



**MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DA AMAZÔNIA
INSTITUTO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS FLORESTAIS**

ANDRESSA PINHEIRO DE PAIVA

**SELÊNIO COMO ATENUADOR DO EFEITO DO CROMO SOBRE A
GERMINAÇÃO, CRESCIMENTO E METABOLISMO DO CARBONO E
NITROGÊNIO EM PLÂNTULAS DE *Schizolobium parayba* var. *amazonicum*
Huber ex Ducke**

**BELÉM-PA
2021**

ANDRESSA PINHEIRO DE PAIVA

**SELÊNIO COMO ATENUADOR DO EFEITO DO CROMO SOBRE A
GERMINAÇÃO, CRESCIMENTO E METABOLISMO DO CARBONO E
NITROGÊNIO EM PLÂNTULAS DE *Schizolobium parayba* var. *amazonicum*
Huber ex Ducke**

Dissertação apresentada à Universidade Federal Rural da
Amazônia, como parte das exigências do Programa de
Pós-Graduação em Ciências Florestais, para obtenção de
título de Mestre.

Área de concentração: Ecologia e Ecofisiologia de
Árvores.

Orientador: Dr. Cândido Ferreira de Oliveira Neto

Co-orientador: Dr. Glauco André dos Santos Nogueira

**BELÉM-PA
2021**

ANDRESSA PINHEIRO DE PAIVA

**SELÊNIO COMO ATENUADOR DO EFEITO DO CROMO SOBRE A
GERMINAÇÃO, CRESCIMENTO E METABOLISMO DO CARBONO E
NITROGÊNIO EM PLÂNTULAS DE *Schizolobium parayba* var. *amazonicum*
Huber ex Ducke**

Dissertação apresentada à Universidade Federal Rural da Amazônia, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Ciências Florestais, para obtenção do título de Mestre. Área de concentração: Ecologia e Ecofisiologia de Árvores.

Data da Aprovação

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Cândido Ferreira de Oliveira Neto – Orientador
Universidade Federal Rural da Amazônia

Profa. Dra. Joze Melisa Nunes de Freitas - 1º Examinador
Universidade Federal Rural da Amazônia (UFRA)

Dr. Eniel David Cruz - 2º Examinador
Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA)

Dra. Luma Castro de Souza - 3º Examinador
PMCP

Á Deus

A minha família, em especial para minha mãe Socorro Paiva

DEDICO E OFEREÇO

AGRADECIMENTOS INSTITUCIONAIS

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), pelo apoio a pesquisa através da concessão de bolsa nos primeiros meses do Curso de Pós-graduação em Ciências Florestais, da Universidade Federal Rural da Amazônia - UFRA.

A Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pelo apoio a pesquisa através da concessão de bolsa do Curso Pós-graduação em Ciências Florestais, da Universidade Federal Rural da Amazônia - UFRA.

AGRADECIMENTOS

A **Deus, em primeiro lugar**, por permitir realizar meus sonhos e me mostrar que tudo vale a pena, por me dar coragem, força e determinação em momentos difíceis. E por colocar pessoas de bom coração no meu caminho.

A minha família, em especial as mulheres da minha vida (mães) **Socorro Pinheiro de Paiva, Raimunda de Assunção Pinheiro e Maria Verônica de Moraes Pantoja** e ao meu pai **Deusdeth Antônio Corrêa Pantoja**, pelos exemplos de honestidade, dignidade, respeito, humildade, sempre íntegros, que tomo como exemplo para minha vida.

A **Universidade Federal Rural da Amazônia (UFRA)**, pela possibilidade de realizar o Mestrado No Programa de Pós-Graduação em Ciências Florestais.

Ao meu orientador **Cândido Ferreira de Oliveira Neto**, pela aceitação e oportunidade que tive ao ingressar no mestrado, por todo o apoio a essa pesquisa, sempre sanando as necessidades. Pelos ensinamentos, orientação, compreensão e amizade. Por oportunidades de me tornar uma profissional melhor. Serei eternamente grata a tudo que o senhor fez por mim.

Ao meu coorientador **Dr. Glauco André dos Santos Nogueira**, pela amizade e comprometimento neste trabalho. Um profissional extremamente competente e humano.

Ao **Dr. Eniel Davi Cruz**, por ter me acolhido e ter ajudado a conduzir essa pesquisa. Serei eternamente grata por isso.

Aos meus companheiros de equipe **Alexandra Carolina, Beatriz Guerreiro, Jair Silva e Valter Saldanha**, nunca mediram esforços para me ajudar em tudo que fosse necessário. Muito obrigado por tudo.

Aos meus amados parceiros de trabalho do **Laboratório de Estudos da Biodiversidade em Plantas Superiores (EBPS)**, pelo apoio a essa pesquisa, por sempre estenderam as mãos nos momentos mais difíceis, pelo carinho e acolhimento. Sem a ajuda de vocês em vários momentos, a pesquisa não seria concretizada.

Ao meu querido **Marcos Vinicius Prestes Pinto**, pelo companheirismo e amizade, por ter estado sempre ao meu lado, pelos conselhos sábios em momentos difíceis. Muito obrigada!

À EMBRAPA pelo apoio a essa pesquisa.

À **todos** que de alguma forma contribuíram para a realização dessa pesquisa.

Meus sinceros agradecimentos!

“Não reclame se a terra não é boa ou que o clima não é favorável. Não lhe cabe julgar a terra ou tempo, sua missão é semear.”

- Vade Bernaski

“Tenha em mente que tudo que você aprende na escola é trabalho de muitas gerações. Receba essa herança, honre-a, acrescente a ela e, um dia, fielmente, deposite-a nas mãos de seus filhos”.

- Albert Einstein

RESUMO GERAL

O paricá (*S. parayba* var. *amazonicum* Huber ex Ducke) é indicado para plantações e sistemas agroflorestais, com potencial na recuperação de áreas degradadas por apresentarem rápido crescimento e capacidade de produção e de dispersão de sementes. A contaminação ambiental por metais pesados, tem sido associada, especialmente, a intensa atividade industrial e agrícola que a longo prazo podem se tornar irreversíveis, e o cromo (Cr) é um metal com diversas formas químicas poluentes com graves implicações para o meio ambiente e a saúde humana. Recentemente, vários estudos mostraram que, em plantas, o selênio (Se) exibiu efeitos protetores contra outros metais pesados. O objetivo da pesquisa foi avaliar o efeito do selênio (Se) na germinação, crescimento e metabolismo bioquímico em plântulas de paricá submetidas a doses de cromo (Cr). O experimento contou com tratamentos das concentrações de Cr: 0, 80, 160, 240 μM e de Se: 0, 5, 10, 15 μM . O delineamento experimental empregado foi o inteiramente casualizado, fatorial de 4x4 com quatro repetições e as sementes de paricá foram fornecidas pela Embrapa. O teste de normalidade utilizado foi de Shapiro-Wilk e para o teste de homogeneidade foi utilizado o de Levene, ambos a ($p \leq 0,05$) submetidos à análise de variância (ANOVA) acompanhada por teste de Tukey ($P < 0,05$). As concentrações de Cr e Se não afetaram as variáveis germinativas das sementes, com exceção da porcentagem de germinação, com melhor resposta na dose de Se 15 μM ($83,50 \pm 1,87$ %). O aumento das concentrações de Se 5 μM , 10 μM e 15 μM tiveram efeito negativo no comprimento da raiz e massa seca da raiz. Entretanto, o Cr e Se afetaram, de forma positiva, no crescimento em altura das plântulas de paricá, com melhor resposta nas doses de Cr 160 μM e Se 15 μM ($24,5 \pm 0,3$ cm.) No metabolismo bioquímico, o Cr e Se afetaram a produção dos solutos orgânicos como glicina-betaína, prolina, aminoácidos solúveis totais, proteínas solúveis totais e sacarose, em geral, as concentrações Se 5 e 10 μM , obtiveram melhores resultados como possível atenuador ao estresse por Cr. Contudo, o Se não promoveu respostas satisfatórias como atenuador de estresse pelo Cr.

Palavras-chaves: metais pesados, sementes, paricá

GENERAL ABSTRACT

Paricá (*S. parayba* var. *Amazonicum* Huber ex Ducke) is indicated for plantations and agroforestry systems, with the potential to recover degraded areas due to their rapid growth and production and seed dispersal capacity. Environmental contamination by heavy metals has been associated, in particular, with intense industrial and agricultural activity that in the long term may become irreversible, and chromium (Cr) is a metal with several polluting chemical forms with serious implications for the environment and human health. Recently, several studies have shown that, in plants, selenium (Se) exhibited protective effects against other heavy metals. The objective of the research was to evaluate the effect of selenium (Se) on germination, growth and biochemical metabolism in seedlings of paricá submitted to doses of chromium (Cr). The experiment had treatments of the concentrations of Cr: 0, 80, 160, 240 μM and Se: 0, 5, 10, 15 μM . The experimental design used was a completely randomized, factorial 4x4 with four replications and the seeds of paricá were supplied by Embrapa. The normality test used was the Shapiro-Wilk test and for the homogeneity test the Levene test was used, both at ($p \leq 0.05$) submitted to analysis of variance (ANOVA) accompanied by Tukey test ($P < 0.05$). The concentrations of Cr and Se did not affect the germinative variables of the seeds, with the exception of the percentage of germination, with better response in the dose of Se 15 μM ($83.50 \pm 1.87\%$.) The increase in the concentrations of Se 5 μM , 10 μM and 15 μM had a negative effect on root length and root dry matter. However, Cr and Se were positively affected by growth in height of paricá seedlings, with better response in the doses of Cr 160 μM and Se 15 μM (24.5 ± 0.3 cm.) In biochemical metabolism, Cr and Se affected the production of organic solutes such as glycine-betaine, proline, total soluble amino acids, total soluble proteins and sucrose, in general, the concentrations of 5 and 10 μM , obtained better results as a possible stress attenuator by Cr. However, Se did not provide satisfactory responses as a stress reliever for Cr.

Keywords: heavy metals, seeds, paricá

SUMÁRIO

RESUMO GERAL	8
LISTA DE FIGURAS	11
LISTA DE TABELAS	12
1. ASPECTOS GERAIS DA PESQUISA	13
1.1 Contextualização	13
1.2 Referências bibliográficas	16
2. REVISÃO DE LITERATURA	18
2.1 O paricá (<i>Schizolobium parayba</i> var. <i>amazonicum</i> Huber ex Ducke)	18
2.1.1 Características da semente de paricá (<i>Schizolobium parayba</i> var. <i>amazonicum</i> Huber ex Ducke)	19
2.2 Metais pesados no meio ambiente	20
2.3 Cromo	22
2.4 Cromo no solo	23
2.5 Cromo na planta	25
2.6 Selênio e o efeito como atenuador de estresse por metais	26
2.8 Referências bibliográficas	29
3. HIPÓTESES E OBJETIVOS DA PESQUISA	36
3.1 Hipóteses	36
3.2 Objetivos	36
3.2.1 Geral	36
3.2.2 Específicos	36
4. CAPÍTULO I	37
4.1 Introdução	39
4.2 Material e métodos	40
4.2.1 Local do experimento e sementes utilizadas	40
4.2.2 Unidades experimentais, tratamentos e delineamento experimental	41
4.2.3 Instalação e condução do experimento	42
4.2.4 Avaliação dos parâmetros estudados	44
4.2.4 Análise estatística	47
4.3 Resultados e discussão	47
4.4 Conclusão	59
4.5 Referências bibliográficas	60

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Fontes de contaminação por metais pesados no meio ambiente. As setas laranjas indicam a entrada dos metais pesados no meio ambiente através das atividades antrópicas.	21
Figura 2. Ciclo do cromo no ambiente.	24
Figura 3. Experimento em condução na EMBRAPA.	41
Figura 4. Triagem das sementes de paricá.	42
Figura 5. Processo de escarificação mecânica e embebição em água destilada das sementes de paricá.	43
Figura 6. Disposição das sementes de paricá em cada vaso.	43
Figura 7. Retirada no 12º dia de experimento no Laboratório de Estudos da Biodiversidade em Plantas Superiores (EBPS).	44
Figura 8. Emergência de plântulas de paricá no 5º dias após a semeadura.	45

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Propriedades do elemento cromo (Cr).....	23
Tabela 2. Análise de variância (ANOVA) das variáveis germinativas das sementes de paricá, submetidas a concentrações de CrCl_3 e NaSeO_4	47
Tabela 3. Porcentagem de germinação das sementes de paricá, submetidas a concentrações de Se (0, 5, 10, 15 μM).	48
Tabela 4. Análise de variância (ANOVA) das variáveis de crescimento das plântulas de paricá, submetidas a concentrações de CrCl_3 e NaSeO_4	49
Tabela 5. Comprimento da raiz (CR) e massa seca da raiz (MSR) das plântulas de paricá, submetidas a doses de Se (0, 5, 10, 15 μM).	50
Tabela 6. Comprimento da parte aérea (CPA) de plântulas de paricá (<i>Schizolobium parauba</i> var. <i>amazonicum</i>) submetidas a concentrações de CrCl_3 e NaSeO_4	51
Tabela 7. Análise de variância (ANOVA) das variáveis de bioquímica das plântulas de paricá, submetidas a concentrações de CrCl_3 e NaSeO_4	52
Tabela 8. Atividades das variáveis bioquímicas nas plântulas de paricá (<i>Schizolobium parayba</i> var. <i>amazonicum</i>) submetidas a concentrações de CrCl_3 e NaSeO_4	55

1. ASPECTOS GERAIS DA PESQUISA

1.1 Contextualização

Sendo uma espécie nativa da região, o paricá (*Schizolobium parayba* var. *amazonicum* Huber ex Ducke) é bastante utilizado na recuperação de áreas degradadas por mineração, pastagem, desmatamento, entre outras, pela sua alta plasticidade de adaptação edafoclimática dos mais diversos sítios, uso generalizado de sua madeira, bem como por ser uma alternativa regional, para suprir a demanda de matéria-prima florestal como também para recomposição de áreas alteradas por atividades antrópicas (CORDEIRO et al., 2015).

A poluição ambiental causada por metais pesados, nos últimos anos, vem aumentando devido ao aumento da industrialização e de outras atividades antrópicas (HANDA et al., 2018), em que a natureza não biodegradável desses metais é o principal motivo que leva à sua presença prolongada no meio ambiente (GAUR et al., 2014).

Devido a sua capacidade de bioacumulação nos níveis tróficos e sua permanência no solo, constituindo fator de contaminação (SILVA et al., 2019). Ao passar do tempo os metais entram na cadeia alimentar, acumulando-se no corpo humano, podendo causar muitos efeitos na saúde que podem ser irreversíveis na natureza (SINGH et al., 2013).

Setores industriais tais como produção de ligas resistentes à corrosão, mineração, cromagem eletrolítica, adição de cromo (Cr) a tijolos refratários, produção de óleos lubrificantes, curtimento de couro, e produção de pigmentos de Cr, são algumas das fontes de exposição e contaminação. Porém, a contaminação por Cr não é apenas um problema aos limites industriais ou aos que trabalham diretamente com os compostos, mas é também um problema ambiental, por ser acumulativo nos organismos vivos e em toda a cadeia alimentar (MARQUES, 2015).

O Cr é um elemento encontrado naturalmente na superfície terrestre, notadamente nas formas trivalente e hexavalente, e torna-se disponível na solução do solo pela intemperização do material de origem, ou seja, a rocha (BERILLI et al., 2016) ou por processos antropogênicos como a utilização de lodo de curtume na agricultura e deposições das indústrias siderúrgicas, decorrentes de galvanoplastia, sendo este metal o

segundo maior contaminante em água e solos decorrentes da atividade industrial (SINGH et al., 2013).

Adição de cromo (Cr) a tijolos refratários, produção de óleos lubrificantes, curtimento de couro, e produção de pigmentos de Cr, são algumas das fontes de exposição e contaminação, porém a contaminação por Cr não é apenas um problema aos limites industriais e/ou aos que trabalham diretamente com os compostos, mas é também um problema ambiental, por ser acumulativo nos organismos vivos e em toda a cadeia alimentar (MARQUES, 2015).

Na natureza, existe em vários estados de oxidação do Cr, variando de Cr ($^{-II}$) a Cr ($^{+VI}$). Destes, Cr (III) e Cr (VI) são as formas mais estáveis que são facilmente incorporadas pelas plantas (HANDA et al., 2018).

O método de revegetação dessas áreas apresenta vantagens devido a sua natureza permanente, combinada aos baixos custos de manutenção, a proteção contra a erosão eólica e hídrica, maior estruturação dos solos, aumento da fertilidade e melhoria da estética de áreas degradadas através da melhoria da qualidade visual da paisagem (AGNELLO et al., 2015).

A fitorremediação está entre as principais metodologias atualmente disponíveis para a remediação de solos contaminados e consiste no uso de plantas para remover, imobilizar ou tornar inofensivos ao ecossistema, contaminantes orgânicos e inorgânicos presentes no solo e na água (SILVA et al., 2019), além de contribuir na melhoria das características físicas, químicas e biológicas destas áreas (MAGALHÃES et al., 2011).

Estudos envolvendo espécies florestais para a fitorremediação de metais pesados são escassos. Algumas espécies lenhosas demonstraram ser sensíveis para tolerar o Cr, *Coffea canephora P.* (BERILLI et al., 2016), *Anadenanthera macrocarpa* (SILVA et al., 2016) e *Eucalyptus urograndis* (CIPRIANI, 2008).

Mediante a essa sensibilidade, vem se buscando alternativas para solucionar os problemas com os metais pesados no crescimento de plantas, sendo esta, o uso de elementos benéficos, que quando utilizados em concentrações baixas podem aliviar os efeitos danosos destes elementos (AFONSO et al., 2016).

O papel do selênio (Se) contra os efeitos prejudiciais de vários estresses bióticos e abióticos em plantas também atraiu interesse (HANDA et al., 2018). Em plantas, o Se em baixas concentrações, em média 10 μM , tem sido frequentemente relatado como benéfico em seu crescimento e desenvolvimento (MALIK et al., 2011; HAWRYLAK-NOWAK, 2013).

Existe pouca informação a respeito do conteúdo de Selênio (Se) em solos brasileiros (REIS et al., 2014). Segundo Malavolta (2006), sua essencialidade para plantas superiores foi constatada, passando da categoria de tóxico para essencial, assim como o níquel. Além disso, o Se pode aumentar o crescimento e melhorar o estado nutricional das plantas (RIOS et al., 2010). Nas pesquisas, vêm sendo evidenciado que o Se tem papel importante na desintoxicação e no estresse oxidativo induzido pelo Cr nas plantas (IQBAL et al., 2015).

Na região amazônica, poucos trabalhos têm sido desenvolvidos na área de fisiologia vegetal, afim de determinar espécies florestais promissoras para mitigação de problemas com contaminação por metais desta forma.

Considerando os aspectos abordados, foram elaborada as seguintes questões: (1) os processos germinativos, crescimento e metabolismo de plântulas de *S. parayba* var. *amazonicum* é alterado pelas doses de Cr e Se? (2) O Se consegue atenuar a toxicidade do Cr em plântulas de *S. parayba* var. *amazonicum* ?

1.2 Referências bibliográficas

AFONSO, M. V.; PEREIRA, A. S.; DORNELES, A. O. S.; BERNARDY, K.; ROSSATO, L. V.; TABALDI, L. A. Efeitos do selênio e do silício na produção de biomassa em plantas de *pfaffia glomerata* expostas ao cádmio. Universidade Regional UNIJUÍ. **Relatório técnico-científico**. In: XXI Jornada de Pesquisa, p. 5, 2016.

AGNELLO A.C.; BAGARD M.; VAN HULLEBUSCH, E.D.; ESPOSITO, G.; HUGUENOT, D. Comparative bioremediation of heavy metals and petroleum hydrocarbons co-contaminated soil by natural attenuation, phytoremediation, bioaugmentation and bioaugmentation-assisted phytoremediation. **Revista Science of The Total Environment**, v. 1, p. 693-703, 2015.

BERILLI, S. S.; ALAN ALVINO FALCÃO ZOOCA, A. A. F.; REMBINSKI, J.; SALLA, P. H. H.; JONAS DIAS DE ALMEIDA, D.; MARTINELLI, L. Influência do acúmulo de cromo nos índices de compostos secundários em mudas de café conilon. **Revista Coffee Science**, Lavras, v. 11, n. 4, p. 512 - 520, 2016.

CIPRIANI, H. N. Crescimento e acúmulo de cromo em mudas de *Eucalyptus urograndis*. **Monografia** (Departamento de Ciências Florestais), Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2008.

CORDEIRO, I.M.C.C.; BARROS, P.L.C.; LAMEIRA, O.A.; FILHO, A.B.G. Avaliação de plantios de paricá (*Schizolobium parahyba* var. *amazonicum* (Huber ex Ducke) Barneby) de diferentes idades e sistemas de cultivo no município de Aurora do Pará - PA (Brasil). **Revista Ciência Florestal**, v. 25, n. 3, p. 679-687, 2015.

GAUR, N.; FLORA, G.; YADAV, M.; TIWARI, A. A review with recent advancements on bioremediation-based abolition of heavy metals. **Revista Environ. Sci.: Processes Impacts**, v. 16, p. 180–193, 2014.

HANDA, N.; KOHLI, S.K.; SHARMA, A.; THUKRAL, A. K.; BHARDWAJ,R.; ALYEMENI, M.N.; WIJAYA, L.; AHMAD, P. Selenium ameliorates chromium toxicity through modifications in pigment system, antioxidative capacity, osmotic system, and metal chelators in *Brassica juncea* seedlings. **Revista South African Journal of Botany**, v. 119, p. 1–10, 2018.

HAWRYLAK-NOWAK B. Comparative effects of selenite and selenate on growth and selenium accumulation in lettuce plants under hydroponic conditions. **Revista Plant Growth Regul**, v. 70, p. 149–157, 2013.

IQBAL, M. et al. Selenium and sulfur influence ethylene formation and alleviate cadmium induced oxidative stress by improving proline and glutathione production in wheat. **Journal of Plant Physiology**, v.173, n.4, p.9–18, 2015.

MAGALHÃES, MA. O. L.; SOBRINHO, N. M. B. A.; MAZUR, N. Uso de resíduos industriais na remediação de solo contaminado com cádmio e zinco. **Revista Ciência Florestal**, v. 21, n. 21, p. 219-227, 2011.

MALAVOLTA, E. Selênio. In: **Manual de nutrição mineral de plantas**. Edição Agrônômica Ceres, 2006, p 396- 401.

MALIK, J.A.; KUMAR, S.; THAKUR, P.; SHARMA, S.; KAUR, N.; KAUR, R.; PATHANIA, D.; BHANDHARI, K.; KAUSHAL, N.; SINGH, K.; SRIVASTAVA, A.; NAYYAR, H. Promotion of growth in Mungbean (*Phaseolus aureus* Roxb.) by selenium is associated with stimulation of carbohydrate metabolism. **Revista Biological Trace Element Research** V. 143, p. 530–539, 2011.

MARQUES, E. A. **Determinação do valor de prevenção para cromo em solos do estado de minas gerais**. Dissertação (Mestrado Profissional em Solos e sua Interface com o Meio Ambiente) – Universidade Federal de Lavras, Lavras – MG, 94p., 2015.

REIS, A. R.; JUNIOR, E. F.; MORAES, M. F.; MELO, S. P. Biofortificação agronômica com selênio no brasil como estratégia para aumentar a qualidade dos produtos agrícolas. **Brazilian Journal of Biosystems Engineering**, v. 8, n. 2, p. 128-138, 2014.

RIOS, J.J.; BLASCO, B.; ROSALES, M.A.; SANCHEZ-RODRIGUES, E.; LEYVA, R.; CERVILLA, L.M.; ROMERO, L.; RUIZ, J.M. Response of nitrogen metabolism in lettuce plants subjected to different doses and forms of selenium. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v. 90, p.1914-1919, 2010.

SILVA, D. M.; ARAUJO, A. S. F.; ARAUJO, F. F. Crescimento e fitoextração em espécies em espécies florestais após adição de lodo de curtume no substrato. **Revista Scientia Forestalis**., Piracicaba, v. 44, n. 112, p. 1019-1028, 2016.

SILVA, T. J.; HANSTED, F.; TONELLO, P. S.; GOVEIA, D. Fitorremediação de Solos Contaminados com Metais: Panorama Atual e Perspectivas de uso de Espécies Florestais. **Revista Virtual de Química**, v. 11, n. 1, p. 18-34, 2019.

SINGH, H.P., MAHAJAN, P., KAUR, S., BATISH, D.R., KOHLI, R.K. Chromium toxicity and tolerance in plants. **Revista Environmental Chemistry Letters**, v. 11, p. 229–254, 2013.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1 O paricá (*Schizolobium parayba* var. *amazonicum* Huber ex Ducke)

Schizolobium parayba var. *amazonicum* Huber ex Ducke, (paricá) é uma espécie arbórea madeireira nativa da Amazônia e de rápido crescimento, possui alta produtividade e uso diversificado na laminação, produção de papel e celulose, compensado, caixotaria, etc., além de possuir grande importância ecológica (AMATA, 2009).

As árvores de *S. parayba* var. *amazonicum* da família Leguminosae caesalpinoideae são pioneiras, formando copa ampla e umbeliforme; atingem 15-40 m de altura e 0,50-1,00 m de diâmetro do tronco reto e cilíndrico, e apresentam regeneração abundante após a exploração madeireira das florestas tropicais (LOCATELLI et al., 2007).

As árvores são indicadas para plantações e sistemas agroflorestais, com potencial na reabilitação de áreas degradadas por apresentarem rápido crescimento e capacidade de produção e de dispersão de sementes, sendo importantes na sucessão secundária da floresta tropical úmida (TEREZO e SZÜCS, 2010). O lenho das árvores de *S. parayba* var. *amazonicum* é caracterizado por apresentar cerne e alborno indistintos, baixa densidade (0,30 g/cm³ densidade básica média), textura média a grosseira, grã direita a irregular e anéis de crescimento distintos (TOMAZELLO FILHO et al., 2004, MARCATI et al., 2008; LOBÃO et al., 2011).

Sua produtividade pode alcançar de 25 a 30m³/ha/ano e no final do seu ciclo, de 4-7 anos, produz fuste com diâmetros de 10 a 40 cm (MARQUES et al., 2006). A área plantada com paricá no Brasil tem conquistado cada vez mais destaque entre as espécies reflorestadas, devido seus grandes incrementos em altura e diâmetro em poucos anos (ALMEIDA et al., 2013).

As árvores são indicadas para plantações e sistemas agroflorestais, com potencial na reabilitação de áreas degradadas por apresentarem rápido crescimento e capacidade de produção e de dispersão de sementes, sendo importantes na sucessão secundária da floresta tropical úmida (TEREZO e SZÜCS, 2010).

Sua madeira é de fácil trabalhabilidade, apresentando bom acabamento; é utilizada na fabricação de laminados, compensados, forros, miolo de painéis e de portas, formas de concreto, palitos de fósforo, salto de calçados, brinquedos, maquetes, embalagens leves, canoas, etc. (MALLQUE e KIKATA, 1994; LIMA et al., 2003; TEREZO e SZÜCS, 2010).

2.1.1 Características da semente de paricá (*Schizolobium parayba* var. *amazonicum* Huber ex Ducke)

Os reflorestamentos com paricá são realizados através de mudas produzidas em viveiros e semeadura direta (ALVINO, 2006). No entanto, as sementes desta espécie apresentam dormência tegumentar, sendo necessária sua quebra de dormência (SILVA NETO et al., 2007). A dormência de sementes também deve ser vista como mecanismo que impede a germinação das sementes em condições inadequadas para o seu desenvolvimento (FENNER, 1993).

As sementes de paricá apresentam características ortodoxas no armazenamento, o que permite desidratá-las a valores muito reduzidos de água, entre 5 e 7%, e assim, diminuir seu metabolismo ao ponto de permanecerem viáveis por longos períodos (WIELEWICKI et al., 2006), no entanto, a dormência tegumentar dificulta tanto a absorção quanto a eliminação de água das sementes para o ambiente, sendo este fator um entrave para a determinação do teor de água presente no interior das sementes (ARAÚJO et al., 2016).

Embora a existência de tegumento impermeável seja uma característica indesejável do ponto de vista de manejo, fazendo com que as sementes apresentem resistência à germinação, a mesma também é reconhecida por proteger a semente das flutuações de temperatura, umidade e da incidência de microrganismos (MOHAMED-YASSEEN et al., 1994).

Estudos feitos por Dapont et al. (2014) sobre a emergência e germinação de paricá, a permeabilidade do tegumento em sua maioria não favorece a hidratação da semente, nem a germinação, não permitindo a formação de mudas homogêneas e em períodos distintos.

A caracterização física da semente acometidas por dormência física e tegumentar são capazes de impedir ou dificultar a entrada de água, fazendo com que a semente

apresente um longo período para emissão da radícula (AVELINO et al., 2012). Contudo, para acelerar e uniformizar a germinação dessas sementes são usados vários métodos, a exemplo da escarificação mecânica, imersão em água quente e imersão em ácido sulfúrico por tempo variável (AZEREDO et al., 2007).

A partir da classificação das sementes e frutos por tamanho pode-se uniformizar a emergência de plântulas, obtendo mudas com tamanhos semelhantes ou com maior vigor (CARVALHO e NAKAGAWA, 2012), o tamanho é considerado uma das características com maior grau de variabilidade em um lote de sementes, definido pelo comprimento, largura e espessura (SILVA, 2015).

A semente de paricá é achatada, ovalada, de coloração parda a marrom, revestida por um tegumento extremamente duro (BRAGA et al., 2013). A espécie apresenta germinação epigea fanerocotiledonar, de acordo com a classificação de DUKE e POLHILL (1981).

As sementes de *S. parayba* var. *amazonicum* (Huber ex Ducke) apresentaram média de 22,48 mm de comprimento, 14,27 mm de largura, 4,06 mm de espessura e 1,13 g de massa (BRAGA et al., 2013). Esses resultados são semelhantes os obtidos por Rosa (2006), para o comprimento (22 mm), e superiores para a largura (12,8 mm), espessura (3,8 mm) e massa (0,81 g).

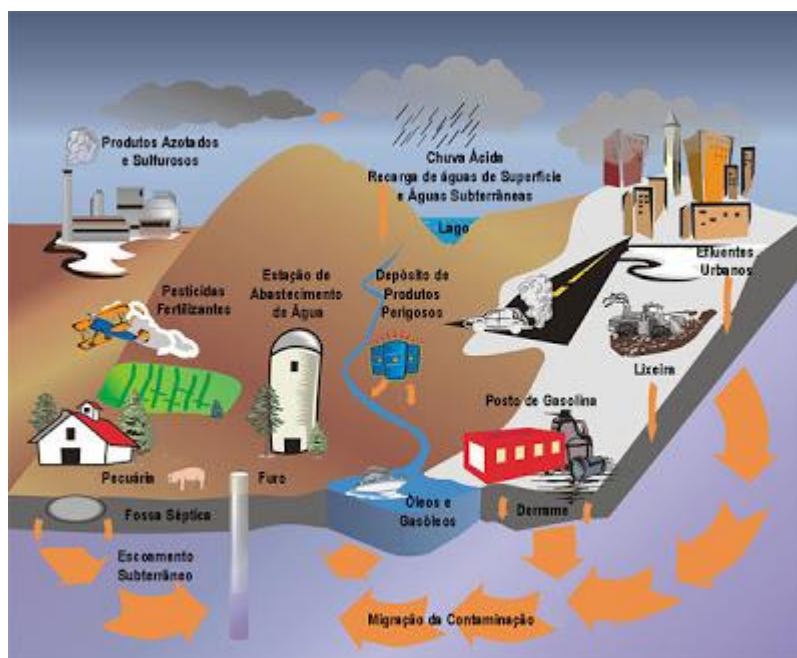
2.2 Metais pesados no meio ambiente

Os metais pesados são constituintes naturais da crosta terrestre, mas as atividades antrópicas alteraram drasticamente seus ciclos geoquímicos e seu equilíbrio bioquímico (ISMAIL et al., 2013). A contaminação ambiental por metais pesados, tem sido associada, especialmente, a intensa atividade industrial e agrícola (figura 1) que a longo prazo podem ser tornar irreversíveis (BHARGAVA, et al. 2012)

Alguns metais pesados como arsênico (As), chumbo (Pb), cádmio (Cd), cromo (Cr), zinco (Zn), manganês (Mn), cobre (Cu), mercúrio (Hg) e níquel (Ni) são de grande preocupação para plantas, solo, meio ambiente e saúde humana, sendo esses poluentes persistentes e altamente tóxicos na natureza, o solo contaminado com esse tipo de metal

apresenta problemas ambientais que afetam as plantas, os animais e a saúde humana (NASCIMENTO e XING, 2006; ADREES et al., 2015).

Figura 1. Fontes de contaminação por metais pesados no meio ambiente. As setas laranjas indicam a entrada dos metais pesados no meio ambiente através das atividades antrópicas.



Fonte: Santiago, 2010.

As plantas, quando submetidas a ambientes contaminados por metais pesados, apresentam uma série de distúrbios fisiológicos como danos oxidativos, nos pigmentos fotossintéticos e nutricionais por promover a competição pelo sítio ativo na absorção dos nutrientes pelas plantas (SOARES, 1999; PAIVA, 2000; SINGH et al., 2013). Seus efeitos tóxicos sobre organismos fotossintetizantes são amplos e afetam drasticamente o metabolismo do carbono e nitrogênio (ALI et al., 2011; GANGWAR e SINGH, 2011; COSTA, 2015).

É amplamente relatado que os metais pesados afetam os processos fisiológicos e bioquímicos das plantas, bem como seu crescimento estrutural através da interferência nas atividades de várias enzimas, por meio de interações diretas com macromoléculas como proteínas, pigmentos, entre outros (NAGAJYOTI et al., 2010; AFSHAN et al., 2015).

Na última década, o Brasil expandiu em 190% o mercado de agrotóxicos, o que colocou o País em primeiro lugar no ranking mundial de consumo desde 2008. Isto mostra o impacto que a utilização de agrotóxicos tem causado na agricultura brasileira, refletindo na alimentação, qualidade do solo e entre outros aspectos (LOPES e ALBUQUERQUE, 2018).

Além disso, a poluição ambiental com o cromo (Cr) através da industrialização e das atividades antrópicas tornou-se um problema agravante, pela emissão global do Cr exceder a de outros metais pesados como o de Cd, Hg e Pb (KABATA-PENDIAS e MUKHERJEE, 2007).

2.3 Cromo

O Cromo é encontrado no meio ambiente em água, solo e ar, e suas diversas formas químicas são poluentes com graves implicações para o meio ambiente e a saúde humana (MELLA, 2013). O cromo é um metal que ocorre no ecossistema como resultado da intemperização do material de origem dos solos bem como pode ser introduzido através de deposições de resíduos de origem industrial como curtumes e siderurgia (SOUSA e SANTOS, 2018).

Esse elemento químico pertencente ao grupo VI B da tabela periódica, sendo um metal branco, lustroso, duro e quebradiço, de densidade $7,19 \text{ (cm}^3\text{)}^{-1}$ e ponto de fusão 1900°C , entre outras propriedades (tabela 1), e quando elevado a temperaturas altas pode se ligar diretamente aos halogênios, enxofre, silício, boro, nitrogênio, carbono e oxigênio, porém pode ser solúvel em ácido nítrico e água régia (NASCIMENTO, 1983).

A cromita (FeCr_2O_4) é um mineral que contém a manifestação do metal, em abundância na natureza (COSTA et al., 2010). O cromo é encontrado na natureza sob a forma de vários complexos minerais e em diferentes valências, sendo o mais tóxico o cromo hexavalente e trivalente (PLUGARU et al., 2016).

O Cr (VI) ocorre geralmente associado com o oxigênio na forma de oxianions como o cromato (CrO_4^{2-}) ou dicromato ($\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$) e o Cr (III) é encontrado em ambientes aquáticos na forma de Cr^{3+} ligado principalmente à matéria orgânica do solo (MARQUES, 2015).

O comportamento do Cr^{3+} assemelha-se ao do Fe^{3+} e Al^{3+} em muitos aspectos, como o Al^{3+} , o Cr^{3+} é anfótero, ou seja, pode se comportar como um ácido ou como uma base, e seu raio iônico é igual a 0,063 nm, situado entre o do Fe^{3+} (0,064) e o do Al^{3+} (0,051) (MARQUES, 2015). Geralmente, o Cr apresenta uma forma trivalente Cr^{3+} e sua conversão de Cr (III) a Cr (VI) é favorecida pela mudança de temperatura (STERNA et al., 2010).

Propriedade	Cromo
Nº atômico	24
Conf. Eletrônica externa	$3d^5 4s^1$
Massa atômica	51,996
Densidade do sólido a 20°C (g/cm ³)	7,188
Volume atômico (cm ³)	7,24
Ponto de fusão (°C)	1900
Ponto de ebulição (°C)	2672
Potencial de ionização	6,76
Raio atômico (Å)	1,25
Dureza HV(kg/mm ²)	750-1050

Tabela 1. Propriedades do elemento cromo (Cr).

Fonte: SILVA, 2002, p.07.

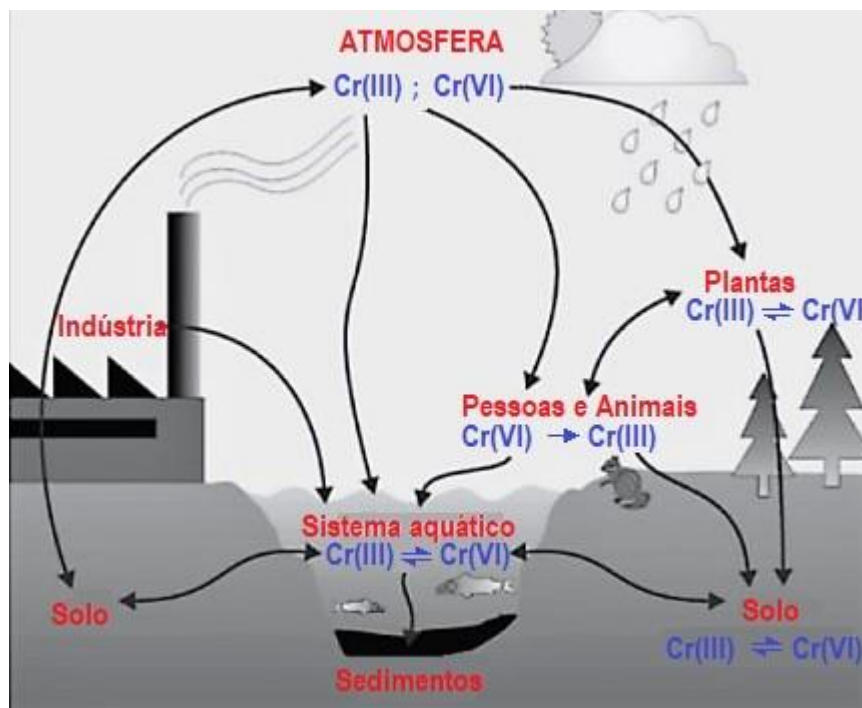
2.4 Cromo no solo

No Brasil, o teor de Cr do solo, encontrado em diferentes tipos de solo, varia de 9,6 a 75 mg kg⁻¹ (FADIGAS et al., 2002). De acordo com o Conselho Nacional do Meio Ambiente – CONAMA – o limite regulatório atualmente para intervenção em solos e água subterrâneas são 75 mg kg⁻¹ e 50 µ L⁻¹ respectivamente.

Segundo Mella (2013) a concentração de cromo no solo depende de alguns fatores: o tipo de processo industrial existente na região, disposição inadequada de resíduos contendo metais pesados no local, etc (figura 2). O comportamento do Cr nos solos é objeto de vários estudos, em que seu comportamento ainda é incerto. Os

compostos de cromo são persistentes no meio ambiente e são caracterizados pela insolubilidade e imobilidade quando comparado com outros metais (HELENE, 2016).

Figura 2. Ciclo do cromo no ambiente.



Fonte: Adaptado de BIELICKA et al., 2005.

Autores como Kabata–Pendias (2004) citaram que a maioria do Cr contido no solo ocorre na forma trivalente (Cr^{3+}) dentro da estrutura dos minerais e óxidos de Fe^{3+} , e a conversão de Cr (III) a Cr (VI) geralmente não é termodinamicamente favorável em condições ambientais, exceto sob condições de oxidação tais como as fornecidas por altos teores de dióxidos de Mn no solo.

Com relação ao comportamento do Cr no estado de oxidação VI, este é um ânion que apresenta maior solubilidade e mobilidade no solo e nos sistemas aquáticos, sendo muitas vezes mais tóxico que o Cr (III) (ZHANG et al., 2010).

No solo, o destino do Cr é dependente da especiação do metal, que se dá em função do potencial redox e do pH do solo, e na maioria dos solos há predomínio de Cr^{3+} devido à rápida redução de Cr^{6+} (solúvel) para Cr^{3+} (insolúvel), o Cr^{3+} apresenta baixa solubilidade e reatividade, resultando em baixa mobilidade no ambiente e baixa toxicidade para os organismos vivos (SOUSA & SANTOS, 2018).

O Cr (VI) pode ser reduzido a Cr (III) no solo por reações redox com espécies inorgânicas, transferência de elétrons na superfície mineral, reações com substâncias orgânicas não húmicas, tais como carboidratos e proteínas, ou redução por substâncias húmicas do próprio solo (MATOS et al., 2008).

2.5 Cromo na planta

Nas plantas, a absorção e translocação de Cr variam de acordo com cada espécie e sua absorção pelas plantas ocorre por diferentes mecanismos (SOUSA e SANTOS, 2018). Na maioria das plantas, o Cr é absorvido e acumulado pelas raízes juntamente com o Fe (III), sendo pouco translocado para a parte aérea. A concentração de Cr na parte aérea das plantas é cem vezes menor que nas raízes, independentemente da valência do Cr (MARQUES, 2015).

Embora muitos pesquisadores já tenham relatado o efeito benéfico de pequenas concentrações de Cr no crescimento e desenvolvimento da planta (WARINGTON, 1946; PRATT, 1966; TERRY, 1981; BONET et al., 1991), ainda não há nenhuma evidência conclusiva de uma participação do Cr no metabolismo vegetal.

A primeira interação do Cr com a planta é durante seu processo de absorção. Por ser um elemento considerado não essencial e tóxico para as plantas, se especula que não devem existir mecanismos específicos para sua entrada na célula (VENANCIO, 2009). Assim, considera-se que a absorção de Cr possa ocorrer via carreadores usados para a absorção de elementos essenciais para o metabolismo vegetal (SHANKER et al., 2005).

Existem evidências de que além do enxofre (S) o Cr também compete com Fe e P em ensaios de absorção (WALLACE et al., 1976), seu transporte de Cr⁶⁺ requer energia metabólica enquanto o Cr³⁺ não requer gasto de energético (SKEFFINGTON et al., 1976). Estudos sugerem que para haver a translocação do Cr para os outros órgãos da planta estes devem atravessar a endoderme via simplasto (CERVANTES et al., 2001).

Devido a sua afinidade por cargas negativas, ele é imobilizado, principalmente, nas raízes e não na superfície radicular. Os sintomas de toxicidade manifestam-se como

inibição do crescimento, germinação de sementes, produção de biomassa, clorose nas folhas jovens, folhas pequenas de coloração vermelho-amarronzada ou púrpura, lesões necróticas e injúrias nas raízes (KABATA-PENDIAS e PENDIAS, 2001; SINGH et al., 2013).

Em algumas situações, a fitotoxicidade do Cr gera um estresse oxidativo que leva à peroxidação dos lipídios (KIELING-RUBIO, et al., 2010), consequentemente causando danos às membranas celulares e degradação de pigmentos fotossintéticos e enzimas que resultam na inibição e diminuição do crescimento das plantas (PANDA e CHOUDHURY, 2005).

2.6 Selênio e o efeito como atenuador de estresse por metais

O selênio (Se) é um metalóide pertencente ao grupo 16 (Família de Oxigênio) da tabela periódica. Sendo membro do mesmo grupo da tabela periódica, o raio iônico de Se e enxofre (S) está mais próximo, portanto, as propriedades físico-químicas de ambos os elementos são semelhantes entre si em suas propriedades físicas e bioquímicas (SORS et al., 2005; BODNAR et al., 2012). É um dos elementos mais amplamente distribuídos elementos na crosta terrestre, no entanto, sua distribuição é bastante desigual no globo terrestre (GERM et al., 2007).

Devido às suas propriedades semicondutoras, o Se é amplamente utilizado na fabricação de produtos eletrônicos e elétricos. Na natureza, ocorre como piritas de cobre (Cu), sulfetos de chumbo (Pb), ouro (Au) e cobre (Cu), e também é um subproduto de operações metalúrgicas e amplamente utilizado na indústria do vidro, tintas, óleo lubrificante, pigmentos, suplementos alimentares, produtos agrícolas, etc. (BODNAR et al., 2012; MEHDI et al., 2013).

O Se compete com enxofre (S) no metabolismo, porém, o Se ainda não foi considerado com um micronutriente essencial, entretanto, muitos trabalhos têm relatado os efeitos benéficos do Se em concentrações mais baixas (TURAKAINEN et al., 2006; SHANKER, 2006). Seu papel no fortalecimento do sistema de defesa de plantas estressadas e a melhora na tolerância à estresses bióticos e abióticos foi estabelecida em muitos relatórios de pesquisas (HANDA et al., 2013).

As principais formas de selênio disponível no solo, quando em condições naturais são o selenito (SeO_3^{2-}) e selenato (SeO_4^{2-}), sendo o selenito menos biodisponível que o selenato, devido este último ser mais móvel e solúvel em solos neutros ou alcalinos facilmente disponibilizados para a absorção de plantas (KABATA-PENDIAS, 2011). Dessa maneira, sabe-se que em termos de disponibilidade a forma do Se presente no solo é mais importante que a quantidade total a ser absorvida pelas plantas (JEŽEK et al., 2012).

A adsorção do Se em solos ricos em óxidos de ferro e manganês, podem ser reduzidas por minerais sulfatos e fosfatados (KABATA-PENDIAS, 2011). Essas características estão presentes em solos brasileiro, sendo os teores de Se no Brasil considerado baixo, o que caracteriza a deficiência desse mineral em algumas regiões do país (FERREIRA et al., 2002). Shaltout et al. (2011) realizando a quantificação de Se em alguns estados do Brasil, obteve as concentrações de $419 \mu\text{g kg}^{-1}$ de Se no estado do Pará.

A essencialidade de selênio pelas plantas vasculares, vem sendo estudada por quase 70 anos (LYONS et al., 2009). O selênio para algumas plantas superiores em estudos de essencialidade, é conhecido por ser um nutriente benéfico, obtendo funções no metabolismo da planta (LYONS et al., 2009). Essa essencialidade ainda é questionada, devido nem todas as culturas responderem da mesma forma (TERRY et al., 2000).

As formas mais estáveis de Se são selenato (SeO_4^{2-}) e selenito (SeO_3^{2-}), que existem abundantemente no ambiente (SHARMA et al. 2011). Das duas formas de Se, a biodisponibilidade de Se (VI) é maior e, portanto, é prontamente absorvido por processos ativos (TERRY et al., 2000; WHITE et al., 2004). Além disso, o Se (VI) não é acumulado nas raízes das plantas e é translocado para os brotos e, eventualmente, para os cloroplastos através da via de assimilação de enxofre (LÄUCHLI 1993; TERRY et al., 2000). Isso leva à formação de selenocomponentes, que têm grande significado biológico, no entanto, propriedades de melhoria de estresse contra metais pesados (MOHANTY e PATRA 2011; CHOUDHARY et al., 2012; SONG et al., 2012, 2014)

Vários estudos mostraram que, em plantas, o selênio exibiu efeitos protetores contra elementos tóxicos como cádmio, arsênio, chumbo, antimônio, mercúrio e cobre (HE et al., 2004; SRIVASTAVA et al., 2009; FENG et al., 2013). Além do efeito protetor

contra a toxicidade, o selênio também pode afetar o acúmulo e distribuição de metais tóxicos nas plantas (ZEMBALA et al., 2010).

Como um elemento benéfico para as plantas, o Se em níveis baixos desempenha papéis positivos em plantas sob vários estresses bióticos e abióticos, como a promoção de plantas crescimento, mudando a arquitetura da raiz, reparando a estrutura celular e função, e aumentar a nutrição mineral (FENG et al., 2013; FILEK et al., 2010; JIA et al., 2018).

Além disso, o Se foi indicado para mitigar a toxicidade de diferentes elementos tóxicos para as plantas, como o cádmio (Cd), chumbo (Pb) e arsênio (As) (CAMARA et al., 2018; HUANG et al., 2018; WU et al., 2016).

2.8 Referências bibliográficas

- ADREES, M. et al. The effect of excess copper on growth and physiology of important food crops: a review. **Environmental Science and Pollution Research** v. 22, n. 11, p. 8148-8162, 2015.
- AFSHAN, S.; ALI, S.; BHARWANA, S.A.; RIZWAN, M.; FARID, M.; ABBAS, F.; IBRAHIM, M.; MEHMOOD, M.A.; ABBASI, G.H. Citric acid enhances the phytoextraction of chromium, plant growth, and photosynthesis by alleviating the oxidative damages in *Brassica napus* L. **Environmental Science Pollution Research** V. 22, p. 11679–11689, 2015.
- ALMEIDA, D.H.; SCALIANTE, R.M.; MACEDO, L.B *et al.* Caracterização completa da madeira da espécie amazônica paricá (*Schizolobium amazonicum*) em peças de dimensões estruturais. **Revista Árvore**, Viçosa-MG, v.37, n.6, p.1175-1181, 2013.
- ALVINO, F.O. **Influência do espaçamento e da cobertura do solo com leguminosas sobre o crescimento do paricá**. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Universidade Federal Rural da Amazônia, Belém, 101 p., 2006.
- ALI, S.; ZENG, F.; CAI, S.; QIU, B.; ZHANG, G. The interaction of salinity and chromium in the influence of barley growth and oxidative stress. **Plant Soil and Environment**, v. 57, p. 153-159, 2011.
- AMATA. **Revisão sobre paricá: *Schizolobium amazonicum* Huber ex Ducke**. 2009.
- ARAÚJO, A. V.; PINTO, M. D. A. S. C.; FERRAZ, A. P. F.; BRITO, A. C. V. Comparação de métodos para avaliar o teor de água em sementes de paricá (*Schizolobium parahyba*). **Revista Biociências**, Taubaté, v. 22, n. 2, p. 71-77, 2016.
- AVELINO, J.I.; LIMA, J.S.S.; RIBEIRO, M.C.C.; CHAVES, A.P.; RODRIGUES, G.S.O. Métodos de quebra de dormência em sementes de jucá (*Caesalpinia ferrea* Mart. ex Tul. var. *ferrea*). **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, v. 7, n. 1, p. 102-106, 2012.
- AZEREDO, G.A.; BRUNO, R.L.A.; ANDRADE, L.A.; CUNHA, A. O. Germinação em sementes de espécies florestais da mata atlântica (Leguminosae) sob condições de casa de vegetação. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v.33, n. 1, p. 11-16, 2007.
- BHARGAVA, A.; CARMONA, F. F.; BHARGAVA, M.; SRIVASTAVA, S. Approaches for enhanced phytoextraction of heavy metals. **Journal of Environmental Management**, v. 105, p. 103-120, 2012.
- BIELICKA, A.; BOJANOWOSKA I.; WISNIEWSKI, A. Two Faces of Chromium – Pollutant and Bioelement. **Polish Journal of Environmental Studies**. V. 14, n. 01, p. 5-10, 2005.
- BODNAR, M., KONIECZKA, P. E NAMIESNIK, J. As propriedades, funções e uso de compostos de selênio em organismos vivos. **Journal Environmental Science Health Part C**, v. 30, p. 225–252, 2012.

BONET, A.; POSCHENRIEDER, C.; BARCELO, J. Chromium III-iron interaction in Fe-deficient and Fe-sufficient bean plants. I. Growth and nutrient content. **Journal Plant Nutrition**. V. 14, n. 4, p. 403–414, 1991.

BRAGA, L. F.; OLIVEIRA, A. C. C.; SOUSA, M. P. Morfometria de sementes e desenvolvimento pós-seminal de *Schizolobium amazonicum* Huber (Ducke) – Fabaceae. **Revista Científica**, Jaboticabal, v.41, n.1, p.01–10, 2013.

CAMARA, A.Y.; WAN, Y.N.; YU, Y.; WANG, Q.; LI, H.F. Effect of selenium on uptake and translocation of arsenic in rice seedlings (*Oryza sativa* L.). **Ecotoxicology Environmental Safety**, v. 148, p. 869–875, 2018.

CARVALHO, N. M.; NAKAGAWA, J. **Sementes: ciência, tecnologia e produção**, 5^a ed. Funep, Jaboticabal, São Paulo, 2012.

CERVANTES, C.; GARCIA, J.C.; DEVARIS, S.; CORONA, F.G.; TAVERA, H.L.; TORRESGUZMAN, J. Interactions of chromium with micro-organisms and plants. **FEMS Microbiology Reviews** V. 25, p. 335-347, 2001.

CHOUDHARY, S.P.; KANWAR, M.; BHARDWAJ, R.; YU, J.Q.; TRAN, L.S. Chromium stress mitigation by polyamine-brassinosteroid application involves phytohormonal and physiological strategies in *Raphanus sativus* L. **PLoS ONE**, v. 7, p. e33210, 2012.

COSTA, G. B. **Avaliação dos efeitos dos metais pesados cádmio, chumbo, cobre e manganês, na morfologia e na fisiologia da macroalga *Sargassum cymosum***. Dissertação (Mestrado em Biologia de Fungos), Universidade Federal de Santa Catarina, Santa Catarina, 134 p., 2015.

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

DUKE, J. A.; POLHILL, R. M. Seedlings of leguminosae. In: POLHILL, R. M.; RAVEN, P. N. (Ed.). **Advances in legume systematics**. Kew: Crow Copyright, 1981, p.941-949.

FADIGAS, F. S.; AMARAL SOBRINHO, N. M. B.; MAZUR, N.; ANJOS, L. H. C.;

FENG, R.W.; WEI, C.Y.; TU, S.X. The roles of selenium in protecting plants against abiotic stresses. **Environmental Experimental Botany**, v. 87, p. 58–68, 2013.

FENNER, M. **Seed ecology**. Champan & Hall, London, 1993.

FERREIRA, K. S.; GOMES, J. C.; ROBERTO, C. Concentrações de selênio em alimentos consumidos no Brasil. **Revista Panamericana de Saúde Pública**, Washington, v. 11, n. 3, p. 172–177, 2002.

FILEK, M.; ZEMBALA, M.; KORNAŚ, A.; WALAS, S.; MROWIEC, H.; HARTIKAINEN, H. The uptake and translocation of macro- and microelements in rape and wheat seedlings as affected by selenium supply level. **Plant Soil**, v. 336, p. 303–312, 2010.

- FREIXO, A. A. Concentrações naturais de metais pesados em algumas classes de solos brasileiros. **Bragantia**, Campinas, v.2, p.151-159, 2002.
- GANGWAR, S.; SINGH, V.P. Indole acetic acid differently changes growth and nitrogen metabolism in *Pisum sativum* L. seedlings under chromium (VI) phytotoxicity: implication of oxidative stress. **Scientia Horticulturae**, v. 129, 321-328, 2011.
- GERM, M., STIBILJ, V. E KREFT, I. Importância metabólica do selênio para as plantas. EUR. **Journal Plant Biochemistry and Biotechnology**, v. 1, p. 91–97, 2007.
- HE, P. P.; LV, X. Z.; WANG, G. Y. Efeitos da suplementação de Se e Zn no antagonismo contra Pb e Cd em vegetais. **Environment International**, v. 30, p. 167-172, 2004.
- HELENE, L. P. I. **Diagnóstico ambiental de solo contaminado por cromo de curtume em Motuca (SP) por métodos geofísicos**. Dissertação (Mestrado em Geociências e Meio Ambiente). Universidade Estadual Paulista – Rio Claro – São Paulo, 77 p., 2016.
- HUANG, Q.Q.; XU, Y.M.; LIU, Y.Y.; QIN, X.; HUANG, R.; LIANG, X.F. Selenium application alters soil cadmium bioavailability and reduces its accumulation in rice grown in Cd-contaminated soil. **Environmental Science Pollution**, p. 1–8, 2018.
- ISMAIL, S.; KHAN, F.; IQBAL, Z. M. Phytoremediation: Assessing Tolerance of Tree Species Against Heavy Metal (Pb and Cd) Toxicity. **Pakistan Journal of Botany**, v. 45, n. 6, p. 2181-2186, 2013.
- JEŽEK, P. et al. Selenium: an important antioxidant in crops biofortification. In: ELMISSIRY, M. M. **Biochemistry**, genetics and molecular biology. New York: CRC Press, p. 343-368, 2012.
- JIA, H.; SONG, Z.; WU, F.; MA, M.; LI, Y.; HAN, D.; YANG, Y.; ZHANG, S.; CUI, H. Low selenium increases the auxin concentration and enhances tolerance to low phosphorous stress in tobacco. **Environmental Experimental Botany**, v. 153, p. 127–134, 2018.
- KABATA-PENDIAS, A. Soil-plant transfer of trace elements: na environmental issue. **Geoderma**, Amsterdam, v. 122, n. 2-4, p. 143-149, 2004.
- KABATA-PENDIAS, A. **Trace elements in soil and plants**. 4. ed. New York: Boca Raton, 2011, p. 467.
- KABATA-PENDIAS, A.; PENDIAS, H. **Trace elements in soils and plants**. Boca Raton: CRC Press, 2001. 432 p.
- KIELING-RUBIO, M. A.; DROSTE, A.; WINDISCH, P. G. Germination and sporophytic development of *Regnellidium diphyllum* Lindman (Marsileaceae) in the presence of hexavalent chromium. **Revista Brazilian Journal of Biology**, v. 70, no. 4 (suppl.), p. 1149-1153, 2010.
- LÄUCHLI, A. Selenium in plants: uptake, functions, and environmental toxicity. **Botanica Acta**, v. 106, p. 455–468, 1993.

LIMA, S. F.; CUNHA, R. L.; CARVALHO, J.G.; SOUZA, C. A. Comportamento do paricá (*Schizolobium Amazonicum* herb.) submetido à aplicação de doses de boro, Lavras. **Cerne**, v. 9, n. 2, p. 192-204, 2003.

LOBÃO, M. S.; CASTRO, V. R.; RANGEL, A.; SARTO, C.; TOMAZELLO FILHO, M.; SILVA JUNIOR, F. G.; CAMARGO NETO, L.; BERMUDEZ, M. R. A. C. Agrupamento de espécies florestais por análises univariadas e multivariadas das características anatômica, física e química das suas madeiras. **Scientia Forestalis**, v. 39, n. 92, p. 469-477, 2011.

LOCATELLI, M.; MELO, A. S.; DE LIMA, L. M.; VIEIRA, A. H. Deficiências nutricionais em mudas de *Schizolobium parahyba* var. *Amazonicum*. **Revista Brasileira de Biociências**, v. 5, Supl. 2, p. 648-650, 2007.

LOPES, C. V. A.; ALBUQUERQUE, G. S. C. Agrotóxicos e seus impactos na saúde humana e ambiental: uma revisão sistemática. **Revista Rio de Janeiro**, v. 42, n. 117, P. 518-534, 2018.

LYONS, G. H. et al. Selenium increases seed production in Brassica. **Plant and Soil**, The Hague, v. 318, n. 1/2, p. 73–80, 2009.

MALLQUE, M. A.; KIKATA, Y. **Atlas of peruvian woods**. Lima: National Agrarian University La Molina; Nagoya University Japan; 118 p., 1994.

MARCATI, C. R.; MILANEZ, C. R. D.; MACHADO, S. R. Seasonal development of secondary xylem and phloem in *Schizolobium parahyba* (Vell.) Blake (Leguminosae: Caesalpinioideae). **Trees**, v. 22, p. 3-12, 2008.

MARQUES, E. A. **Determinação do valor de prevenção para cromo em solos do estado de minas gerais**. Dissertação (Mestrado Profissional em Solos e sua Interface com o Meio Ambiente) – Universidade Federal de Lavras, Lavras – MG, 94p., 2015.

MARQUES, L.C.T.; YARED, J.A.G.; SIVIERO, M.A. A evolução do conhecimento sobre Paricá para o reflorestamento no estado do Pará. **Embrapa Pará**, 2006.

MATOS, W. O.; NOBREGA, J. A.; SOUZA, G.B.; NOGUEIRA, A.R.A. Especificação Redox de cromo em solo acidentalmente contaminado com solução sulfocrômica. **Química Nova**, vol. 31, n.6, p. 1450-1454, 2008.

MEHDI, Y., HORNICK, JL, ISTASSE, L. E DUFRASNE, I. Selênio no meio ambiente, metabolismo e envolvimento nas funções corporais. *Molecules*, v. 18, p. 3292–3311, 2013.

MELLA, B. **Remoção de cromo de banhos residuais de curtimenta através de precipitação química e eletrocoagulação**. Dissertação (Mestrado em Agronomia - produção vegetal), Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2013.

MOHAMED-YASSEEN, Y., BARRINGER, S.A., W.E. & COSTANZA, S. The role of seed coats in seed viability. **Botanical Review**. v.60, n. 4, p. 426-439, 1994.

MOHANTY, M.; PATRA, H.K. Effect of Cr and chelating agents on growth, pigment status, proline content and chromium bioavailability in rice seedlings. **International Journal of Biotechnology Applications**, v. 3, p. 91–96, 2011.

NAGAJYOTI, P.C., et al. Heavy metals, occurrence and toxicity for plants: a review. **Environmental Chemistry Letters**. V. 8, p. 199–216, 2010.

NASCIMENTO, C. W. A.; XING, B. Phyto extraction: a review on enhanced metal availability and plant accumulation. **Scientia Agricola**, v. 63, n. 3, 2006.

NASCIMENTO, R. L. G. **Do Comportamento de Cr (III) na precipitação de PbCrO₄**. Dissertação (Mestrado), Universidade Estadual de Campinas - Instituto de Química, 1983.

PAIVA, H. N. de. **Toxidez de Cd, Ni, Pb e Zn em mudas de cedro (*Cedrela fissilis* Vell.) e ipe-roxo (*Tabebuia impetiginosa* (Mart.) Standl.)**. Tese (Doutorado em Fitotecnia), Universidade Federal de Lavras, Lavras, 283p., 2000.

PANDA, S.K.; CHOUDHURY, S. Chromium stress in plant. **Brazilian Journal Plantation Physiology** V. 17, n. 1, p. 95-102, 2005.

PLUGARU, S.; ORBAN, M.; SARB, A.; RUSU, T. Chromium: toxicity and tolerance in plants. A review. **Revista Journal of Environmental Research and Protection**. V. 13, p. 13-18, 2016.

PRATT, P. F. **Chromium**. *In Diagnostic Criteria for Plants and Soils*. Ed. H D. Chapman. University of California, Riverside. Ch. 9. p. 136–141, 1966.

ROSA, L. S. Características botânicas, anatômicas e tecnológicas do parica (*Schizolobium amazonicum* Hubert ex Ducke). **Revista Ciências Agrárias**, n. 46, p.63-79, 2006.

SANTIAGO, W. R. T. **Cuidados que devemos ter com solo** (2010). Disponível em: <http://sosriodosbrasil.blogspot.com/2010/07/cuidados-que-devemos-ter-com-o-solo.html>. Acesso em: 26 de abril de 2012.

SHALTOU, A. A.; CASTILHO, I. N. B.; WELZ, B.; CARASEK, E.; MARTENS, I. B. G.; MARTENS, A.; COZZOLINO, S. M. F. Method development and optimization for the determination of selenium in bean and soil samples using hydride generation electrothermal atomic absorption spectrometry. **Talanta**, v.85, n. 3, p. 1350–1356, 2011.

SHANKER, A. K. Countering UV-B stress in plants: does selenium have a role? **Plant Soil**, v. 282, p. 21–26, 2006.

SHARMA, S.; BANSAL, A.; DOGRA, R.; DHILLON, S.K.; DHILLON, K.S. Effect of organic amendments on uptake of selenium and biochemical grain composition of wheat and rape grown on seleniferous soils in northwestern India. **Journal of Plant Nutrition and Soil Science**, v. 174, p. 269–275, 2011

SILVA, K.B. Qualidade fisiológica de sementes de *Sideroxylon obtusifolium* (Roem. & Schult.) Penn. classificadas pelo tamanho. **Revista brasileira de Biociências**, Porto Alegre, v. 13, n. 1, p. 1- 4, 2015.

SILVA NETO, P. A.; ALVINO, F. O.; RAYOL, B. P.; PRATA, S. S.; ESQUERDO, L. N. Métodos para Superação de Dormência em Sementes de Paricá (*Schizolobium amazonicum* Huber ex. Ducke) (Leguminosae - Caesalpinioideae). **Revista Brasileira de Biociências**, Porto Alegre, v. 5, supl. 2, p. 732-734, 2007.

SILVA, P. T. S. S. **Extração e recuperação do cromo em resíduos sólidos de uma indústria de galvanoplastia**. Trabalho de Conclusão de Curso da Universidade Federal de Pernambuco, p. 07, 2002.

SINGH, H.P., MAHAJAN, P., KAUR, S., BATISH, D.R., KOHLI, R.K. Chromium toxicity and tolerance in plants. **Revista Environmental Chemistry Letters**, v. 11, p. 229–254, 2013.

SKEFFINGTON, R.A.; SHEWRY, P.R.; PETERSEN, P.J. Chromium uptake and transport in barley seedlings *Hordeum vulgare*. **Plantation**, V. 132, p. 209-214, 1976.

SOARES, C. R. F. S. **Toxidez de zinco, cobre, cádmio e chumbo para o eucalipto em solução nutritiva**. Dissertação (Mestrado em Agronomia), Universidade Federal de Lavras, Lavras, 132 p., 1999.

SONG, W.Y.; YANG, H.C.; SHAO, H.B.; ZHENG, A.Z.; BRESTIC, M. The alleviative effects of salicylic acid on the activities of catalase and superoxide dismutase in malting barley (*Hordeum vulgare* L.) seedling leaves stressed by heavy metals. **CLEAN–Soil, Air, Water**, v. 42, p. 88–97, 2014.

SONG, W.; ZHENG, A.; SHAO, H.; CHU, L.; BRESTIC, M.; ZHANG, Z. The alleviative effect of salicylic acid on the physiological indices of the seedling leaves in six different wheat genotypes under lead stress. **Plant Omics**, v. 5, p. 486–493, 2012.

SORS, T.G.; ELLIS, D.R.; SALT, D.E. Selenium uptake, translocation, assimilation and metabolic fate in plants. **Photosynthesis Research**, Berlin (Alemanha), v. 86, p. 373-389, 2005.

SOUSA, V. F. O.; SANTOS, G. L. Elemento cromo na nutrição mineral de plantas. **Revista da Universidade Vale do Rio Verde**, v. 16, n. 2, 2018.

SRIVASTAVA, M.; MA, L.Q.; RATHINASABAPATHI, B.; SRIVASTAVA, P. Effects of selenium on arsenic uptake in arsenic hyperaccumulator *Pteris vittata* L. **Bioresource Technology**, v. 100, p. 1115–1121, 2009.

STERNA, A. H. et al. Hexavalent Chromium in house dust, a comparison between an area with historic contamination from chromate production and background locations. **Science of the total Environment**, Amsterdam, v. 408, p. 4993-4998, 2010.

TEREZO, R. F.; SZÜCS, C. A. Análise de desempenho de vigas em madeira laminada colada de paricá (*Schizolobium Amazonicum* Huber ex. Ducke). **Scientia Forestalis**, v. 38, n. 87, p. 471-480, 2010.

TERRY, N. An analysis of the growth responses of *Beta vulgaris* L. to phytotoxic trace elements. II. Chromium. **Final report to the Kearney Found. of Soil Sci.**, 1981.

TERRY, N. et al. Selenium in Higher plants. **Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology**, Davis, v. 51, n. 1, p. 401–432, 2000.

TOMAZELLO FILHO, M.; LISI, C. S.; HANSEN, N.; CURY, G. Anatomical features of increment zones in different tree species in the state of São Paulo, Brazil. **Scientia Forestalis**, v. 66, p. 46-55, 2004.

TURAKAINEN, M.; HARTIKAINEN, H.; EKHOLM, P.; SEPPANEN, M. M. Distribution of selenium in different biochemical fractions and raw darkening degree of potato (*Solanum tuberosum* L.) tubers supplemented with selenite. **Journal Agricultural Food Chemistry**, v. 54, p. 8617–8622, 2006.

VENANCIO, J. B. **Mecanismo de tolerância ao cromo de *Eichhornia crassipes* (mart.) Solms: capacidade de acumulação do metal, efeitos sobre a fotossíntese e modulação das bombas de H⁺**. Tese (Mestrado em Biociências e Biotecnologia), Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, Campos dos Goytacazes, Rio de Janeiro, 2009.

WALLACE, A.; SOUFI, S.M.; CHA, J.M.; ROMNEY, E.M. Some effects of chromium toxicity on bush bean plants grown in soil. **Plant Soil**. V. 44, p. 471- 473, 1976.

WARINGTON, K. Molybdenum as a factor in the nutrition of lettuce. **Annals Applied Biology** V. 33, p. 249-254, 1946.

WHITE, P. J.; BOWEN, H. C.; PARMAGURU, P.; FRITZ, M.; SPRACKLEN, W. P.; SPIBY, R. E.; MEACHAM, M. C.; MEAD, A.; HARRIMAN, M.; TRUEMAN, L. J.; SMITH, B. M.; THOMAS, B.; BROADLEY, M. R. Interactions between selenium and sulphur nutrition in *Arabidopsis thaliana*. **Journal of Experimental Botany**, v. 55, n. 404, p. 1927–1937, 2004.

WIELEWICKI, A. P.; LEONHARDT, C.; SCHLINDWEIN, G.; MEDEIROS, A. C. S. Proposta de padrões de germinação e teor de água para sementes de algumas espécies florestais presentes na região sul do Brasil, **Revista Brasileira de Sementes**, v. 28, n. 3, p. 191-197, 2006.

WU, Z.L.; YIN, X.B.; BAÑUELOS, G.S.; LIN, Z.Q.; LIU, Y.; LI, M.; YUAN, L.X. Indications of selenium protection against cadmium and lead toxicity in oilseed rape (*Brassica napus* L.). **Frontiers Plant Science** V. 7, p. 1875, 2016.

ZEMBALA, M.; FILEK, M.; WALAS, S.; MROWIEC, H.; KORNAS, A.; MISZALSKI, Z.; HARTIKAINEN, H. Effect of selenium on macro- and microelement distribution and physiological parameters of rape and wheat seedlings exposed to cadmium stress. **Plant and Soil**, v.329, p.457-468, 2010.

ZHANG, R.; WANG, B.; MA, H. Studies on chromium (VI) adsorption on sulfonated lignite. **Desalination**, Amsterdam, v. 255, n. 1-3, p. 61-66, 2010.

3. HIPÓTESES E OBJETIVOS DA PESQUISA

3.1 Hipóteses

O Se atenua os processos germinativos, crescimento e metabolismo bioquímico das plântulas de paricá submetidas a concentrações de Cr.

O Se apresenta o efeito atenuador a toxicidade do Cr em plântulas de paricá.

3.2 Objetivos

3.2.1 Geral

Avaliar o efeito do Se na germinação, crescimento e metabolismo bioquímico em plântulas de paricá submetidas a doses de Cr.

3.2.2 Específicos

- Analisar os parâmetros germinativos (emergência de plântulas, germinação, plântulas anormais e sementes mortas) e de crescimento (comprimento da parte aérea e raiz, massa seca da parte aérea e raiz) em plântulas de paricá submetidas a doses de Cr e Se;
- Analisar o metabolismo bioquímico (sacarose, prolina, glicina-betaína, proteínas solúveis totais, aminoácidos solúveis totais) das plântulas de paricá, submetidas a doses de Cr e Se;
- Avaliar o efeito do Se como atenuador do estresse causado pelo Cr nas variáveis analisadas.

4. CAPÍTULO I

SELÊNIO COMO ATENUADOR DO EFEITO DO CROMO SOBRE A GERMINAÇÃO, CRESCIMENTO E METABOLISMO DO CARBONO E NITROGÊNIO EM PLÂNTULAS DE *Schizolobium parayba* var. *amazonicum* Huber ex Ducke

RESUMO

O objetivo da pesquisa foi avaliar o efeito do Se na germinação, crescimento e metabolismo bioquímico em plântulas de paricá submetidas a doses de Cr. O experimento contou com tratamentos das concentrações de Cr: 0, 80, 160, 240 μM e de Se: 0, 5, 10, 15 μM . O delineamento experimental empregado foi o inteiramente casualizado, fatorial de 4x4 com quatro repetições e as sementes de paricá foram fornecidas pela Embrapa. O teste de normalidade utilizado foi de Shapiro-Wilk e para o teste de homogeneidade foi utilizado o de Levene, ambos a ($p \leq 0,05$) submetidos à análise de variância (ANOVA) acompanhada por teste de Tukey ($P < 0,05$). As concentrações de Cr e Se não afetaram as variáveis germinativas das sementes, com exceção da porcentagem de germinação, com melhor resposta na dose de Se 15 μM ($83,50 \pm 1,87 \%$). O aumento das concentrações de Se 5 μM , 10 μM e 15 μM tiveram efeito negativo no comprimento da raiz e massa seca da raiz. Entretanto, o Cr e Se afetaram, de forma positiva, no crescimento em altura das plântulas de paricá, com melhor resposta nas doses de Cr 160 μM e Se 15 μM ($24,5 \pm 0,3$ cm.) No metabolismo bioquímico, o Cr e Se afetaram a produção dos solutos orgânicos como glicina-betaína, prolina, aminoácidos solúveis totais, proteínas solúveis totais e sacarose, em geral, as concentrações Se 5 e 10 μM , obtiveram melhores resultados como possível atenuador ao estresse por Cr. Contudo, o Se não promoveu respostas satisfatórias como atenuador de estresse pelo Cr.

Palavras-chaves: metais pesados, sementes, paricá

ABSTRACT

The objective of the research was to evaluate the effect of selenium (Se) on germination, growth and biochemical metabolism in seedlings of paricá submitted to doses of chromium (Cr). The experiment had treatments of the concentrations of Cr: 0, 80, 160, 240 μM and Se: 0, 5, 10, 15 μM . The experimental design used was a completely randomized, factorial 4x4 with four replications and the seeds of paricá were supplied by Embrapa. The normality test used was the Shapiro-Wilk test and for the homogeneity test the Levene test was used, both at ($p \leq 0.05$) submitted to analysis of variance (ANOVA) accompanied by Tukey test ($P < 0.05$). The concentrations of Cr and Se did not affect the germinative variables of the seeds, with the exception of the percentage of germination, with better response in the dose of Se 15 μM ($83.50 \pm 1.87\%$.) The increase in the concentrations of Se 5 μM , 10 μM and 15 μM had a negative effect on root length and root dry matter. However, Cr and Se were positively affected by growth in height of paricá seedlings, with better response in the doses of Cr 160 μM and Se 15 μM (24.5 ± 0.3 cm.) In biochemical metabolism, Cr and Se affected the production of organic solutes such as glycine-betaine, proline, total soluble amino acids, total soluble proteins and sucrose, in general, the concentrations of 5 and 10 μM , obtained better results as a possible stress attenuator by Cr. However, Se did not provide satisfactory responses as a stress reliever for Cr.

Keywords: heavy metals, seeds, paricá

4.1 Introdução

A contaminação do solo por metais pesados tóxicos que aumenta dia a dia tornou-se uma questão premente para o meio ambiente, tanto a nível privado como governamental (ASHFAQUE et al., 2017). Alguns metais pesados como Cr, Cd, Pb e Hg, principalmente em grandes quantidades, podem afetar o crescimento e a produtividade das plantas (NAJAFIAN et al., 2012).

O cromo (Cr) está presente no ecossistema como resultado do intemperismo da crosta terrestre e deposição de resíduos de atividades antrópicas, como as indústrias metalúrgica (principalmente siderúrgica e metálica) e química (pigmentos, galvanoplastia, couro, entre outras) (KOTAŚ & STASICKA, 2000; TCHOUNWOU et al., 2012). Este elemento é detectado na maioria das matrizes ambientais (ar, água, solo) e tem, nas últimas décadas, aumentado exponencialmente em ecossistemas aquáticos e terrestres (VELMA et al., 2009; GOMES et al., 2017).

Os efeitos tóxicos do Cr no crescimento e desenvolvimento das plantas, entretanto, são mais aparentes e cada vez mais investigados (GOMES et al., 2017). Isso inclui várias mudanças no metabolismo, como modificações no processo de germinação das sementes e no crescimento das raízes, caules e folhas das plantas (SHANKER et al., 2005). Cr também causa efeitos nocivos em processos fisiológicos, como fotossíntese, relações hídricas e nutrição mineral (NAGAJYOTI et al., 2010; SHANKER et al., 2005), e também pode gerar alterações morfológicas no crescimento e desenvolvimento da planta (DAUD, 2014; RODRIGUEZ et al., 2012; SINGH et al., 2013).

Dentre as alternativas buscadas para solucionar os problemas com os metais tóxicos no crescimento de plantas está o uso de elementos benéficos, que quando utilizados em concentrações baixas podem aliviar os efeitos danosos destes elementos (AFONSO et al., 2016).

A investigação sobre o papel do Se como um atenuador de estresse para vários estresses abióticos é uma área de pesquisa ativa (AHMAD et al. 2016). Sua aplicação em níveis apropriados foi documentada para fornecer resistência contra vários estresses, incluindo, seca, temperatura, UVB e metais pesados (HASANUZZAMAN & FUJITA, 2011; PUKACKA et al., 2011; YAO et al., 2011; AKLADIOUS, 2012; AHMAD et al., 2016).

Dentro deste contexto, as espécies arbóreas com rápido crescimento têm sido sugeridas como plantas apropriadas para fitorremediação em solos contaminados por metais pesados, em virtude de algumas características como: capacidade de desenvolvimento em solos com baixa disponibilidade de nutrientes, sistema radicular profundo, alta taxa de crescimento e elevada produção de biomassa (SHUKLA et al., 2011).

Na região Amazônica o paricá, é uma espécie florestal encontrada naturalmente em ecossistemas de floresta primária ou secundária, tanto em áreas de terra firme como várzea alta (DUCKE, 1949). Nos últimos anos vem se destacado como uma alternativa de espécie nativa para utilização em programas de reflorestamento, recuperação de áreas degradadas e sistemas agroflorestais, com grande potencial. Apresenta rápido crescimento inicial e boa adaptabilidade a diversos sistemas de manejo (CAIONE et al., 2012).

Mediante a isso, levantou-se as hipóteses de que o Se atenua os processos germinativos, crescimento e metabolismo bioquímico das plântulas de paricá submetidas a concentrações de Cr, e se o Se apresenta o efeito atenuador a toxicidade do Cr em plântulas de paricá. Portanto o objetivo da pesquisa foi avaliar o efeito do Se na germinação, crescimento e metabolismo bioquímico em plântulas de paricá submetidas a doses de Cr.

4.2 Material e métodos

4.2.1 Local do experimento e sementes utilizadas

O trabalho foi conduzido na Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa), no Laboratório de Frutíferas – LABFRUTI, com coordenadas geográficas 1° 28' S e 48° 27' W. Foram utilizadas sementes de paricá (*Schizolobium parayba* var. *amazonicum* Huber ex Ducke) fornecidas pela EMBRAPA. O experimento foi instalado em 09 de março de 2020, com duração de 12 dias, sendo 10 dias na EMBRAPA, na sala de testes de germinação, com controle da temperatura em média de 30°C e umidade relativa do ar a 84%, obedecendo o fotoperíodo de 12 horas (figura 3), e 2 dias na Universidade Federal Rural da Amazônia - UFRA para sua retirada.

Figura 3. Experimento em condução na EMBRAPA.



Fonte: Autor.

4.2.2 Unidades experimentais, tratamentos e delineamento experimental

As unidades experimentais consistiram em vasos com vermiculita, que foram mantidos úmidos durante o período do estudo. Diariamente a água perdida por evaporação foi repostada por meio de regas com solução dos tratamentos aplicados.

Os tratamentos obedeceram a seguinte dosagem de Cr: 0, 80, 160, 240 μM e de Se: 0, 5, 10, 15 μM . O delineamento experimental empregado foi o inteiramente casualizado, fatorial de 4x4 com quatro repetições, totalizando 64 unidades experimentais e 16 tratamentos (Cr 0 μM Se 0 μM ; Cr 0 μM Se 5 μM ; Cr 0 μM Se 10 μM ; Cr 0 μM Se 15 μM ; Cr 80 μM Se 0 μM ; Cr 80 μM Se 5 μM ; Cr 80 μM Se 10 μM ; Cr 80 μM Se 15 μM ; Cr 160 μM Se 0 μM ; Cr 160 μM Se 5 μM ; Cr 160 μM Se 10 μM ; Cr 160 μM Se 15 μM).

μM ; Cr 240 μM Se 0 μM ; Cr 240 μM Se 5 μM ; Cr 240 μM Se 10 μM e Cr 240 μM Se 15 μM). As fontes utilizadas para o preparo das soluções de Cr e Se foram CrCl_3 e NaSeO_4 , respectivamente.

4.2.3 Instalação e condução do experimento

Antes da instalação definitiva do experimento, foi realizado a triagem das sementes de paricá, descartando as que estavam com danos no tegumento e as deterioradas (figura 4). Em seguida as sementes foram escarificadas mecanicamente em um esmeril e embebidas em água destilada a 25°C por um período por 48 horas (figura 5).

Figura 4. Triagem das sementes de paricá.



Fonte: Autor.

O substrato utilizado no experimento foi a vermiculita textura média 0,50 e 1,19 mm, inicialmente com umidade de 3% peso/peso, capacidade de CTC de 200 mmolc/kg, com capacidade de retenção de água de 100% peso/peso. Foram utilizadas 64 unidades experimentais (vasos) de 6kg de capacidade, furados no fundo. Para cada unidade experimental foram utilizados aproximadamente 0,65kg de vermiculita e 25 sementes dispostas de forma homogênea em cada vaso (figura 6), semeada a uma profundidade de 2 cm.

Figura 5. Processo de escarificação mecânica e embebição em água destilada das sementes de paricá.



Fonte: Autor.

A irrigação inicial foi de 500 ml de solução dos tratamentos de $\text{CrCl}_3 \times \text{NaSeO}_4$ para cada vaso, aproximadamente 1,0 vezes o peso dos vasos, os demais dias foram realizada a irrigação de 200 ml e os dois últimos dias com 100 ml de solução, conforme a perda de solução por evapotranspiração. As soluções foram preparadas na UFRA/ ICA, no Laboratório de Estudos da Biodiversidade em Plantas Superiores (EBPS), coordenadas geográficas 27°21'S, 30°16' W, com aferição do pH para 6,0.

Figura 6. Disposição das sementes de paricá em cada vaso.



Fonte: Autor

O experimento foi instalado e conduzido na Embrapa por 10 dias, posteriormente transportado para o EBPS para sua retirada, que se deu em dois dias (11° e 12° dia), com a distribuição de duas repetições por tratamento, em cada dia de retirada (figura 7).

Figura 7. Retirada no 12° dia de experimento no Laboratório de Estudos da Biodiversidade em Plantas Superiores (EBPS).



Fonte: Autor.

4.2.4 Avaliação dos parâmetros estudados

4.2.4.1 Parâmetro germinativo:

Teste de Germinação (TG): As avaliações foram realizadas a partir do 5° dia após a semeadura, 1° dia de germinação (figura 8) até o 12° dia, contabilizando as sementes que apresentaram emergência, germinação normal, plântulas anormais e sementes mortas.

Figura 8. Emergência de plântulas de paricá no 5º dias após a sementeira.



Fonte: Autor.

Porcentagem de germinação: Consideraram-se como germinadas sementes que deram origem a plântulas normais, ou seja, com todas as suas estruturas essenciais bem desenvolvidas, completas, proporcionais e saudáveis, como preconizado nas Regras de Análises de Sementes (BRASIL, 2009).

Porcentagem de plântulas anormais: foi contabilizada ao final do período experimental, considerando as plântulas que apresentaram dano ou ausência das estruturas essenciais; plântulas com desenvolvimento fraco das raízes e/ou da parte aérea, ou com estruturas deformadas desproporcionais de forma que não possa ocorrer seu desenvolvimento normal (BRASIL, 2009).

Porcentagem de sementes mortas: foi contabilizada ao final do período experimental, considerando as sementes que não apresentaram emissão de radícula ou parte aérea (BRASIL, 2009).

Dia inicial da emergência: foi contabilizado o dia inicial da primeira plântula emersa (cotilédones acima do substrato).

O índice de velocidade de emergência foi calculado foi de acordo com a fórmula proposta por Maguire (1962):

$$IVE = \frac{E1}{N1} + \frac{E2}{N2} + \dots + \frac{En}{Ni}$$

Onde E1, E2, En = número de sementes normais germinadas na primeira, segunda, até a última contagem e N1, N2, Ni = número de dias desde a primeira, segunda, até a última contagem.

4.2.4.2 Parâmetro de crescimento:

Para a avaliação do comprimento da parte aérea (CPA) e da raiz (CR) foi utilizada uma régua graduada em centímetros. No CPA a medição deu-se do ápice da parte aérea até a base do caulículo, para o CR a medição deu-se da base do caulículo até o ápice da raiz pivotante.

Para avaliação da massa seca (da parte aérea e da raiz) o material vegetal foi acondicionado em sacos de papel kraft e levado a estufa com circulação forçada de ar à 65 °C, durante 72 horas. Posteriormente, o material foi pesado e os resultados expressos em gramas. Foi calculado ainda a massa seca total, a partir do somatório da massa seca da parte aérea e da raiz.

4.2.4.3 Paramêtro Bioquímico:

As análises bioquímicas foram realizadas no Laboratório de Estudos em Biodiversidades de Plantas Superiores (EBPS), localizado na Universidade Federal Rural da Amazônia (UFRA), no Instituto de Ciências Agrárias (ICA), Belem, Pará, em que as variáveis bioquímicas avaliadas foram Prolina (BATES; WALDREN; TEARE 1973), glicina betaína (GRIEVE E GRATTAN, 1983), sacarose (VAN HANDEL 1968), aminoácidos solúveis totais (PEOPLES et al., 1989) e proteínas solúveis totais (BRADFORD, 1976).

4.2.4 Análise estatística

O teste de normalidade utilizado foi de Shapiro-Wilk e para o teste de homogeneidade foi utilizado o de Levene, ambos a ($p \leq 0,05$) submetidos à análise de variância (ANOVA) acompanhada por teste de Tukey ($P < 0,05$) usando-se o programa SISVAR (FERREIRA, 2019).

4.3 Resultados e discussão

Parâmetro germinativo

O CrCl_3 não teve efeito nas variáveis geminativas, entretanto o NaSeO_4 teve efeito na variável de germinação ($p \leq 0,01$) das sementes, sendo assim evidenciando que o Se afetou essa variável (tabela 2). Não houve interação entre o CrCl_3 e NaSeO_4 para as variáveis germinativas, indicando que o Se não atenuou o efeito do Cr nas variáveis germinativas.

As concentrações de Cr não afetaram o processo germinativo das sementes de *S. parayba* var. *amazonicum*, assemelhando-se a pesquisa de Freitas et al. (2019) tendo como resposta a não interferência do Cr nos processos de germinação e desenvolvimento inicial de *Myracrodruon urundeuva* em solo contaminado por Cr.

De acordo com Peralta et al. (2001), a capacidade de germinação de uma determinada espécie em solos contaminados com Cr seria um bom indicativo do seu nível de tolerância a esse contaminante.

Tabela 2. Análise de variância (ANOVA) das variáveis germinativas das sementes de paricá, submetidas a concentrações de CrCl_3 e NaSeO_4 .

Causas de variação	E	G	PA	SM	DIE	IVE
	------(%)-----					
CrCl_3	0,2079 ^{NS}	1,6679 ^{NS}	1,9355 ^{NS}	0,9902 ^{NS}	1,2368 ^{NS}	0,4368 ^{NS}
NaSeO_4	1,9937 ^{NS}	5,1671 ^{**}	1,1813 ^{NS}	1,7270 ^{NS}	1,2894 ^{NS}	0,8839 ^{NS}

CrCl₃ x NaSeO₄	0,8891 ^{NS}	1,0517 ^{NS}	1,6029 ^{NS}	0,6691 ^{NS}	0,9921 ^{NS}	0,8594 ^{NS}
Média	93,48	80,20	12,42	6,04	5,71	3,59
CV (%)	14,6	21,8	4,6	3,9	21,6	21,1

E – emergência; G – germinação; PA – plântulas anormais; SM – sementes mortas; DIE – dia inicial da emergência; IVE – índice de velocidade de emergência; CV% - coeficiente de variação; ^{NS}: não significativo, * significativo a 5% de probabilidade, ** significativo a 1% de probabilidade.

Para os tratamentos com Se, a porcentagem de germinação de menor resposta foi o tratamento de 5 µM, com média de 74,79%, entretanto, observando os resultados de germinação em função das doses de Se (tabela 3), as doses de 0, 10 e 15 µM obtiveram as médias iguais, entretanto o tratamento de 10 µM obteve o melhor resultado, com maior média, sendo esta 83,5%, verificando que o Se beneficiou na germinação das sementes de paricá.

Tabela 3. Porcentagem de germinação das sementes de paricá, submetidas a concentrações de Se (0, 5, 10, 15 µM).

Se	G
µM	(%)
0	80,27±2,22 a
5	74,79±2,82 b
10	83,50±1,87 a
15	82,40±1,60 a

Em plantas, o Se em baixas concentrações tem sido frequentemente relatado como benéfico em seu crescimento e desenvolvimento (MALIK et al., 2011; HAWRYLAK-NOWAK, 2013). Além do crescimento, o Se também é conhecido por promover a germinação de sementes (HAN et al., 2010; PUKACKA et al., 2011), aumentar a produção de biomassa (SOLEIMANZADEH, 2012; TEIMOURI, et al., 2014), retardar a senescência (MOUSSA & AHMED 2010; PEZZAROSSAA et al., 2014), melhora a eficiência fotossintética (YAO et al. 2011; DIAO et al., 2014) e aumenta o acúmulo de metabólitos (BANSAL et al., 2012; OWUSU-SEKYERE et al., 2013).

Parâmetro de crescimento

O CrCl₃ não teve efeito nas variáveis de crescimento, evidenciando uma certa resistência a esse metal. O NaSeO₄ teve efeito nas variáveis de comprimento da raiz e

massa seca da raiz ($p \leq 0,01$), e as demais variáveis não foram afetadas sobre as concentrações de Se. Houve interação entre CrCl_3 e NaSeO_4 para o CPA (tabela 4).

É possível que o tempo de exposição ao cromo não tenha sido suficiente para desencadear o efeito do metal nos parâmetros de crescimento. Na literatura, há relatos de experimentos semelhantes com plantas utilizando diferentes tempos de exposição: três dias (ZOU et al., 2006); sete dias (GRISI et al., 2011); 12 dias (IGANCI et al., 2006). No trabalho de Zou et al. (2006), com *Amaranthus viridis*, observou-se taxa de germinação e crescimento de raízes dentro da normalidade, mesmo em solo com alta concentração de cromo.

Tabela 4. Análise de variância (ANOVA) das variáveis de crescimento das plântulas de paricá, submetidas a concentrações de CrCl_3 e NaSeO_4 .

Causas de variação	CPA	CR	MSPA	MSR	MST
CrCl_3	0,8140 ^{NS}	2,3313 ^{NS}	1,9785 ^{NS}	1,7662 ^{NS}	1,5140 ^{NS}
NaSeO_4	1,8495 ^{NS}	46,936 ^{**}	2,7066 ^{NS}	5,6154 ^{**}	2,4896 ^{NS}
$\text{CrCl}_3 \times \text{NaSeO}_4$	3,4084 ^{**}	1,1881 ^{NS}	1,1699 ^{NS}	0,8123 ^{NS}	0,5205 ^{NS}
Média	23,49	12,82	143,62	24,02	168,16
CV (%)	4,2	1,1	3,8	5,6	1,2

CPA – comprimento da parte aérea; CR – comprimento da raiz; MSPA – massa seca da parte aérea; MSR – massa seca da raiz; MST – massa seca total; CV% - coeficiente de variação; ^{NS}: não significativo, ^{*}significativo a 5% de probabilidade, ^{**} significativo a 1% de probabilidade.

O CR teve decréscimo conforme o aumento das doses de Se (tabela 5), verificando que o efeito das doses foi negativo para desenvolvimento das raízes das plântulas de paricá. A média de melhor resposta foi na ausência de Se 0 μM (14,25 cm), em contrapartida a dose de 15 μM de Se, com menor média (11,36 cm), verificando assim, que o Se em altas doses pode ser prejudicial no crescimento das raízes, sendo este o órgão da planta que possui contato direto com o metal.

A MSR também obteve um decréscimo com o aumento das doses de Se (tabela 5), em que a medida que as doses aumentavam, a produção de MSR diminuiu. A média melhor produção de MSR foi na ausência de Se 0 μM (25,24 mg) e na maior dose de Se 15 μM correspondeu a menor produção de MSR (22,24 mg), evidenciando que a dose de

maior concentração de Se pode ter influenciando negativamente na produção de biomassa da raiz das plântulas de paricá.

Tabela 5. Comprimento da raiz (CR) e massa seca da raiz (MSR) das plântulas de paricá, submetidas a doses de Se (0, 5, 10, 15 μM).

Se μM	CR (cm)	MSR (mg plântula ⁻¹)
0	14,25 \pm 0,16 a	25,24 \pm 0,55 a
5	13,59 \pm 0,28 a	24,32 \pm 0,45 a
10	12,06 \pm 0,19 b	24,27 \pm 0,55 a
15	11,36 \pm 0,18 c	22,24 \pm 0,62 b

O decréscimo no CR e MSR, mesmo não sendo variáveis concisas para tal afirmação, elas podem estar evidenciando uma possível fitotoxidez ocasionada pelo aumento das concentrações de Se. Para Hawrylak-Nowak et al. (2015), o Se em concentrações baixas estimula o crescimento das plantas, ao mesmo tempo podendo ser um inibidor do crescimento em altas concentrações.

O Se pode inibir a divisão celular e o alongamento celular, o que poderia ser a razão para a redução do comprimento da raiz nas doses (SINGH et al. 2013). Ramos et al. (2011) inferiu que a redução na produção de raiz está relacionada com a transformação da cisteína e metionina em selenocisteína e selenometionina. Segundo Zhu et al. (2009), essa substituição ocorre devido à semelhança estrutural entre o Se e o S e altera a síntese e função de aminoácidos e proteínas nas plantas. Além disso, Pazurkiewicz-Kocot et al. (2008) relataram que o Se no interior da planta atua como análogo do S, interferindo nas reações bioquímicas celulares e estruturais das plantas.

A interação entre as doses de Cr e Se, afetaram o comprimento da parte aérea (CPA), apresentando maior comprimento nas concentrações de 160 μM de Cr e 15 μM de Se, com média de 24,5 \pm 0,3 cm, em que nesse tratamento a dose de 15 μM de Se pode ter atenuado o efeito da dose de 160 μM de Cr, favorecendo o crescimento das plântulas de paricá (tabela 6).

Em contrapartida o tratamento de maior dose de Cr 240 μM e Se 15 μM , obteve menor crescimento, com a média de 22,3 \pm 0,3 cm, evidenciando uma possível toxidez pela dose de Cr 240 μM , em que a dose de 15 μM de Se não atenuou o efeito nocivo do Cr nas plântulas de paricá (tabela 6).

Tabela 6. Comprimento da parte aérea (CPA) de plântulas de paricá (*Schizolobium parauba* var. *amazonicum*) submetidas a concentrações de CrCl_3 e NaSeO_4 .

Se	Cr	CPA
μM	μM	(cm)
0	0	23,1 \pm 0,4 Aa
	80	23,6 \pm 0,5 Aa
	160	22,9 \pm 0,0 Ba
	240	24,0 \pm 0,6 Aa
5	0	23,6 \pm 0,2 Aa
	80	23,6 \pm 0,5 Aa
	160	23,6 \pm 0,1 Aba
	240	23,4 \pm 0,3 Aba
10	0	24,0 \pm 0,3 Aa
	80	24,3 \pm 0,3 Aa
	160	23,1 \pm 0,1 Ba
	240	23,4 \pm 0,4 Aba
15	0	22,8 \pm 0,5 Abc
	80	23,8 \pm 0,3 Aab
	160	24,5 \pm 0,3 Aa
	240	22,3 \pm 0,3 Bc

Colunas com letras maiúsculas diferentes entre tratamentos de Se (0, 5, 10 e 15 μM de Se sob mesma concentração de Cr) e letras minúsculas diferentes entre tratamentos de Cr (0, 80, 160 e 240 μM de Cr sob mesma concentração de Se) indicam diferenças significativas pelo teste de Tukey ($P < 0.05$). Valores descritos correspondem à médias de quatro repetições \pm DP.

O cromo não é um elemento essencial para as plantas, mas, sua presença nos tecidos vegetais, em pequenas quantidades, pode promover o crescimento em várias espécies já estudadas (BERILLI et al., 2016). Miao e Yan (2013) afirmam também que os solos tratados com diferentes concentrações de lodo, contendo cromo, podem promover o crescimento das plantas que servirão de fitoacumuladoras de cromo. Entretanto, quando em elevadas concentrações, o cromo pode provocar várias desordens morfológicas, fisiológicas e bioquímicas, interferindo em diversos processos metabólicos que são vitais para o crescimento e desenvolvimento das plantas (SINGH et al., 2013).

Parâmetro Bioquímico

Houve interação entre o Cr e Se nas variáveis bioquímicas, exceto a prolina na raiz (PROR) (tabela 7).

Tabela 7. Análise de variância (ANOVA) das variáveis de bioquímica das plântulas de paricá, submetidas a concentrações de CrCl₃ e NaSeO₄.

Causas de variação	GBF	GBR	PROF	PROR	SACF	SACR	PSTF	PSTR	ASTF	ASTR
	mg de glicina betaína g ⁻¹ MS	mg de glicina betaína g ⁻¹ MS	µmol Prolina g ⁻¹ MS	µmol Prolina g ⁻¹ MS	mg de sacarose g ⁻¹ MS	mg de sacarose g ⁻¹ MS	mg de proteína g ⁻¹ MS	mg de proteína g ⁻¹ MS	µmol AA g ⁻¹ MS	µmol AA g ⁻¹ MS
CrCl ₃	5,9815 **	9,6444 **	0,4240 NS	0,5836 NS	311,19 **	432,11 **	771,54 **	147,91 **	1289,3 **	1067,0 **
NaSeO ₄	2,3731 NS	8,9445 **	0,0748 NS	1,3406 NS	77,866 **	56,952 **	84,177 **	244,01 **	44,733 **	195,41 **
CrCl ₃ x NaSeO ₄	2,2176 *	5,6256 **	2,1437 *	0,9113 NS	17,019 **	46,702 **	8,7954 **	15,752 **	2,5363 *	10,323 **
Média	2,58	2,44	97,59	56,24	1,24	0,74	0,89	0,59	101,74	83,77
C (%)	8,7	38,9	1,4	17,9	8,7	1,6	27,4	4,5	2,4	1,44

GBF – glicina-betaína na folha; GBR – glicina-betaína na raiz; PROF- prolina na folha; PROR – prolina na raiz; SACF – sacarose na folha; SACR – sacarose na raiz; PSTF – proteínas solúveis totais na folha; PSTR – proteínas solúveis totais na raiz; ASTF – aminoácidos solúveis totais na folha; ASTR – aminoácidos solúveis totais na raiz; CV% - coeficiente de variação; NS: não significativo, * significativo a 5% de probabilidade, ** significativo a 1% de probabilidade.

A atividade da glicina-betaína nas folhas (tabela 8) tiveram acréscimo conforme as concentrações de Cr e Se aumentavam, podendo observar que no tratamento controle de Se 0 µM e nas concentrações de Cr 0 µM, 80 µM, 160 µM e 240 µM, a produção de glicina-betaína foram baixas e para as concentrações de Cr 240 µM e Se 0 µM (1,80±0,05 mg de glicina betaína g⁻¹ MS).

Com aumento das concentrações de Cr 80 µM, 160 µM e 240 µM, para dose de 15µM de Se, obteve-se uma alta na atividade da glicina-betaína evidenciando o efeito do metal sobre a mesma, e se mostrando em estado de estresse e/ou toxidez nas concentrações de Cr 240 µM e Se 15µM com média de 4,55±0,69 mg de glicina betaína g⁻¹ MS.

Na raiz, a atividade da glicina-betaína, para os tratamentos controles de Cr 0 µM e Se 0 µM, obteve-se a menor produção de glicina-betaína (0,42±0,16 mg de glicina betaína g⁻¹ MS), em contrapartida à medida que as concentrações de Cr e Se aumentavam a atividade de glicina-betaína também aumentava, obtendo maior acréscimo nas

concentrações de Cr 80 μM e Se 10 μM com maior média de $3,76 \pm 0,27$ mg de glicina betaína g^{-1} MS e Cr 160 μM e Se 5 μM com média de $3,55 \pm 0,21$ mg de glicina betaína g^{-1} MS, diminuindo sua atividade nas maiores concentrações de Cr 160 e 240 μM e Se 15 μM , podendo inferir uma leve atenuação do Se na maior concentração de Cr.

O aumento da concentração de glicina betaína em condição de estresse pode estar associado ao mecanismo de defesa e proteção do metabolismo vegetal, uma vez que o acúmulo desse metabólito atua como osmoprotetores (CARLIN & SANTOS, 2009).

Glicina betaína é sintetizado com a ajuda das enzimas colina mono-oxigenase e betaína aldeído desidrogenase pela oxidação da colina, e estas são ativadas sob condições estressantes (RHODES & HANSON 1993; WANI et al., 2013), apresentando maior conteúdo de glicina betaína em resposta ao estresse de metais pesados (DHIR et al., 2012; DAS et al., 2014), sendo isto observado um aumento crescente da atividade da glicina betaína nas raízes das plântulas de paricá. Segundo D'Souza e Devaraj (2010) o acúmulo de glicina betaína normalmente ocorre mais nas espécies tolerantes do que nas espécies sensíveis.

A produção de prolina nas folhas (tabela 8) obteve uma produção mínima nas concentrações de Cr 0 μM e Se 0 μM de $60,7 \pm 3,4$ μmol Prolina g^{-1} MS. No tratamento controle de Se 0 μM e Cr 160 e 240 μM obteve um aumento na produção de prolina com valores de $110,0 \pm 1,1$ e $107,8 \pm 2,4$ μmol Prolina g^{-1} MS respectivamente. Já no tratamento com 5 μM de Se, a produção de prolina diminuiu conforme o aumento das doses de Cr, em que no tratamento de Se 5 μM e Cr 240 μM , apresentou resposta de $65,5 \pm 5,0$ μmol Prolina g^{-1} MS, podendo inferir a ação do Se na possível atenuação do estresse causado pelo Cr.

Nas concentrações de Se 10 μM e Cr 80 μM , foi a maior produção de prolina, com média de $155,4 \pm 4,7$ μmol Prolina g^{-1} MS, e nas concentrações de Se 15 μM e Cr 240 μM com média de $125,2 \pm 3,9$ μmol Prolina g^{-1} MS, em que o Se não conseguiu atenuar o estresse pelo Cr, associando-se juntamente com o Cr provocando uma leve toxidez.

O acúmulo de prolina nas maiores concentrações de Se pode ter ocorrido devido às alterações no metabolismo do nitrogênio e sua assimilação (ARDEBILI et al., 2015). A prolina desempenha um papel significativo no controle do dano oxidativo, pois reage com radical hidroxila e elimina espécies de oxigênio singlete (ALIA et al., 2001).

Além disso, a prolina pode formar quelatos com íons metálicos para ajudar no combate ao estresse por metais pesados, imobilizando-o dentro da planta (KHATTAB, 2004). O estresse de metais pesados também induz a ativação da Δ^1 -pirrolina-5 carboxilato sintase, que está envolvida na biossíntese de prolina (HANDA et al., 2018).

Tabela 8. Atividades das variáveis bioquímicas nas plântulas de paricá (*Schizolobium parayba* var. *amazonicum*) submetidas a concentrações de CrCl_3 e NaSeO_4 .

Se	Cr	GBF	GBR	PROF	SACF	SACR	PSTF	PSTR	ASTF	ASTR
μM	μM	mg de glicina betaína g^{-1} MS	μmol Prolina g^{-1} MS	mg de sacarose g^{-1} MS	mg de proteína g^{-1} MS	μmol AA g^{-1} MS				
0	0	1,83±0,50 Aa	0,42±0,16 Bb	60,7±3,4 Dc	1,205±0,006 Bc	0,718±0,003 Cb	1,075±0,018 Ab	0,624±0,006 Ad	116,9±0,8 Ab	88,3±0,6 Ad
	80	2,30±0,47 Aa	1,31±0,37 Bb	86,3±4,5 Cb	1,290±0,007 Ab	0,774±0,004 Aa	1,115±0,013 Aab	0,720±0,004 Ab	119,2±0,4 Aab	94,1±1,0 Ac
	160	3,01±0,18 Aa	2,45±0,51 Ba	110,0±1,1 Aa	1,355±0,006 Aa	0,778±0,002 Aa	1,123±0,011 Aa	0,748±0,006 Aa	121,0±0,2 Aa	96,5±0,3 Ab
	240	1,80±0,05 Ba	2,54±0,52 Aa	107,8±2,4 Ba	1,195±0,006 Bc	0,713±0,003 Bb	1,018±0,011 Ac	0,665±0,006 Ac	118,5±0,9 Ab	102,3±1,0 Aa
5	0	2,02±0,53 Aa	2,16±0,35 Ab	122,2±2,1 Aa	1,325±0,020 Aa	0,748±0,006 Bb	0,845±0,013 Bc	0,543±0,006 Bc	99,4±1,6 Bc	86,6±0,9 Ac
	80	2,18±0,26 Aa	1,76±0,15 Bb	117,8±3,1 Ba	1,300±0,004 Aab	0,752±0,001 Bab	0,908±0,006 Bb	0,590±0,009 Bb	103,9±0,5 Bb	87,5±0,3 Bbc
	160	2,45±0,29 Aa	3,55±0,21 Aa	88,2±1,4 Bb	1,320±0,008 ABa	0,754±0,002 Bab	0,965±0,009 Ba	0,618±0,005 Ba	107,2±0,8 Ba	89,6±0,3 Bab
	240	2,13±0,22 Ba	2,54±0,28 Aab	65,5±5,0 Dc	1,280±0,004 Ab	0,760±0,001 Aa	0,915±0,009 Bb	0,585±0,003 Bb	106,8±0,3 Ba	90,2±0,3 Ba
10	0	2,67±0,30 Aa	2,21±0,25 Ab	101,9±1,5 Bb	1,360±0,017Aa	0,784±0,002 Aa	0,760±0,009 Cc	0,508±0,009 Cc	91,8±0,8 Cb	74,9±0,6 Bc
	80	2,45±0,33 Aa	3,76±0,27 Aa	155,4±4,7 Aa	1,325±0,006 Aab	0,775±0,001 Aa	0,813±0,009 Cb	0,563±0,011 Cb	93,9±0,7 Cab	79,2±0,2 Cb
	160	2,90±0,20 Aa	2,19±0,23 Bb	62,6±5,2 Dd	1,315±0,006 Bb	0,762±0,003 Bb	0,885±0,006 Ca	0,608±0,003 Ba	95,8±0,3 Ca	83,4±0,6 Ca
	240	3,01±0,24 ABa	2,78±0,17 Aab	87,6±1,2 Cc	1,193±0,019 Bc	0,759±0,001 Ab	0,810±0,007 Cb	0,560±0,016 Bb	96,0±0,6 Ca	85,6±0,6 Ca
15	0	2,51±0,15 Ab	2,35±0,13 Aa	92,0±2,7 Cb	1,048±0,013 Cb	0,690±0,003 Db	0,660±0,009 Dc	0,425±0,003 Dc	85,3±0,8 Dc	63,0±1,1 Cd
	80	2,80±0,47 Ab	2,96±0,23 Aa	66,0±1,9 Dc	1,138±0,013 Ba	0,707±0,002 Ca	0,740±0,011 Db	0,590±0,004 Ba	87,9±0,7 Dbc	69,1±0,2 Dc
	160	2,59±0,26 Ab	2,91±0,19 ABa	91,4±6,2 Cb	1,160±0,004 Ca	0,712±0,004 Ca	0,818±0,005 Da	0,595±0,006 Ba	93,1±1,0 Ca	72,3±0,8 Db
	240	4,55±0,69 Aa	2,54±0,10 Aa	125,2±3,9 Aa	1,023±0,014 Cb	0,695±0,002 Cb	0,750±0,015 Db	0,480±0,007 Cb	91,1±0,8 Dab	77,7±0,3 Da

GBF – glicina-betaína na folha; GBR – glicina-betaína na raiz; PROF- prolina na folha; PROR – prolina na raiz; SACF – sacarose na folha; SACR – sacarose na raiz; PSTF – proteínas solúveis totais na folha; PSTR – proteínas solúveis totais na raiz; ASTF – aminoácidos solúveis totais na folha; ASTR – aminoácidos solúveis totais na raiz; Colunas com letras maiúsculas diferentes entre tratamentos de Cr (0, 5, 10 e 15 μM de Cr sob mesma concentração de Se) e letras minúsculas diferentes entre tratamentos de Se (0, 80, 160 e 240 μM Zn sob mesma concentração de Cr) indicam diferenças significativas pelo teste de Tukey ($P < 0.05$). Valores descritos correspondem à médias de quatro repetições \pm DP.

A produção de sacarose nas folhas (tabela 8) diminuía conforme o aumento das doses de Cr, entretanto sua diminuição em concentrações elevadas de Cr era minimizada com as doses de Se 5 e 10 μM , em que obtiveram maiores produção nas doses de Se 5 μM e Cr 160 μM , média de $1,320\pm 0,008$ mg de sacarose g^{-1} MS.

Nas concentrações de Se 10 μM e Cr 80 μM a média de produção de sacarose foi $1,325\pm 0,006$ mg de sacarose g^{-1} MS. No tratamento controle de Cr 0 μM com Se 5 μM e 10 μM , obtiveram médias de maiores médias de sacarose, com $1,325\pm 0,020$ e $1,360\pm 0,017$ mg de sacarose g^{-1} MS, respectivamente. No tratamento de Se 15 μM , foram os de menor produção de sacarose, enfatizando as concentrações de menor produção Se 15 μM e Cr 240 μM com $1,023\pm 0,014$ mg de sacarose g^{-1} MS.

Na raiz, a sacarose obteve maior produção na concentração de Se 10 μM , com maior produção de sacarose nas concentrações de Se 10 μM e Cr 0 μM , $0,784\pm 0,002$ mg de sacarose g^{-1} MS, evidenciando o efeito benéfico do Se no metabolismo das plântulas de paricá. Entretanto na concentração de 15 μM de Se, obteve-se menores respostas na produção de sacarose, em que a menor produção se deram nas concentrações de Se 15 μM e Cr 240 μM , com média de $0,695\pm 0,002$ mg de sacarose g^{-1} MS, indicando assim, que o Se não atenuou o estresse na maior dosagem de Cr.

O aumento da sacarose nas concentrações de Cr com as menores doses de Se, pode ser uma resposta a toxicidade levada pelo Cr, em que a menor dose de Se não teve efeito atenuador. Segundo Gopal et al. (2009) o estresse de Cr nas plantas leva à redução da disponibilidade de água, o que ainda causa estresse hídrico devido ao potencial hídrico reduzido. Portanto, o estresse hídrico induz o acúmulo de osmólitos que também incluem vários tipos de açúcares, sendo a sacarose um deles (SMIRNOFF, 1993).

Os teores de sacarose aumentaram na presença do Se, isso se deve ao aumento da atividade de amilases induzida por Se que pode ter estabelecida nas plântulas e essas enzimas, hidrolíticas, são responsáveis pela hidrólise do amido em açúcares simples, podendo quebrar as moléculas de amido em glicose (MALIK et al. 2011).

As proteínas solúveis totais apresentaram diminuição conforme o aumento das doses de Se, resultando assim, sua maior produção dentro do tratamento com Se 0 μM e menor produção no tratamento com Se 15 μM (tabela 8).

Para a dose de Cr 160 μM e Se 0 μM , obteve-se maior produção de proteínas solúveis totais, com média de $1,123 \pm 0,011$ mg de proteína g^{-1} MS, em contrapartida na mesma dose de Cr 160 μM com Se 15 μM , obteve-se menor produção, com média de $0,818 \pm 0,005$ mg de proteína g^{-1} MS, entretanto as concentrações de menor produção foram de Cr 0 μM com Se 15 μM , com média de $0,660 \pm 0,009$ mg de proteína g^{-1} MS.

Para a maior concentração de Cr, observou-se que com o aumento das doses de Se juntamente com Cr 240 μM ocorreu uma diminuição das proteínas. Para a dose de Cr 240 μM e Se 0 μM , observou-se maior produção de proteínas solúveis totais, com média de $1,118 \pm 0,011$ mg de proteína g^{-1} MS, já na mesma dose de Cr 240 μM com Se 15 μM , obteve-se menor produção, com média de $0,750 \pm 0,015$ mg de proteína g^{-1} MS.

As proteínas solúveis totais na raiz, apresentaram maiores médias de produção no tratamento com Se 0 μM , sendo a maior média de produção de proteínas nas concentrações de Se 0 μM e Cr 240 μM com $0,748 \pm 0,006$ mg de proteína g^{-1} MS, e menor média de produção nas doses de Se 15 μM e Cr 0 μM com $0,425 \pm 0,003$ mg de proteína g^{-1} MS.

A produção de proteínas solúveis totais obteve as maiores médias na concentração de Cr 160 μM para dos tratamentos de Se 0, 5, 10 e 15 μM , podendo evidenciar que nessa dose pode ter ocorrido um benefício desse metal no metabolismo desse soluto.

O teor de proteína nas plântulas de paricá aumentaram conforme o aumento das doses de Cr e posteriormente diminuiram na maior dose de Cr. Foi sugerido por Nag et al. (1981) que a redução no teor de proteína está relacionado ao teor de nitrogênio reduzido, que é o precursor para a síntese de aminoácidos e proteínas, uma vez que o metal possa estar interferindo no metabolismo do nitrogênio.

Conseqüentemente, o conteúdo de proteínas pode ser reduzido sob estresse de metal (SHARMA et al. 2011). Além disso, foi verificado nesse estudo, que o teor de proteínas diminuiu com aumento do Se. Uma vez que o metabolismo do enxofre (S) tem efeito direto sobre o metabolismo N, portanto, pode-se presumir que o Se pode ter um efeito na biossíntese de aminoácidos e proteínas (MALAGOLI et al. 2015). Porque o metabolismo do enxofre afeta diretamente o metabolismo do nitrogênio. Portanto, está implícito que o Se promove a biossíntese de aminoácidos (KUMAR et al., 2016).

Os aminoácidos solúveis totais apresentaram acréscimos nos tratamentos com as maiores concentrações de Cr, sendo estas de 160 e 240 μM de Cr, e para as concentrações de Se, ocorreu uma diminuição dos aminoácidos conforme o aumento das concentrações (tabela 8).

O teor de aminoácidos nas folhas assemelhou-se ao comportamento do teor de proteínas, em que nas concentrações de Cr 160 μM e Se 0 μM , obteve-se maior produção de aminoácidos solúveis totais, com média de $121,0 \pm 0,2 \mu\text{M AA g}^{-1} \text{MS}$, em contrapartida na dose de Cr 0 μM com Se 15 μM , obteve-se menor produção, com média de $85,3 \pm 0,8 \mu\text{M AA g}^{-1} \text{MS}$, podendo inferir que o Se não teve efeito como atenuador do estresse pelo Cr.

Na raiz, os teores dos aminoácidos solúveis totais foram inferiores aos da folha, verificando que a concentração de Cr 240 μM nas doses de Se 0, 5, 10 e 15 μM , obtiveram médias iguais, entretanto as concentrações de Cr 240 μM e Se 0 μM apresentou maior teor de aminoácidos, com $102,3 \pm 1,0 \mu\text{M AA g}^{-1} \text{MS}$, e nas concentrações de Cr 240 μM e Se 15 μM , o teor de aminoácidos foi em média $77,7 \pm 0,3 \mu\text{M AA g}^{-1} \text{MS}$, verificando que ocorreu uma diminuição na produção de aminoácidos conforme o aumento das doses de Se, indicando que o Se obteve o papel como atenuador.

Como o Se compete com S, sabendo-se que o metabolismo do enxofre afeta diretamente o metabolismo do nitrogênio, portanto, está implícito que o Se interfere na biossíntese de aminoácidos (Kumar et al., 2016).

4.4 Conclusão

O paricá se mostrou uma planta resistente as doses de Cr e Se estudada nessa pesquisa.

O Se e o Cr não afetaram as variáveis germinativas, exceto a taxa de germinação das sementes de paricá, em que o Se promoveu o aumento.

O aumento das concentrações de Se 5 μM , 10 μM e 15 μM tiveram efeito negativo no comprimento da raiz e massa seca da raiz. Juntamente com o Cr, o Se afetou positivamente no crescimento em altura das plântulas de paricá.

O metabolismo bioquímico das plântulas de parica foram afetados pelas doses de Cr e Se, exceto a prolina na raiz, e as doses de Se 5 μM e 10 μM , obtiveram melhores desempenho, como um possível atenuador ao estresse causado pelas doses de Cr.

Em geral, o Se não promoveu respostas satisfatórias como atenuador ao estresse causado pelas doses de Cr.

4.5 Referências bibliográficas

AFONSO, M. V.; PEREIRA, A. S.; DORNELES, A. O. S.; BERNARDY, K.; ROSSATO, L. V.; TABALDI, L. A. Efeitos do selênio e do silício na produção de biomassa em plantas de *pfaffia glomerata* expostas ao cádmio. Universidade Regional UNIJUÍ. **Relatório técnico-científico**. In: XXI Jornada de Pesquisa, p. 5, 2016.

AHMAD, P.; ABDEL LATEF, A.A.; HASHEM, A.; ABD_ALLAH, E.F.; GUCEL, S. Nitric oxidemitigates salt stress by regulating levels of osmolytes and antioxidant enzymes in chickpea. **Frontiers in Plant Science**, v. 7, 2016.

AKLADIOUS, S.A. Influence of different soaking times with selenium on growth, metabolic activities of wheat seedlings under low temperature stress. **African Journal of**

ALIA, P.; MOHANTY, P.; MATYSIK, J. Effect of proline on the production of singlet oxygen. **Amino Acids**, v. 21, p. 195–200, 2001.

ALIA, P.; MOHANTY, P.; MATYSIK, J. Effect of proline on the production of singlet oxygen. **Amino Acids**, v. 21, p. 195–200, 2001.

ARDEBILI, Z.; ARDEBILI, N.; JALILI, S.; SAFIALLAH, S. Themodified qualities of basil plants by selenium and/or ascorbic acid. **Turkish Journal of Botany**, v. 39, p. 401–407, 2015.

ARDEBILI, Z.; ARDEBILI, N.; JALILI, S.; SAFIALLAH, S. Themodified qualities of basil plants by selenium and/or ascorbic acid. **Turkish Journal of Botany**, v. 39, p. 401–407, 2015.

ASHFAQUE, F. INAM, A.; INAM, A.; IQBAL, S.; SAHAY, S. Response of silicon onmetal accumulation, photosynthetic inhibition and oxidative stress in chromium-induced mustard (*Brassica juncea* L.). **Revista South African Journal of Botany**, v. 111, p. 153–160, 2017.

BANSAL, A.; SHARMA, S.; DHILLON, S. K.; DHILLON, K. S. Selenium accumulation and biochemical composition of *Brassica* grains grown in selenate or selenite treated alkaline sandy loam soil. **Commun. Soil Sci. Plant Anal.** v. 43, p. 1316–1331, 2012.

BATES LS, WALDREN RP, TEARE ID. Rapid determination of free proline for water stress studies. **Plant and Soil**, v. 39, p. 205-207, 1973.

BERILLI, S. S.; ALAN ALVINO FALCÃO ZOOCA, A. A. F.; REMBINSKI, J.; SALLA, P. H. H.; JONAS DIAS DE ALMEIDA, D.; MARTINELI, L. Influência do acúmulo de cromo nos índices de compostos secundários em mudas de café conilon. **Revista Coffee Science**, Lavras, v. 11, n. 4, p. 512 - 520, 2016.

BRADFORD, M. M. A rapid and sensitive method for the quantitation of microgram quantities of protein utilizing the principle of protein-dye binding. **Analytical Biochemistry**. v. 72, p.248-254,1976.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Regras para Análise de Sementes**. Brasília: Mapa/ACS, 399 p., 2009.

CAIONE, G.; LANGE, A. & LUIZ, E. Crescimento de mudas de *Schizolobium amazonicum* (Huber ex Ducke) em substrato fertilizado com nitrogênio, fósforo e potássio. **Scientia Florestalis**, v. 40, n. 94, p. 213-221, 2012.

CARLIN, S. D.; SANTOS, D. M. M. Indicadores fisiológicos da interação entre déficit hídrico e acidez do solo em cana-de-açúcar. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.44, n.9, p.1106-1113, 2009.

D'SOUZA, M. R. D.; DEVARAJ, V. R. Biochemical responses of Hyacinth bean (*Lablab purpureus*) to salinity stress. **Acta Physiologiae Plantarum**, v.32, n.2, p.341-353, 2010.

DAS, K.; MANDAL, C.; GHOSH, N.; DEY, N.; ADAK, M.K. Responses of *Marsilea minuta* L. to cadmium stress and assessment of some oxidative biomarkers. **American Journal of Plant Sciences** 05:1467–1476, 2014.

DAUD, M.K., MEI, L., VARIATH, M.T., ALI, S., LI, C., RAFIQ, M.T., ZHU, S.J., Chromium (VI) uptake and tolerance potential in cotton cultivars: effect on their root physiology, ultramorphology, and oxidative metabolism. **Revista BioMed. Res. Int.**, p. 1–12, 2014.

DHIR, B.; NASIM, S. A.; SAMANTARY, S.; SRIVASTAVA, S. Assessment of osmolyte accumulation in heavy metal exposed *Salvinia natans*. **International Journal of Botany**, v. 8, p. 153–158, 2012.

DIAO, M.; MA, L.; WANG, J.; CUI, J.; FU, A.; LIU, H.Y. Selenium promotes the growth and photosynthesis of tomato seedlings under salt stress by enhancing chloroplast antioxidant defense system. **Revista Journal of Plant Growth Regulation**, v. 33, n. 3, p. 671-682, 2014.

DUBOIS, M.; GILLES, K.A.; HAMILTON, J.K.; REBERS, P.A.; SMITH, F. Colorimetric method for determination of sugars and related substances. **Analytical Chemistry**, v. 28, p. 350-356, 1956.

DUCKE, A. **Notas sobre a flora neotrópica II: as leguminosas da Amazônia brasileira**. 2ª edição. Belém: IAN. 248 p. (IAN Boletim Técnico, 18), 1949.

FERREIRA, D. F. Sisvar: a computer analysis system to fixed effects split plot type designs. **Revista Brasileira de Biometria**, v. 37, n. 4, p. 529-535, 2019.

FREITAS, D. A.; SOUSA, I. P.; COUTINHO, M. N.; ALVARENGA, A. C. Effect of heavy metals copper and chromium on soil: germination and initial development of *Myracrodruon urundeuva*. **Brazilian Journal Animal Environmental Research**, v. 3, n. 1, p.162-171, 2020.

GOMES, M. A. C.; HAUSER-DAVIS, R. A.; SUZUKI, M. S.; VITÓRIA, A. P. Plant chromium uptake and transport, physiological effects and recent advances in molecular investigations. **Revista Ecotoxicology and Environmental Safety**, v. 140, p. 55–64, 2017.

GOPAL, R.; RIZVI, A. H.; NAUTIYAL, N. Chromium alters iron nutrition and water relations of spinach. **Journal of Plant Nutrition**, v. 32, p. 1551–1559, 2009.

GRIEVE, C.M., GRATAN, S.R. Rapid assay for determination of water soluble quaternary ammonium compounds. **Plant and Soil** 70: 303-307, 1983.

GRISI, P. U.; GUALTIERI, S. C. J.; RANAL, M. A.; SANTANA, D. G. Efeito alelopático do fruto de *Sapindus saponaria* na germinação e na morfologia de plântulas daninhas e de hortaliças. **Planta daninha**, v. 29, n. 2, p. 311-322, 2011.

HAN, G. Q.; LI, J.; SONG, M. M.; LIU, H. Y. Effects of selenium on the germination of tomato seeds and protective system against active oxygen under salt stress. **J Shihezi Univ Nat Science**, v. 28, p. 422–426, 2010.

HANDA, N.; KOHLI, S.K.; SHARMA, A.; THUKRAL, A. K.; BHARDWAJ,R.; ALYEMENI, M.N.; WIJAYA, L.; AHMAD, P. Selenium ameliorates chromium toxicity through modifications in pigment system, antioxidative capacity, osmotic system, and metal chelators in *Brassica juncea* seedlings. **Revista South African Journal of Botany**, v. 119, p. 1–10, 2018.

HASANUZZAMAN, M., FUJITA, M., 2011. Selenium pretreatment upregulates the antioxidant defense and methylglyoxal detoxification system and confers enhanced tolerance to drought stress in rapeseed seedlings. **Biological Trace Element Research**, v. 143, p. 1758–1776, 2011.

HAWRYLAK-NOWAK B. Comparative effects of selenite and selenate on growth and selenium accumulation in lettuce plants under hydroponic conditions. **Revista Plant Growth Regul**, v. 70, p. 149–157, 2013.

HAWRYLAK-NOWAK, B.; MATRASZEK, R.; POGORZELEC, M. The dual effects of two inorganic selenium forms on the growth, selected physiological parameters and macronutrients accumulation in cucumber plants. **Acta Physiol Plant**, p. 37-41, 2015.

IGANCI, J. R. V.; BOBROWSKI, V. L.; HEIDEN, G.; STEIN, V. C; ROCHA, B. H. G. Efeito do extrato aquoso de diferentes espécies de boldo sobre a germinação e índice mitótico de *Allium cepa* L. **Arquivos do Instituto Biológico**, v. 73, n. 1, p. 79-82, 2006.

KHATTAB, H. 2004. Metabolic and oxidative responses associated with exposure of *Eruca sativa* (rocket) plants to different levels of selenium. **International Journal of Agriculture and Biology**, v. 6, p. 1101–1106, 2004.

KOTÁS, J.; STASICKA, Z. Chromium occurrence in the environment and methods of its speciation. **Revista Environmental Pollution**, v. 107, p. 263-283, 2000.

KUMAR, A.; DIXIT, G.; SINGH, A.P.; DWIVEDI, S.; SRIVASTAVA, S.; MISHRA, K.; TRIPATHI, R.D. Selenate mitigates arsenite toxicity in rice (*Oryza sativa* L.) by reducing arsenic uptake and ameliorates amino acid content and thiol metabolism. **Ecotoxicology Environmental Safety**, v. 133, p. 350–359, 2016.

MAGUIRE, J. D. Speed of germination-aid in and evaluation for seedling emergence and vigour. **Crop Science**, Madison, v. 2. n. 1, p.176-177, 1962.

MALAGOLI, M.; SCHIAVON, M.; PILON-SMITS, E. A. (2015) Effects of selenium biofortification on crop nutritional quality. **Frontiers Plant Science**, v. 6, p. 280, 2015.

MALIK, J. A.; KUMAR, S.; THAKUR, P.; SHARMA, S.; KAUR, N.; KAUR, R.; PATHANIA, D.; BHANDHARI, K.; KAUSHAL, N.; SINGH, K.; SRIVASTAVA, A.; NAYYAR, H. Promotion of Growth in Mungbean (*Phaseolus aureus* Roxb.) by Selenium is Associated with Stimulation of Carbohydrate Metabolism. **Biological Trace Element Research**, v. 143, p. 530-539, 2011.

MALIK, J.A.; KUMAR, S.; THAKUR, P.; SHARMA, S.; KAUR, N.; KAUR, R.; PATHANIA, D.; BHANDHARI, K.; KAUSHAL, N.; SINGH, K.; SRIVASTAVA, A.; NAYYAR, H. Promotion of growth in Mungbean (*Phaseolus aureus* Roxb.) by selenium is associated with stimulation of carbohydrate metabolism. **Revista Biol. Trace Elem. Res.** V. 143, p. 530–539, 2011.

MIAO, Q; YAN, J. Comparison of three ornamental plants for phytoextraction potential of chromium removal from tannery sludge. **Journal de Mater Cycles Waste Management**, v. 15, p. 98–105, 2013.

MOUSSA, H. R.; AHMED, A. E. M. Protective role of selenium on development and physiological responses of *Vicia faba*. **International Journal Vegetable Science** v. 16, p. 174–183, 2010.

NAJAFIAN, M.; KAFILZADEHM, F.; AZAD, H.M.; TAHERY, Y. Toxicity of chromium (Cr⁶⁺) on growth, ions and some biochemical parameters of *Brassica napus* L. **American-Eurasian Journal of Agricultural and Environmental Sciences**, v. 12, p. 237–242, 2012.

OWUSU-SEKYERE A.; KONTTURI, J.; HAJIBOLAND, R.; RAHMAT, S.; ALIASGHARZAD,N.; HARTIKAINEN, H.; SEPPÄNEN, M. M. Influence of selenium (Se) on carbohydrate metabolism, nodulation and growth in alfalfa (*Medicago sativa* L.). **Revista Plant Soil** v. 373, p. 541–552, 2013.

PAZURKIEWICZ-KOCOT, K.; KITA, A. & ANDPIETRUSZKA, M. Effect of selenium on magnesium, iron, manganese, copper, and zinc accumulation in corn treated by indole-3-acetic acid. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, v. 39, p. 2303-2318, 2008.

PEOPLES, M.B; FAIZAH, A.W; REAKASEM, B.E; HERRIDGE, D.F. **Methods for evaluating nitrogen fixation by nodulated legumes in the field**. Australian. Centre for International Agricultural Research Canberra. 76p.1989.

PERALTA, J. R.; GARDEA -TORRESDEY, J. L.; TIEMANN, K. J. et al. Uptake and effects of five heavy metals on seed germination and plant growth in alfalfa (*Medicago sativa*) L. B. **Environmental Contamination Toxicology**, v.66, n.6, p. 727–734, 2001.

PUKACKA, S., RATAJCZAK, E., KALEMBA, E. The protective role of selenium in recalcitrant *Acer saccharum* L. seeds subjected to desiccation. **Revista Journal of Plant Physiology**, v. 168, p. 220–225, 2011.

RAMOS, S. J.; FAQUIN, V.; DE ALMEIDA, H. J. A.; GUIMARÃES GUILHERME L. R.; ALVES BASTOS, C. E. Selenate and selenite on yield, mineral nutrition and biofortification with selenium in lettuce cultivars. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, v. 35, p. 1347–1355.

RHODES, D.; HANSON, A. Quaternary ammonium and tertiary sulfonium compounds in higher plants. **Annual Review of Plant Biology**, v. 44, p. 357–384, 1993.

RODRIGUEZ, E., et al. Chromium (VI) induces toxicity at different photosynthetic levels in pea. **Plant Physiology Biochemistry**, v. 53, p. 94–100, 2012.

SHANKER, A.K., et al. Chromium toxicity in plants. **Revista Environmental International**, v. 31, p. 739–753, 2005.

SHARMA, I.; PATI, P. K.; BHARDWAJ, R. Effect of 24-epibrassinolide on oxidative stress markers induced by nickel-ion in *Raphanus sativus* L. **Acta Physiologiae Plantarum**, v. 33, n. 5, p. 1723–1735, 2011.

SHUKLA, O. P.; JUWARKAR, A. A; SINGH, S. K. et al. **Growth responses and metal accumulation capabilities of woody plants during the phytoremediation of tannery sludge**. Waste management (New York, N.Y.), 2011, v. 31, n. 1, p. 115-23.

SINGH, H.P., et al., 2013. Chromium toxicity and tolerance in plants. **Environmental Chemistry Letters**. V. 11, p. 229–254, 2013.

SINGH, H.P., MAHAJAN, P., KAUR, S., BATISH, D.R., KOHLI, R.K. Chromium toxicity and tolerance in plants. **Revista Environmental Chemistry Letters**, v. 11, p. 229–254, 2013.

SMIRNOFF, N. Plant resistance to environmental stress. **Current Opinion in Biotechnology**, v. 9, p. 214–219, 1998.

SOLEIMANZADEH, H. Response of sunflower (*Helianthus annuus* L.) to selenium application under water stress. **Revista World Applied Sciences Journal**, v. 17, n. 9, p. 1115-1119, 2012.

TCHOUNWOU, P.B.; et al. Heavy metals toxicity and the environment. **Revista E. X. S.**; v. 101, p. 133–164, 2012.

TEIMOURI, S.; HASANPOUR, J.; AKBAR, A. Effect of selenium spraying on yield and growth indices of wheat (*Triticum aestivum* L.) under drought stress condition. **International Journal of Advanced Biological and Biomedical**. v. 2, p. 2091–2103, 2014.

VELMA, V., et al. Ecotoxicology of hexavalent chromium in freshwater fish: a critical review. **Revista Environmental Health**, v. 24, p. 129–146, 2009.

WANI, H., SINGH, B., ATHOKPAM, H., JAVED, I. Compatible solute engineering in plants for abiotic stress tolerance-role of glycine betaine. **Current Genomics** 14, 157–165, 2013.

WEATHERBURN, M.W. Phenol hypochlorite reaction for determination of ammonia. **Analytical Chemistry**. v. 39, p.971-974, 1967.

YAO, X.; CHU, J.; HE, X.; BA, C. Protective role of selenium in wheat seedlings subjected to enhanced UV-B radiation. **Revista Russian Journal of Plant Physiology**, v. 58, p. 283–289, 2011.

ZHU, Y.G.; PILON-SMITS, E.A.H.; ZHAO, F.J.; WILLIAMS, P.N. & MEHARG, A.A. Selenium in higher plants: Understanding mechanisms for biofortification and phytoremediation. **Trends Plant Science.**, 14:436-442, 2009.

ZOU, J.H.; WANG, M.; JIANG, W. S.; LIU, D. H. Effects of hexavalent chromium (VI) on root growth and cell division in root tip cells of *Amaranthus viridis* L. **Pakistan Journal of Botany**, v. 38, p. 673-681, 2006.