco (ZnSO₄·7H₂O) em plantas jovens de *E. urophylla* cultivadas na ausência de Si, também, em solução nutritiva, podem reduzir linearmente a eficiência de utilização do P, K, Ca, Mg e S.

Também, observou-se amarelecimento das folhas nos tratamentos em que o HgO foi misturado à vermiculita. O estresse fisiológico de origem hídrica induz a biossíntese do etileno em vegetais (TAIZ, ZEIGER, 2006), o que justificaria a clorose foliar observada (GOREN, SIEGEL, 1976; BRACKMANN et al., 2003). No entanto, o comprimento de parte aérea não foi influenciado pelas concentrações de HgO na vermiculita, esse tecido não teve contato direto com o mercúrio. Verificou-se fototropismo positivo nas plântulas de *S. saponaria*, que cresceram em direção à luz a fim de manter o equilíbrio fotossintético. Isto se deve, provavelmente, a um transporte de água alternativo às aquaporinas sensíveis ao Hg^{2+} . Segundo Voicu e Zwiazek (2010), o bloqueio desses canais sugere a utilização de uma rota apoplástica para o transporte de água em folhas de *Populus tremuloides* Michx. Pondera-se ainda, que essa rota é influenciada pelo número e atividade das aquaporinas (NEUMANN, 2008).

No entanto, a massa verde da parte aérea decresceu com a concentração do HgO, resultando em caules tenros (Figura 1f). O crescimento em espessura (crescimento secundário) no caule e nas raízes de espécies lenhosas é regulado pela atividade do meristema lateral, atuando na formação de tecidos de revestimento e de sistemas vasculares secundários (GLÓRIA, GUERREIRO, 2006). Deste modo, o crescimento secundário em plântulas da *S. saponaria* pode ter sido limitado pelo bloqueio das aquaporinas com o mercúrio, dando origem a caules pouco vigorosos. Outra hipótese que deve ser considerada é a de que o mercúrio possa ter sido adsorvido pela lignina e danificado sua molécula. Este composto fenólico confere rigidez e estabilidade à parede celular vegetal e na madeira, forma uma estrutura resistente à compressão, impacto e dobra (SANCHEZ et al., 2010). Porém, a lignina possui a capacidade de adsorver íons metálicos como o Hg^{2+} , Pb^{2+} , Cu^{2+} e Cd^{2+} (LV, 2012; MARTINS et al., 2008; RENGIFO, JIMÉNEZ, MARÍN, 2013).

A relação entre os comprimentos de parte aérea e de raiz aumentou com as concentrações de HgO, valores próximos à proporção de 1:1. Segundo Fernandes (2006), o maior crescimento do sistema radicular determina o potencial de absorção de água e nutrientes do solo. Assim, os tratamentos que apresentaram menor desenvolvimento de raízes pode ter limitado o acúmulo de massa verde na parte aérea do vegetal, o que prejudicaria a obtenção de mudas de qualidade.

Assumindo como referencial mínimo aceitável de comprimento da raiz principal a relação da média (104,99 cm) com o limite inferior de uma unidade do desvio-padrão (-19,8643 cm) do tratamento C1, ou seja, de 85,12 cm, concentrações de HgO inferiores a

0,0045 g/cm³ podem ser toleráveis pelas plântulas de *S. saponaria*. Os mínimos toleráveis aproximados para as massas verdes do sistema radicular, de parte aérea e total foram de 0,0099 g/cm³, 0,0147 g/cm³ e 0,0443 g/cm³, respectivamente. Dentre essas massas verdes, a primeira foi a mais sensível às crescentes concentrações de HgO. Deste modo, plântulas de *S. saponaria*, obtidas do lote de sementes avaliado, podem tolerar baixas concentrações de HgO (0,0045 g/cm³) sem causar danos ao crescimento e massa verde vegetal.

Mais estudos são necessários para melhor compreensão dos mecanismos que envolvem a absorção, desintoxicação e armazenamento de metais pesados por plantas, pois podem ser utilizados para o desenvolvimento de materiais genéticos adequados para fitorremediação (MILNER, KOCHIAN, 2008). Métodos biotecnológicos a fim de aumentar a tolerância de plantas a metais são recomendados, um exemplo é o uso da engenharia genética para alterar a seletividade de determinadas proteínas que podem transportar íons tóxicos sem causar distúrbios à homeostase iônica (CONN, GILLIHAM, 2010). Especula-se que o reforço de vasos condutores como o xilema possa ser uma etapa fundamental para a acumulação, facilitando o transporte do metal pesado para a parte aérea vegetal, onde mecanismos de tolerância tendem operar de forma mais eficiente (MILNER, KOCHIAN, 2008).

Os resultados apresentados sugerem que a *S. saponaria* é pouco tolerante ao HgO, porém a espécie pode ser utilizada como bioindicadora da qualidade ambiental. As equações geradas podem ser empregadas como ferramenta de apoio para avaliar o desenvolvimento vegetal em função de concentrações de metal pesado no ambiente. Deste modo, o presente trabalho fornece informações importantes para futuras pesquisas que busquem espécies nativas tolerantes a metais pesados ou que possam ser úteis no monitoramento da resiliência de sítios florestais contaminados por esses metais.

6 CONCLUSÕES

A escarificação mecânica do tegumento com esmeril elétrico pode ser indicada para superar a dormência das sementes de *S. saponaria*.

A germinação de sementes da *S. saponaria* não foi influenciada pela presença de mercúrio no substrato vermiculita.

S. saponaria pode tolerar pequenas concentrações de HgO ($0,0045 \text{ g/cm}^3$ de vermiculita) sem causar danos ao seu crescimento e acúmulo de massa verde, podendo ser utilizada como bioindicadora da qualidade ambiental em sítios sujeitos à contaminação por mercúrio.

Sintomas de fitotoxicidade do HgO em plântulas de *S. saponaria* observados foram, formação de raízes escuras e atrofiadas, caules tenros e folhas amareladas.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ACCIOLY, A. M. A.; SIQUEIRA, J. O. Contaminação química e biorremediação do solo. In: NOVAIS, R. F.; ALVAREZ V.; V. H.; SCHAEFER, C. E. G. R. **Tópicos em ciência do solo**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2000. v. 1. p. 299-352.
- ARAÚJO, J. B.S. dos. Identificação de fontes poluidoras de metais pesados nos solos da bacia hidrográfica do rio Apodi-Mossoró/RN, na área urbana de Mossoró-RN. **Revista verde**, v.5, n.2, p. 80 – 94, 2010.
- ADEGAS, F. S.; VOLL, E.; PRETE, C. E. C. Embebição e germinação de sementes de picão-preto (*Bidens pilosa*). **Planta Daninha**, v. 21, n. 1, p. 21-25, 2003.
- ALBIERO, A. L. M.; BACCHI, E. M.; MOURÃO, K. S. M. Caracterização anatômica das folhas, frutos e sementes de *Sapindus saponaria* L. (Sapindaceae). **Acta Scientiarum**, v. 23, n. 2, p. 549-560, 2001.
- ANDRADE, M. G.; MELO, V. F. de; GABARDO, J.; SOUZA, L. C. P. de; REISSMANN, C. B. Metais pesados em solos de áreas de mineração e metalurgia de chumbo. I _ Fitoextração. **R. Bras. Ci. Solo**, 33 p. 1879-1888, 2009.
- ARAKI, D. F. **Avaliação da semeadura a lanço de espécies florestais nativas para recuperação e áreas degradadas**. 2005. 151f. Dissertação (Mestrado em Ecologia de Agroecossistemas) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba-SP, 2005.
- BANZATTO, D. A.; KRONKA, S. N. **Experimentação agrícola**. ed. 4 Jaboticabal: Funep, 2006, 237p.
- BOENING, D. W. Ecological effects, transport, and fate of Mercury: a general review. **Chemosphere**, v. 40, p. 1335-1351, 2000.
- BOURLEGAT, J.,M.,G.; ROSSI, S., C.; CHINO, C.,E.; SCHIAVINATO, M.A.;LAGÔA, A.M.M.A. Tolerância de *Leucaena leucocephala* (Lam.) de Wit.ao Metal Pesado Chumbo. **Revista Brasileira de Biociências**, Porto Alegre, v. 5, n. 2, p. 1017-1019, jul. 2007
- BRACKMANN, A. TREVISAN, J. N.; MARTINS, G. A. K.; FREITAS, S. T.; MELLO, A. M. Etileno, 1-metilciclopropeno e qualidade de repolho cv. Wakaba armazenado em ambiente refrigerado. **Revista Brasileira de Agrociência**, v. 9, n. 4, p. 403-405, 2003.
- BRAGA, F. A.; BARROS, N. F.; SOUZA, A. L.; COSTA, L. M. Características ambientais determinantes da capacidade produtiva de sítios cultivados com eucalipto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 23, n.2 p.291-298, 1999.
- BRASIL. Decreto nº 97.507 de 13 de fevereiro de 1989. Dispõe sobre licenciamento de atividade mineral, o uso do mercúrio metálico e do cianeto em áreas de extração de ouro, e dá outras providências.

_____. Decreto nº 97.634 de 10 de abril de 1989. Dispõe sobre o controle da produção e da comercialização de substância que comporta risco para a vida, a qualidade de vida e o meio ambiente, e dá outras providências.

_____. Decreto nº 97.632 de 10 de abril de 1989. Dispõe sobre a regulamentação do Artigo 2º, inciso VIII, da Lei nº 6.938, de 31 de agosto de 1981, e dá outras providências.

BRASIL. **Regras para análise de sementes**. Ministério de Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Secretaria Nacional de Defesa Agropecuária, Brasília, DF: Mapa/ACS, 2009, 395p.

BRASIL. Constituição da República Federativa do Brasil de 1988. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/Constituicao/Constituicao.htm>. Acesso em: 14 de maio 2014.

CALDEIRA, M. V. W.; SILVA, E. M. R.; FRANCO, A. A.; ZANON, M. L. B. Crescimento de leguminosas arbóreas em respostas a inoculação com fungos micorrízicos arbusculares. **Ciência Florestal**, v. 7, n. 1, p. 1-10, 1997.

CALGAROTO, N. S. **Efeitos fisiológicos do mercúrio em plantas de *Pfaffia glomerata* (Spreng.) Pedersen**. Dissertação (Mestrado em agronomia) Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2009.

CHAVES, M. M. F.; USBERTI, R. Previsão da longevidade de sementes de faveiro (*Dimorphandra mollis* Benth.). **Revista Brasileira de Botânica**, v. 26, n. 4, p. 557-564, 2003.

CICATELLI, A.; TODESCHINI, V.; BIONDI, S.; TORRIGIANI, P.; CASTIGLIONE, S. Arbuscular mycorrhizal fungi restore normal growth in a white poplar clone grown on heavy metal-contaminated soil, and this is associated with upregulation of foliar metallothionein and polyamine biosynthetic gene expression. **Annals of Botany**, v. 106, p. 791-802, 2010.

CONN, S.; GILLIHAM, M. Comparative physiology of elemental distributions in plants. **Annals of Botany**, v. 105, p. 1081-1102, 2010.

COOK, A.; TURNER, S. R.; BASKIN, J. M.; BASKIN, C. C.; STEADMAN, K. J.; DIXON, K. W. Occurrence of physical dormancy in seeds of Australian Sapindaceae: a survey of 14 species in nine genera. **Annals of Botany**, v. 101, p. 1349-1362, 2008.

CORTINES, E.; BIANQUINI, L. A.; DIAS, A. H. S. de; OLIVEIRA JUNIOR, J. Q. de BREIER, T. B. Superação de Dormência em Sementes da Liana *Abrus precatorius* L. **Floresta e Ambiente**, v.17, n. 2 p. 98-103, 2010.

CRUZ, E. D.; MARTINS, F. O.; CARVALHO, J. E. U. Biometria de frutos e sementes e germinação de jatobá-curuba (*Hymenaea intermedia* Ducke, Leguminosae – Caesalpinioideae). **Revista Brasileira de Botânica**, v. 24, n. 2, p. 161-165, 2001.

DAPONT, E. L.; SILVA, J. B. da; OLIVEIRA, J. D. de; CHARLINE ZARATIN ALVES, C. Z.; DUTRA, A. Métodos para acelerar e uniformizar a emergência de plântulas de *Schizolobium amazonicum*. **Revista Ciência Agronômica**, v. 45, n. 3, p. 598-605, 2014.

FARIAS, C.E.G. Mineração e Meio Ambiente no Brasil. Relatório Preparado para o CGEE 2002.

FERNANDES, M. S. (ed.). **Nutrição Mineral de Plantas**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1 ed., 2006, 432p.

FOWLER, J. A. P.; BIANCHETTI, A. **Dormência em sementes florestais**. Colombo: Embrapa Florestas, comunicado técnico 40. 2000. 27p.

FREITAS, A. R.; LOPES, J. C.; MATHEUS, M. T.; MENGARDA, L. H. G.; VENANCIO, L. P.; CALDEIRA, M. V. W. Superação da dormência de sementes de jatobá. **Pesquisa Florestal Brasileira**, v. 33, n. 73, p. 85-90, 2013.

GIOTTO, A. C.; MIRANDA, F. S.; MUNHOZ, C. V. R. Aspectos da germinação e crescimento de mudas de *Magonia pubescens* A. St. Hill. **Cerne**, v. 15, n. 1, p. 49-57, 2009.

GLÓRIA, A. da; GUERREIRO, C. **Anatomia Vegetal**, Viçosa: Editora UFV. 2 ed., 2006, 438p.

GOREN, R.; SIEGEL, S. M. Mercury-induced ethylene formation and abscission in *Citrus* and *Coleus* explantes. **Plant Physiology**, v. 57, p. 628-631, 1976.

IBAMA. Regime Jurídico do Mercúrio no Brasil. Disponível em: <http://www.zeromercury.org/phocadownload/Whats_on_in_the_regions/MERCURY_LEGAL_FRAMEWORK_BRAZIL_2011_.pdf>. Acesso em: 14 de maio de 2014.

KENDERESOVÁ, L.; STANOVÁ, A.; PAVLOVKIN, J., DURISOVÁ, E.; NADUBINSKÁ, M.; CIAMPOROVÁ, M.; OVECKA, M. Early Zn²⁺-induced effects on membrane potential account for primary heavy metal susceptibility in tolerant and sensitive *Arabidopsis* species. **Annals of Botany**, v. 110, p. 445-459, 2012.

KLINKEN, V. R. D; FLACK, L. Wet heat as a mechanism for dormancy release and germination of seeds with physical dormancy. **Weed Science**, v. 53, p. 663–669, 2005.

LOPES, J. C.; BARBOSA, L. G.; CAPUCHO, M. T. Germinação de sementes de *Bauhinia* spp. **Floresta**, v. 37, n. 2, p. 265-274, 2007.

LORENZI, H. **Árvores brasileiras**: manual de identificação e cultivo de plantas arbóreas nativas do Brasil. 5.ed. Nova Odessa: Instituto Plantarum, 2008. v.1. 368p.

LV, J.; LUO, L.; ZHANG, J.; CHRISTIE, P.; ZHANG, S. Adsorption of mercury on lignin: Combined surface complexation modeling and X-ray absorption spectroscopy studies. **Environmental Pollution**, 162, p. 255-261, 2012.

MAGGIO, A.; JOLY, R. J. Effects of mercuric chloride on the hydraulic conductivity of tomato root systems. **Plant Physiology**, v. 109, p. 331-335, 1995.

MAGUIRRE, J. D. Speed of germination aid in selection and evaluation for seedling and vigour. **Crop Science**, v. 2, n. 2, p. 176-177, 1962.

MARMIROLI, M.; PIETRINI, F.; MAESTRI, E.; ZACCHINI, M.; MARMIROLI, N.; MASSACI, A. Growth, physiological and molecular traits in Salicaceae trees investigated for phytoremediation of heavy metals and organics. **Tree Physiology**, v. 31, p. 1319-1334, 2011.

MARTINS, C. C.; ZUCARELI, C.; COIMBRA, R. A. Procedimentos de colheita dos frutos na qualidade fisiológica de sementes de *Sapindus saponaria* Mart. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 32, n. 1, p. 1825-1830, 2011.

MARTINS, G. F.; PEREIRA, A. A.; STRACÇALANO, B. A.; ANTUNES, P. A.; PASQUINI, D.; CURVELO, A. A. S.; FERREIRA, M.; RIUL JR. A.; CONSTATINO, C. J. L. **Sensors and Actuators B**, v. 129, p. 525-530, 2008.

MELO, E.E.C.; NASCIMENTO, C.W.A.; SANTOS, A.C.Q. Solubilidade, fracionamento e fitoextração de metais pesados após aplicação de agentes quelantes. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 30, p. 1051-1060, 2006.

MILNER, M. J.; KOCHIAN, L. V. Investigating heavy-metal hiperaccumulation using *Thlaspi caerulescens* as a model system. **Annals of Botany**, v. 101, p. 3-13, 2008.

MULLIGAN, C.N.; YONG, R.N. & GIBBS, B.F. Remediation technologies for metal-contaminated soils and groundwater: An evaluation. **Eng. Geol.**, 60:193-207, 2001.

NASCIMENTO, P. K. V.; FRANCO, E. T. H.; FRASSETTO, E. G. Desinfestação e germinação *in vitro* de sementes de *Parapiptadenia rígida* Benth (Brenam). **Revista Brasileira de Biociências**, v. 5, n. 2, p. 141-143, 2007.

NEUMANN, P. M. Coping mechanisms for crop plants in drought-prone environments. **Annals of Botany**, v. 101, p. 901-907, 2008.

OLIVEIRA, L. M.; BRUNO, R. L. A.; SILVA, K. R. G.; SILVA, V. D. M.; FERRARI, C. S.; SILVA, G. Z. Germinação e vigor de sementes de *Sapindus saponaria* L. submetidas a tratamentos pré-germinativos, temperaturas e substratos. **Ciência Rural**, v. 42, n. 4, p. 638-644, 2012.

PAIM, L. A. Contaminação do solo por metais pesados: silício e fósforo como agentes amenizadores. UFLA. Lavras. 2002. 67 p.

PAOLI, A. S.; SANTOS, M. R. O. Caracterização morfológica de frutos, sementes e plântulas de *Sapindus saponaria* L. (Sapindaceae). **Revista Brasileira de Sementes**, v. 20, n. 2, p. 147-153, 1998.

PINTO, S. I. C.; RAMOS, S. J.; ARAUJO, J. L.; FAQUIN, V.; NOVAIS, C. B.; SILVA, K.; FURTINI NETO, A. E. Silício como amenizador da fitotoxicidade de zinco em plantas jovens de *Eucalyptus urophylla* cultivadas em solução nutritiva. **Revista Árvore**, v. 33, n. 6, p. 1005-1014, 2009.

PIRES, F.R.; SOUZA, C.M.; SILVA, A.A.; PROCÓPIO, S.O.; FERREIRA, L.R. Fitorremediação de solos contaminados com herbicidas. **Revista Planta Daninha**, v.21, n.2, p.335-341, 2003.

RENGIFO, V. E. G.; JIMÉNEZ, J. A. V.; MARÍN, G. C. Q. Lignina como adsorvente de metais pesados. **Revista Investigaciones Aplicadas**, v. 7, n. 2, p. 74-85, 2013.

REPULA, C. M. M.; CAMPOS, B. K. DE; GANZAROLLI, E. M.; LOPES M. C.; QUINÁIA, S. P. Biomonitoramento de Cr e Pb em peixes de água doce. **Química Nova**, v. 35, n. 5, p. 905-909, 2012.

RIBEIRO, E. S.; OLIVEIRA, D. P.; SOUZA, R. S.; PASA, M. C.; SOUZA, R. A. T. M. Efeito da temperatura na germinação de sementes de *Enterolobium contortisiliquum* (Vell.) Morong – (Mimosoidae) e *Guazuma ulmifolia* – (Sterculiaceae). **Biodiversidade**, v. 11, n. 1, p. 23-30, 2012.

ROSSI, S. C. **Fisiologia de leguminosas com potencial fitoextrator para o metal pesado cádmio**. Dissertação Instituto Agrônomo, Curso de Pós Graduação em Agricultura Tropical e Subtropical, Campinas, SP 2007.

SALVAGNI, T. **Metais não essenciais em tecido de *Puffinus puffinus* e *Puffinus graves* (Aves procellariiformes) no litoral norte e médio leste do Rio Grande do Sul, Brasil**. Dissertação Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Instituto de Biogêneses, Imbé, RS 2013

SANCHEZ, E. M. S.; CAVANI, C. S.; LEAL, C. V.; SANCHEZ, C. G. Compósito de resina de poliéster insaturado com bagaço de cana-de-açúcar: influência do tratamento das fibras nas propriedades. **Polímeros**, v. 20, n. 3, p. 194-200, 2010.

SANTOS, T. O.; MORAIS, T. G. O.; MATOS, V. P. Escarificação mecânica em sementes de chicha (*Sterculia foetida* L.). **Revista Árvore**, v. 28, n. 1, p. 1-6, 2004.

SANTOS, T. J.; ZAMPIERON, S. L. M.; ZAMPIERON, J. V. Biomonitoramento do chumbo, via espectroscopia por energia dispersiva, em plantas medicinais. **Revista Agrogeoambiental**, v. 5, n. 1, p. 27-36, 2013.

SILVA, R. R.; MACHADO, P. F. L. Experimentação no ensino médio de química: a necessária busca da consciência ético-ambiental no uso e descarte de produtos químicos – um estudo de caso. **Ciência & Educação**, v. 14, n. 2, p. 233-249, 2008.

SOARES, C. R. F. S.; SIQUEIRA, J. O.; CARVALHO, J. G.; MOREIRA, F. M. S. Fitotoxidez de cádmio para *Eucalyptus maculata* e *E. urophylla* em solução nutritiva. **Revista Árvore**, v. 29, n. 2, p. 175-183, 2005.

SOUZA, J.R.; BARBOSA, A.C. Contaminação por mercúrio e o caso da Amazônia. **Química Nova na Escola**, v. 12, p. 3-7, 2000.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia Vegetal**. Porto Alegre: Artmed, 3 ed., 2006, 719p.

TURNER, S. R.; COOK, A.; BASKIN, J. M.; BASKIN, C. C.; TUCKETT, R. E.; STEADMAN, K. J.; DIXON, K. W. Identification and characterization of the water gap in the physically dormant seed of *Dodonaea petiolaris*: a first report for Sapindaceae. **Annals of Botany**, v. 104, p. 833-844, 2009

VILLAMIL, M. R. **Desarrollo de un dispositivo basado en la desorción térmica para la identificación de especies de Mercurio**. Dissertação Universidade de Oviedo, departamento de Química Física y analítica, Oviedo, 2012.

VOICU, N. C.; ZWIAZEK, J. J. Inhibitor studies of leaf lamina hydraulic conductance in trembling aspen (*Populus tremuloides* Michx.) leaves. **Tree Physiology**, v. 30, p. 193-204, 2010.

VOICU, M. C.; ZWIAZEK, J. J.; TYREE, M. Light response of hydraulic conductance in bur oak (*Quercus macrocarpa*) leaves. **Tree Physiology**, v. 28, p. 1007-1015, 2008.

WHITE, P. J.; BROWN, P. H. Plant nutrition for sustainable development and global health. **Annals of Botany**, v. 105, p. 1073-1080, 2010.

ZANETTI, E. G. B.; SOUSA, I. C. G. de; DIAS, D. D.; LIMA, M. P. M.; AMORIM, E. C. da; LÁZARI, T. M. de. Avaliação da quebra de dormência em sementes de jatobá e tamboril através de métodos químicos e físicos. In: Congresso Norte Nordeste de Pesquisa e Inovação, 7., 2012, Palmas

ZUCARELI, V.; AMARO, A.C. E.; SILVÉRIO, E.V.; FERREIRA, G. Métodos de superação da dormência e temperatura na germinação de sementes de *Dioclea violácea*. **Revista Ciências Agrárias**, v. 31, n. 1, p. 1305-1312, 2010.