

INSTITUTO FEDERAL GOIANO – CAMPUS RIO VERDE
BACHARELADO EM CIÊNCIAS BIOLÓGICAS

LARA KANASHIRO MOTA

**EFEITOS ANATÔMICOS NAS RAÍZES DE *TALINUM PANICULATUM*
(JACQ.) GAERTN. EXPOSTAS A DOSES CRESCENTES DE COBRE**

RIO VERDE – GO

2021

LARA KANASHIRO MOTA

**EFEITOS ANATÔMICOS NAS RAÍZES DE *TALINUM PANICULATUM*
(JACQ.) GAERTN. EXPOSTAS A DOSES CRESCENTES DE COBRE**

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado ao Instituto Federal de
Educação, Ciência e Tecnologia
Goiano - Campus Rio Verde, como
parte das exigências da disciplina
TCC-214 – Trabalho de Curso II,
do curso de Bacharelado em
Ciências Biológicas.

Orientadora: Prof.^a Dr.^a Valdnéia Casagrande Dalvi

Orientador: Prof. Dr. Rafael Marques Pereira Leal

RIO VERDE – GO

2021

Sistema desenvolvido pelo ICMC/USP
Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
Sistema Integrado de Bibliotecas - Instituto Federal Goiano

M917e Mota, Lara Kanashiro
EFEITOS ANATÔMICOS NAS RAÍZES DE TALINUM
PANICULATUM (JACQ.) GAERTN. EXPOSTAS A DOSES
CRESCENTES DE COBRE / Lara Kanashiro Mota;
orientadora Dr.^a Valdneá Casagrande Dalvi ; co-
orientador Dr. Rafael Marques Pereira Leal. -- Rio
Verde, 2021.
23 p.

TCC (Graduação em Bacharelado em Ciências
Biológicas) -- Instituto Federal Goiano, Campus Rio
Verde, 2021.

1. Anatomia. 2. Cobre. 3. Fitorremediação. 4.
Raiz. I. Dalvi , Dr.^a Valdneá Casagrande , orient.
II. Leal, Dr. Rafael Marques Pereira , co-orient.
III. Título.

Responsável: Johnathan Pereira Alves Diniz - Bibliotecário-Documentalista CRB-1 n°2376

**TERMO DE CIÊNCIA E DE AUTORIZAÇÃO PARA DISPONIBILIZAR PRODUÇÕES TÉCNICO-CIENTÍFICAS
NO REPOSITÓRIO INSTITUCIONAL DO IF GOIANO**

Com base no disposto na Lei Federal nº 9.610/98, AUTORIZO o Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano, a disponibilizar gratuitamente o documento no Repositório Institucional do IF Goiano (RIIF Goiano), sem ressarcimento de direitos autorais, conforme permissão assinada abaixo, em formato digital para fins de leitura, download e impressão, a título de divulgação da produção técnico-científica no IF Goiano.

Identificação da Produção Técnico-Científica

- | | |
|--|---|
| <input type="checkbox"/> Tese | <input type="checkbox"/> Artigo Científico |
| <input type="checkbox"/> Dissertação | <input type="checkbox"/> Capítulo de Livro |
| <input type="checkbox"/> Monografia - Especialização | <input type="checkbox"/> Livro |
| <input checked="" type="checkbox"/> TCC - Graduação | <input type="checkbox"/> Trabalho Apresentado em Evento |
| <input type="checkbox"/> Produto Técnico e Educacional | - Tipo: |

Nome Completo do Autor: Lara Kanashiro Mota

Matrícula: 2016102230530228

Título do Trabalho: EFETOS ANATÔMICOS NAS RAÍZES DE *TALINUM PANICULATUM*

(JACQ.) GAERTN. EXPOSTAS A DOSES CRESCENTES DE COBRE

Restrições de Acesso ao Documento

Documento confidencial: Não Sim, Justifique: _____

Informe a data que poderá ser disponibilizado no RIIIF Goiano: / /

O documento está sujeito a registro de patente? Sim Não

O documento pode vir a ser publicado como livro? Sim Não

DECLARAÇÃO DE DISTRIBUIÇÃO NÃO-EXCLUSIVA

O/A referido/a autor/a declara que:

- o documento é seu trabalho original, detém os direitos autorais da produção técnico-científica e não infringe os direitos de qualquer outra pessoa ou entidade;
- obteve autorização de quaisquer materiais incluídos no documento do qual não detém os direitos de autor/a, para conceder ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano os direitos requeridos e que este material cujos direitos autorais são de terceiros, estão claramente identificados e reconhecidos no texto ou conteúdo do documento entregue;
- cumprir quaisquer obrigações exigidas por contrato ou acordo, caso o documento entregue seja baseado em trabalho financiado ou apoiado por outra instituição que não o Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano.

Rio Verde - Go, 14/06/2021.

Local Data

Lara Kanashiro Mota

Assinatura do Autor e/ou Detentor dos Direitos Autorais

Ciente e de acordo

Dalécia Passagrande Cabr

Assinatura do(a) orientador(a)



SERVIÇO PÚBLICO FEDERAL
MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
SECRETARIA DE EDUCAÇÃO PROFISSIONAL E TECNOLÓGICA
INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA GOIANO

Ata nº 31/2021 - UCPG-RV/CPG-RV/DPGPI-RV/CMPRV/IFGOIANO

ATA DE DEFESA DE PROJETO DE TRABALHO DE CURSO

Ao vigésimo dia do mês de MAIO de 2021, às 8 horas, reuniu-se a banca examinadora composta pelos docentes: Dra. Valdneia Casagrande Dalvi (orientadora), Dr. Rafael Marques Pereira Leal (membro) e Dra. Maria Andréia Corrêa Mendonça (membro), para examinar o Trabalho de Curso intitulado: "Efeitos anatômicos nas raízes de *Talinum paniculatum* (Jacq.) Gaertn. expostas a doses crescentes de cobre" apresentado pela estudante Lara Kanashiro Mota, Matrícula nº 2016102230530228, do Curso de Bacharelado em Ciências Biológicas do IF Goiano - Campus Rio Verde. A palavra foi concedida a estudante para a apresentação oral do Trabalho de Curso, e em seguida, houve arguição da candidata pelos membros da banca examinadora. Após tal etapa, a banca examinadora decidiu pela APROVAÇÃO da estudante. Ao final da sessão pública de defesa foi lavrada a presente ata que segue assinada pelo orientador e demais membros da banca.

(Assinado Eletronicamente)

Valdneia Casagrande Dalvi
Orientadora

(Assinado Eletronicamente)

Rafael Marques Pereira Leal
Membro

(Assinado Eletronicamente)

Maria Andréia Corrêa Mendonça
Membro

Observação:

() O(a) estudante não compareceu à defesa do projeto.

Documento assinado eletronicamente por:

- Maria Andreia Correa Mendonca, PROFESSOR ENS BASICO TECN TECNOLOGICO, em 24/05/2021 08:54:33.
- Rafael Marques Pereira Leal, PROFESSOR ENS BASICO TECN TECNOLOGICO, em 20/05/2021 10:22:00.
- Valdneia Casagrande Dalvi, PROFESSOR ENS BASICO TECN TECNOLOGICO, em 20/05/2021 10:13:14.

Este documento foi emitido pelo SUAP em 19/05/2021. Para comprovar sua autenticidade, faça a leitura do QRCode ao lado ou acesse <https://suap.ifgoiano.edu.br/autenticar-documento/> e forneça os dados abaixo:

Código Verificador: 270398
Código de Autenticação: 021214d007



INSTITUTO FEDERAL GOIANO
Campus Rio Verde
Rodovia Sul Goiana, Km 01, Zona Rural, None, RIO VERDE / GO, CEP 75901-970
(64) 3620-5600

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, quero agradecer a Deus por me conceder saúde e força para chegar neste momento tão importante para um estudante, a defesa do trabalho de conclusão de curso.

Em segundo lugar, quero agradecer aos meus familiares, em especial, meu pai Victor, a minha mãe Mirian, meu namorado Matheus, minhas amigas Jailma e Winona, os quais nunca mediram esforços para que eu alcançasse meus objetivos, me motivando, me dando amor, carinho e um lar de muita alegria.

Em continuidade, quero mencionar aqui os profissionais que sempre se dedicaram ao meu aprendizado, ao corpo docente do curso Bacharelado em Ciências Biológicas do Instituto Federal Goiano, Campus Rio Verde, em especial a minha orientadora (Valdnéa Casagrande Dalvi) e meu coorientador (Rafael Marques Pereira Leal), que apesar de toda demanda de suas rotinas, sempre me instruíram de forma cordial e atenciosa.

Agradeço também a instituição que sempre forneceu a estrutura para que tudo isso se realizasse.

Por fim, agradeço aos meus colegas de turma e de laboratório que sempre forneceram ajuda e que sempre tive o prazer de auxiliar quando possível.

RESUMO

MOTA, LARA KANASHIRO. **Efeitos anatômicos nas raízes de *Talinum paniculatum* (Jacq.) Gaertn expostas a doses crescentes de cobre.** 2021. 21f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) – Bacharelado em Ciências Biológicas. Instituto Federal Goiano – Campus Rio Verde, Goiás. Rio Verde, Goiás, 2021.

O cobre (Cu) é um micronutriente essencial para microrganismos e plantas. Atua em várias partes das plantas, mas em excesso pode causar toxidez e, conseqüentemente, prejudicar o desenvolvimento vegetal. A raiz, primeiro órgão a ter contato com o metal, tem tendência em acumulá-lo pois sua translocação para a parte aérea da planta tende a ser lenta. Assim, o objetivo desse trabalho foi caracterizar possíveis efeitos anatômicos nas raízes da espécie *Talinum paniculatum* exposta a diferentes concentrações de Cu no solo. A espécie foi cultivada em um Latossolo Vermelho de textura argilosa, com diferentes concentrações de Cu (0; 50; 100; 200 e 400 mg dm⁻³ solo). Transcorridos 60 dias de crescimento, amostras das raízes foram selecionadas, fixadas em FAA₅₀, desidratadas e armazenadas em álcool 70%. Em seguida, as amostras foram incluídas em historesina; seccionadas em micrótomo rotativo 7 µm; coradas com azul de toluidina ou submetidas a testes histoquímicos. As lâminas foram montadas em Permount, analisadas e fotografadas. O diâmetro dos elementos de vaso foi avaliado no software Image J. As raízes de *T. paniculatum* apresentaram início de crescimento secundário evidenciado pela diferenciação do câmbio vascular e substituição da epiderme pela periderme. As células parenquimáticas do xilema secundário acumulam amido e idioblastos mucilaginosos são abundantes nessa região. Foram observadas alterações no diâmetro das células condutoras do xilema quando expostas as concentrações de (0, 50, 100 e 200 mg dm⁻³ solo). Em contrapartida, na maior concentração (400 mg dm⁻³ solo), os resultados são similares das plantas controle, ou seja, a planta sofreu um impacto maior nas primeiras doses de Cu e apresentou ser tolerante em doses maiores. Assim, podemos concluir que a *T. paniculatum* é tolerante ao cobre pois não foram observadas alterações estruturais nas raízes as quais poderiam comprometer o crescimento e desenvolvimento das plantas.

Palavras-chave: anatomia; cobre; fitorremediação, raiz.

Abstract

MOTA, LARA KANASHIRO. **Anatomical effects on the roots of *Talinum paniculatum* (Jacq.) Gaertn. exposed to increasing doses of copper.** 2021. 21f. Course Conclusion Paper (Undergraduate) - Bachelor of Biological Sciences. Goiás Federal Institute - Campus Rio Verde, Goiás. Rio Verde Goiás, 2021.

Copper (Cu) is an essential micronutrient for microorganisms and plants. It acts on various parts of plants, but in excess it can cause toxicity and, consequently, harm plant development. The root, the first organ to make contact with the metal, tends to accumulate it because its translocation to the aerial part of the plant tends to be slow. Thus, the objective of this work was to characterize possible anatomical effects on the roots of the species *Talinum paniculatum* exposed to different concentrations of Cu in the soil. The species was cultivated in a clayey Oxisol, with different concentrations of Cu (0, 50, 100, 200 and 400 mg dm⁻³ soil). After 60 days of growth, root samples were selected, fixed in FAA50, dehydrated and stored in 70% alcohol. Then, the samples were embedded in historesin; sectioned on a 7 µm rotating microtome; stained with toluidine blue or subjected to histochemical tests. The slides were mounted in Permount, analyzed and photographed. The diameter of the vessel elements was evaluated using Image J software. The roots of *T. paniculatum* showed the beginning of secondary growth, evidenced by the differentiation of the vascular cambium and replacement of the epidermis by the peridermis. The secondary xylem parenchyma cells accumulate starch and mucilaginous idioblasts are abundant in this region. Changes in the diameter of the xylem conductor cells were observed when exposed to concentrations of (0, 50, 100 and 200 mg dm⁻³ soil). On the other hand, at the highest concentration (400 mg dm⁻³ soil), the results are similar to the control plants, that is, the plant suffered a greater impact in the first doses of Cu and showed to be tolerant in higher doses. Thus, we can conclude that *T. paniculatum* is tolerant to copper since no structural changes were observed in the roots which could compromise plant growth and development.

Keywords: anatomy; copper; phytoremediation, root.

ÍNDICE DE ILUSTRAÇÕES

FIGURAS

Figura 1 - Secção transversal da raíz de *Talinum paniculatum* (Controle) A-C: Amostras coradas com azul de Toluidina. A: Visão geral evidenciando o câmbio vascular (círculo pontilhado). B: Detalhe da periderme (Pe). C: Detalhe do câmbio vascular (CV). D e E: Reação com PAS para identificação de polissacarídeos. Detalhe dos idioblastos mucilaginosos (setas) entremeados ao xilema secundário. F: Teste histoquímico com lugol evidenciando amido (setas) nas células parenquimáticas do xilema. Barras = 200 μm 16

Figura 2 - Secção transversal das raízes de *Talinum. paniculatum*. Comparação da periderme entre o controle e as diferentes dosagens de Cu. Pe: Periderme. Análise do floema (setas) em diferentes concentrações de Cu. Barras = 500m. 18

Figure 3 – Região central das raízes de *Talinum paniculatum* em secção transversal expostas a doses crescentes de Cu. Detalhes dos elementos de condução do xilema entremeados a células parenquimáticas. Barras = 500 μm 19

TABELA

Tabela 1 - Concentração de Cu total e Cu disponível no solo..... 14

Tabela 2- Diâmetro das células condutoras do xilema nas diferentes dosagens de Cu.....17

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	11
2. OBJETIVO	13
3. MATERIAL E MÉTODOS.....	13
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	14
5. CONCLUSÃO	19
6. REFERÊNCIAS	20

1. INTRODUÇÃO

Os elementos minerais essenciais para o crescimento das plantas são classificados em: macronutrientes, tais como o nitrogênio (N), cálcio (Ca), potássio (K), fósforo (P), magnésio (Mg) e enxofre (S) e em micronutrientes, como o cobre (Cu), boro (B), ferro (Fe), manganês (Mn), molibdênio (Mo) e zinco (Zn) (SBCS-NÚCLEO REGIONAL SUL, 2004). O cobre (Cu) é essencial para o desenvolvimento das plantas e, quando encontrado em baixas concentrações (GAUTAM; ANJANI; SRIVASTAVA, 2016), valor este definido pela CETESB (2016) como 60 mg kg⁻¹, não apresenta efeitos negativos ao solo, podendo proteger a planta contra o estresse oxidativo, atuando na respiração e no metabolismo de carbono e nitrogênio (MARSCHNER, 2012). Ainda, esse micronutriente faz parte de compostos orgânicos, como enzimas vitais ao metabolismo vegetal e proteínas (KABATA-PENDIAS, 2011).

No entanto, atividades antrópicas diversas, como aplicações de fungicidas, industrialização, urbanização e mineração (NARANJO et al., 2008), podem aumentar as concentrações de Cu nos solos, afetando a dinâmica no sistema solo-planta e consequentemente suas interações (MALAVOLTA et al., 1997; MARQUES et al., 2011). Quando encontrado em excesso, o cobre se torna tóxico, provocando distúrbios bioquímicos, morfoanatômicos e fisiológicos nas plantas (SÁNCHEZ-PARDO; FERNÁNDO-PASCUAL; ZORNOZA, 2014; GAUTAM; ANJANI; SRIVASTAVA, 2016), impedindo o seu crescimento e (GAETKE; CHOW, 2003; MADEROVA; WATSON; PATON, 2011) ocasionando perdas no potencial produtivo de grandes cultivos (DUCIC; POLLE, 2005; MACKIE et al., 2012). Ademais, o cobre em excesso pode desencadear efeitos nocivos na própria agricultura, afetando negativamente processos microbiológicos, ou causando a fitotoxicidade e transferência de elementos tóxicos para os seres humanos e animais (NICHOLSON et al., 2003).

Nas raízes, o excesso do Cu pode ocasionar diferentes alterações morfológicas, tais como: paralisação no desenvolvimento (KULIKOVA et al., 2011); redução da biomassa (LEQUEUX et al., 2010); alterações no diâmetro, área superficial e comprimento radicular (CAI et al., 2014); má formação e inchaços irregulares, onde as raízes secundárias surgem (PANOU-FILOTHEOU, BOSABALIDIS, 2004). Dentre as alterações anatômicas, destacam-se: rupturas na epiderme causadas pelo rápido crescimento das camadas mais internas das raízes (SHELDON; MENZIES, 2005; KOPITTKKE; MENZIES, 2006; KOPITTKKE et al., 2009); acúmulo de compostos fenólicos em células do córtex (BRUNETTO et al., 2015); redução no número de

células do parênquima (MINKINA et al., 2019); diminuição do diâmetro da estelo (MINKINA et al., 2019) e; espessamento das paredes celulares da endoderme (GUIMARÃES et al., 2016).

Visto que altas concentrações de metais pesados no solo são um fator prejudicial, fazem-se necessárias alternativas para recuperação de áreas contaminadas, sendo que uma das formas de recuperar é através da fitorremediação (*fito* = planta e *remediação* = corrigir). Conhecida desde 1991, essa tecnologia utiliza plantas para degradar, extrair ou imobilizar contaminantes do solo e da água e procura analisar a interação da planta com o contaminante (EPA, 2000). Dentre as vantagens da fitorremediação, destacam-se: baixo custo de investimento e de operação, aplicabilidade *in situ*, e geração mínima de impactos ambientais e de mobilização de solo na área contaminada (CHAVES et al., 2010). Atualmente ainda se conhece muito pouco no Brasil sobre o potencial de espécies nativas atuarem como fitorremediadoras de áreas contaminadas. Deste modo, considerando a megabiodiversidade encontrada no país, pesquisas com a finalidade de identificar e selecionar um número significativo de espécies vegetais com essas características é, sem dúvida, uma demanda importante e necessária.

Dentre as espécies utilizadas como fitorremediadoras de cobre estão a aveia preta (*Avena strigosa* Schreb), com dois tipos de genótipo “UPFA 21 Moreninha” e “Vacaria”, a aveia branca (*Avena sativa* L.) “URS 21”, a mucuna preta (*Mucuna aterrima* L.), a mucuna cinza (*Mucuna cinereum* L.), o feijão de porco (*Canavalia ensiformis* DC) (VENDRUSCULO, 2013); o crisântemo cv. Dark Fiji (*Dendranthema grandiflora* Tzevelev) (MENEGAES et al., 2017); o cedro-rosa (*Cedrela fissilis* Vell), e o ipê-roxo (*Tabebuia impetiginosa* (Mart.)) (CAIRES, 2005).

Estudos feitos com o gênero *Talinum* vêm mostrando potencial fitorremediador, sendo que dentre as espécies existentes no gênero, *Talinum triangulare* (Jacq.) Willd é considerada hiperacumuladora de cobre, chumbo e níquel (AKINOLA; EKIYOYO, 2006; RAJKUMAR et al., 2009; KUMAR, PRASAD; SYTAR, 2012). Deste modo, escolhemos *Talinum paniculatum* (Jacq.) Gaertn, pertencente a família Talinaceae, anteriormente Portulacaceae (BRILHAUS et al., 2016), a fim de analisar sua capacidade de tolerar diferentes concentrações de Cu no solo. É uma planta daninha, originária da América Latina, cultivada em grande escala para fins medicinais e alimentares na Nigéria, Ásia, África e América do Sul (AGBONON et al., 2009), encontrada em diversos países, incluindo o Brasil.

2. OBJETIVO

O presente estudo teve como objetivo caracterizar possíveis efeitos anatômicos nas raízes da espécie *Talinum paniculatum* e sua capacidade em tolerar diferentes concentrações de Cu no solo.

3. MATERIAL E MÉTODOS

Composição do experimento

O experimento foi realizado em casa de vegetação no Instituto Federal Goiano – Campus Rio Verde. Foi utilizada amostra de solo correspondente à camada de 0-20 cm de um Latossolo Vermelho distrófico, com textura argilosa, coletado em área de pastagem do Campus Rio Verde, totalizando cerca de 300 kg de solo, o qual foi peneirado e seco ao ar livre.

As sementes de *Talinum paniculatum* foram plantadas em bandejas e após 30 dias de germinação foram transplantadas para sacos plásticos, com 6 dm³ de solo cada, contaminado com diferentes concentrações de Cu em cada tratamento (0, 50; 100; 200 e 400 mg dm⁻³ solo).

A contaminação foi realizada de forma manual com cinco repetições por concentração, totalizando 25 unidades experimentais, com duas plantas por unidade experimental. A mesma foi feita da seguinte forma: utilizou-se o cloreto de cobre dihidratado, a partir de uma solução estoque de 20g L⁻¹ de Cu₂⁺ livre, onde foram calculadas as quantidades necessárias de solução estoque para a aplicação em cada tratamento, finalizando com 1 L de água em cada unidade.

Análises anatômicas

Transcorridos 60 dias de crescimento da planta após o transplante, amostras de raízes foram coletadas para os estudos anatômicos. Após coleta, o material foi fixado em FAA₅₀ (formaldeído, ácido acético e álcool etílico 50%) por 48 horas e armazenadas em álcool etílico 70% (Johansen, 1940). Posteriormente as amostras foram desidratadas em série etanólica e incluídas em 2-hidroxietil-metacrilato (Historesin, Leica, Heidelberg, Alemanha). Para as análises em microscópio, as amostras foram seccionadas transversalmente (7µm de espessura) em micrótomo rotativo (Modelo 1508R). Parte do material foi corado com azul de toluidina em pH 4,7 (O'BRIEN, FEDER e MCCULLY, 1964). As lâminas foram submetidas a testes histoquímicos com PAS (MCMANUS, 1948) para evidenciar polissacarídeos e lugol para a identificação de grãos de amido (JOHANSEN,

1940). As lâminas foram montadas com resina sintética (Permount), analisadas e fotografadas em um microscópio Olympus modelo BX61 com uma câmera DP-72 do Laboratório de Anatomia Vegetal do Instituto Federal Goiano – Campus Rio Verde.

O diâmetro das células condutoras do xilema foi determinado através das imagens de cortes transversais utilizando o software de processamento de imagens ImageJ (EASLON e BLOOM, 2014). Para cada tratamento foram analisadas duas lâminas.

Ao final dos 60 dias de crescimento, também foram coletadas amostras de solo de cada tratamento para quantificação dos teores de Cu disponível, conforme metodologia da Embrapa (2011).

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Concentrações disponíveis de Cu no solo

As concentrações iniciais de Cu aplicadas no solo, bem como as concentrações disponíveis ao final do experimento, são apresentadas na Tabela 1.

Tabela 1 - Concentração de Cu total e Cu disponível no solo.

Concentração total de Cu (mg dm^{-3})	Concentração de Cu disponível (mg dm^{-3})
0	1,8
50	10,2
100	22,3
200	67,5
400	161,4

Concentrações de Cu total e disponível no solo. As concentrações teóricas são cálculos das soluções de Cu aplicadas inicialmente no solo. Concentrações disponível é a quantidade disponível de Cu no solo (DTPA usado como extrator, ácido dietilenotriminopentaacético), encontradas ao final do experimento.

Considerando os valores orientadores para solos do Estado de São Paulo, os valores de Cu disponível no solo ao final do experimento até a concentração aplicada de 100 mg mg dm^{-3} (1,8; 10,2 e 22,3 mg dm^{-3}), estão abaixo do valor de prevenção (60 mg kg^{-1}), ou seja, concentrações sem efeito negativo esperado na qualidade do solo, enquanto que nos tratamentos de 200 a 400 mg dm^{-3} (67,5; 161,4 mg dm^{-3}), as concentrações situam-se acima do valor de prevenção, porém abaixo do valor de

intervenção agrícola (760 mg kg^{-1}), ou seja, em concentrações que podem representar prejuízo a qualidade natural do solo, mas que não justificam uma intervenção na área, havendo somente a necessidade de controle das fontes de poluição e monitoramento da área (CETESB, 2016).

No presente experimento realizado com as concentrações (0, 50, 100, 200 e 400 mg dm^{-3}), não foram observados efeitos negativos significativo na planta. Levando em consideração a maior dose usada para avaliar a *T. paniculatum* (400 mg dm^{-3}) a literatura nos mostra espécies que tiveram danos anatômicos/morfológicos quando expostas a concentrações semelhantes ao do nosso experimento. Caires (2011), avaliando o desenvolvimento de mudas de cedro-rosa (*Cedrela fissilis* Vell.), com solo contaminado por Cu com as seguintes concentrações totais (0, 60, 80, 100, 500 mg kg^{-1}), a planta sofreu impacto nos primeiros 10 dias apresentando clorose seguido de queda foliar. Após 20 dias, já apresentavam gemas de brotação em desenvolvimento, mas nos tratamentos (100 e 500 mg kg^{-1}) tiveram sintomas de toxicidade à contaminação ao Cu, tendo redução de crescimento e desenvolvimento anormal da gema apical.

No experimento de Marques (2018), com *Hymenaea courbaril* L. exposta ao cobre (0, 100, 200, 400 e 800 mg kg^{-1} concentrações totais), o autor observou uma redução da área do cilindro vascular e da espessura do córtex das raízes, de acordo com o aumento das concentrações de Cu no solo. O excesso de Cu (800 mg kg^{-1}) causou toxicidade, diminuição da fotossíntese, inibição do desenvolvimento radicular principalmente de raízes finas e alterações foliar, porém a planta foi tolerante ao excesso de cobre.

Estrutura anatômica da planta controle

As raízes das plantas controles de *Talinum paniculatum*, em cortes transversais, apresentaram início de crescimento secundário, com atividade do câmbio vascular (Figura 1a) e do felogênio. Assim, o tecido de revestimento, formado pela periderme (Figura 1b), é composto por uma ou duas camadas de células de feloderma, uma camada de células meristemáticas, o felogênio e cerca de duas camadas de súber. Como o crescimento secundário ainda é incipiente, resquícios da epiderme são observados externos à periderme (Figura 1b). Logo abaixo da periderme observa-se a região cortical composta por parênquima de preenchimento. O sistema vascular secundário inclui o floema e xilema secundários resultantes da atividade do câmbio vascular, tecido este composto por três a quatro camadas de células tabulares (Figura 1c). O xilema é

caracterizado por uma proliferação de células parenquimáticas em detrimento das células condutoras (Figura 1a, d-f). Nessa região são observados numerosos idioblastos mucilaginosos (Figura 1d-e) e células parenquimáticas repletas de grãos de amido (figura 1f).

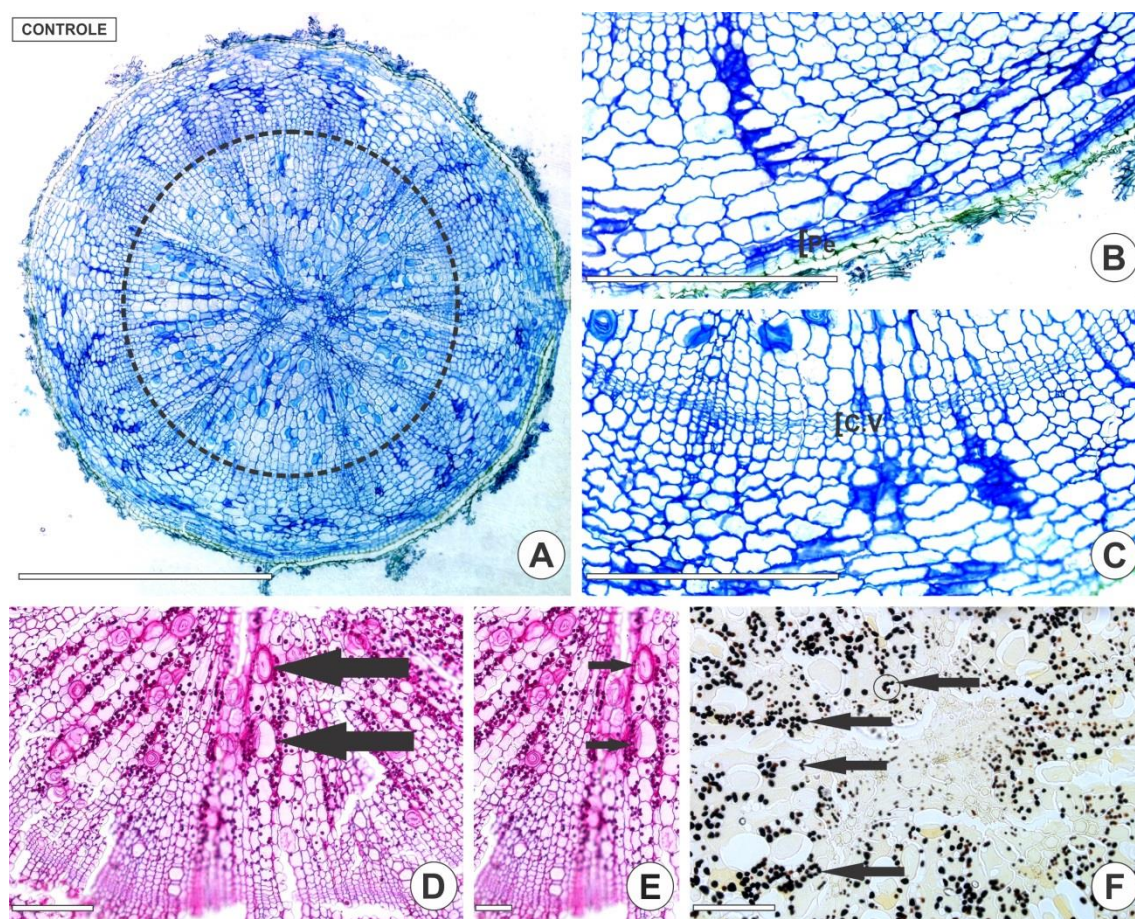


Figura 1 - Secção transversal de raiz de *Talinum paniculatum* (Controle) A-C: Amostras coradas com azul de Toluidina. A: Visão geral evidenciando o câmbio vascular (círculo pontilhado). B: Detalhe da periderme (Pe). C: Detalhe do câmbio vascular (CV). D e E: Reação com PAS para identificação de polissacarídeos. Detalhe dos idioblastos mucilaginosos (setas) entremeados ao xilema secundário. F: Teste histoquímico com lugol evidenciando amido (setas) nas células parenquimáticas do xilema. Barras = 200 µm.

Alterações anatômicas

Nas amostras expostas a doses crescentes de Cu não foram observadas alterações na maioria dos tecidos (Figuras 2-3). No entanto, houve um aumento no diâmetro das células condutoras do xilema nas concentrações de 50, 100 e 200 mg dm⁻³. Em contrapartida, na maior dosagem de Cu (400 mg dm⁻³) os elementos de vaso apresentaram espessura semelhante ao tratamento controle (Tabela 2).

Tabela 2- Diâmetro das células condutoras do xilema nas diferentes dosagens de Cu.

Concentração de Cu (mg dm ⁻³)	Valores médios
0	249,65 µm
50	551,50 µm
100	349,71 µm
200	427,09 µm
400	253,84 µm

Considerada como estratégia durante o processo de transporte de metais pesados para evitar a translocação em excesso dos íons para a parte aérea, estudos vêm mostrando que os metais pesados são retidos nas paredes celulares dos tecidos radiculares, dentre eles o xilema (Vásquez et al. 1992, Wójcik et al. 2005). Vesik et al., (1999) sugerem que o Cu se acumula na parede celular das células do xilema, impedindo que a maior parte deste elemento seja efetivamente translocado até a folha. Por esse motivo o Cu tem uma grande afinidade com os ligantes presentes nas raízes, sendo acumulado principalmente nesse órgão (JEZLER, 2016). Observamos um aumento da quantidade de células condutoras do xilema provavelmente devido ao acúmulo de Cu no sistema vascular secundário.

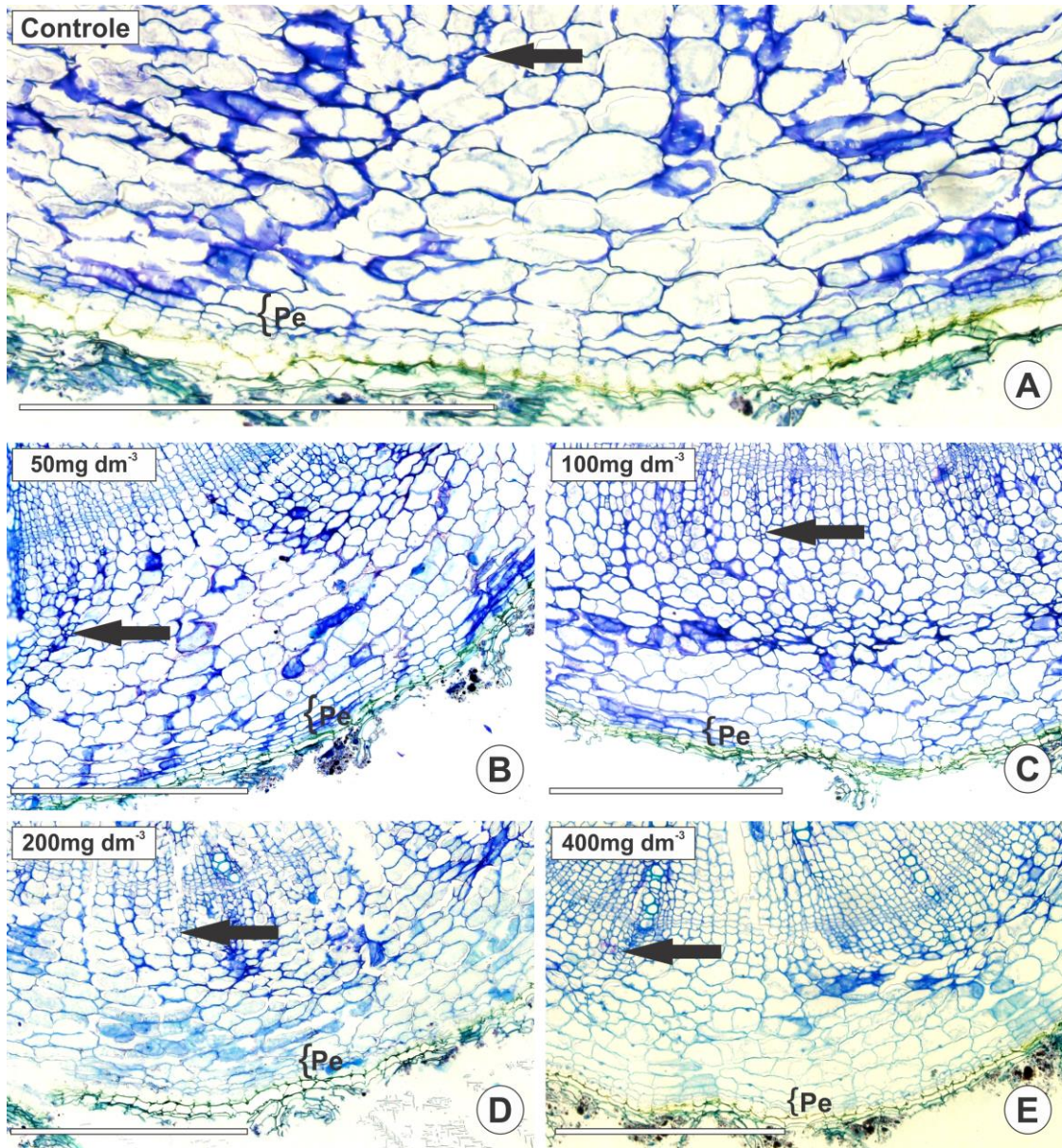


Figura 2 - Secção transversal de raízes de *Talinum paniculatum*. Comparação da periderme entre o controle e as diferentes dosagens de Cu. Pe: Periderme. Análise do floema (setas) em diferentes concentrações de Cu. Barras = 500 μm.

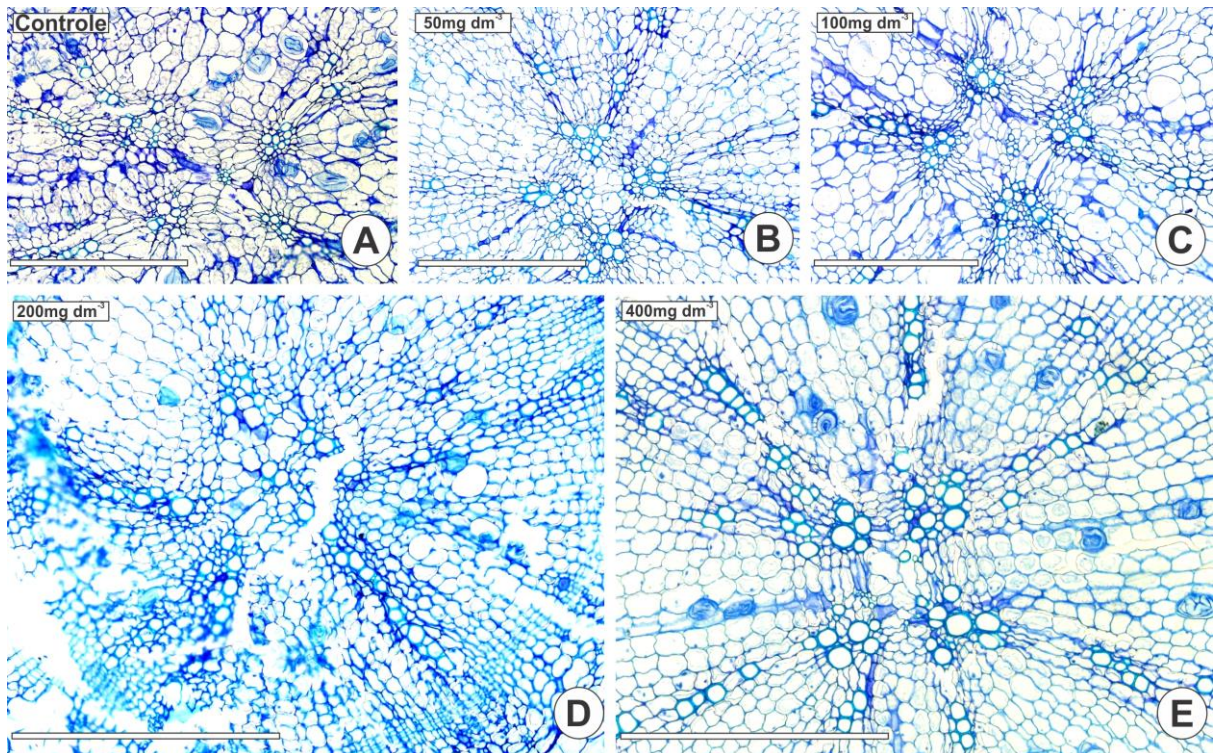


Figure 3 – Região central das raízes de *Talinum paniculatum* em secção transversal expostas a doses crescentes de Cu. Detalhe dos elementos de condução do xilema entremeados a células parenquimáticas. Barras = 500 μm.

5. CONCLUSÃO

Nas análises dos cortes transversais das raízes de *Talinum paniculatum* foi observado crescimento secundário e aumento no diâmetro das células condutoras do xilema de acordo com o aumento das concentrações de Cu. Porém na maior dosagem os elementos de vaso são similares aos das plantas controle. Apesar das pequenas alterações anatômicas observadas, nas condições experimentais avaliadas, a planta mostrou-se tolerante aos tratamentos de Cu não tendo seu crescimento afetado.

6. REFERÊNCIAS

- AGBONON, A. et al. In vitro inhibitory effect of West African medicinal and food plants on human cytochrome P450 3A subfamily. **Journal of Ethnopharmacology**, v. 128, n. 2, p. 390-394, 2010.
- AKINOLA, M. O.; EKIYOYO, T. A. Accumulation of lead, cadmium and chromium in some plants cultivated along the bank of river Ribila at Odonla area of Ikorodu, Lagos state, Nigeria. **Journal of Environmental Biology**. v. 27, n. 3 p. 597-599, 2006.
- AMBROSINI, V. G. **Calagem como amenizante da toxidez de cobre em aveia preta (*Avena strigosa*) e em videiras jovens (*Vitis* sp.)**. 2015. 115 f. Dissertação (mestrado em Ciências Agrárias) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2015.
- BRILHAUS, D. et al. Reversible burst of transcriptional changes during induction of Crassulacean Acid Metabolism in *Talinum triangulare*. **Plant Physiology**. v. 170, n. 1, p. 102- 122, 2016.
- CAI, S. et al. Differential responses of root growth, acid invertase activity and transcript level to copper stress in two contrasting populations of *Elsholtzia haichowensis*. **Ecotoxicology**, v. 23, n. 1, p. 76-91, 2014
- CAIRES, S. M. **Comportamento de mudas de espécies florestais nativas na fitorremediação de solo contaminado com zinco e cobre**. 2005. 63 f. Tese (Doutorado em Solos e nutrição de plantas)- Universidade de Viçosa, Viçosa, 2005.
- CAIRES, S. M. et al. Desenvolvimento de mudas de cedro-rosa em solo contaminado com cobre: tolerância e potencial para fins de fitoestabilização do solo. **Revista Árvore**. v. 35, n. 6. 2011.
- DUCIC, T.; POLLE, A. Transport and detoxification of manganese and copper in plants. **Brazilian Journal of Plant Physiology**, v.17, n.1, p.103-112, 2005.
- EASLON, H. M.; BLOOM, A. J. Easy Leaf Area: Automated Digital Image Analysis for Rapid and Accurate Measurement of Leaf Area. **Applications in Plant Sciences**, v. 2, n. 7, p. 1400033, 2014.
- EMBRAPA. Manual de Métodos de Análise de Solo. **Embrapa Solos**. 2ed. Rio de Janeiro, 2011.
- GAETKE, L. M.; CHOW, C. K. Copper toxicity, oxidative stress, and antioxidant nutrients. **Tóxicology**. v. 189, n. 1-2, p. 147-163, 2003.
- GAUTAM, S.; ANJANI, K.; SRIVASTAVA, N. In vitro evaluation of excess copper affecting seedlings and their biochemical characteristics in *Carthamus tinctorius* L.(variety PBNS-12). **Physiology and Molecular Biology of Plants**. p 121-129. 2016.

- GUIMARÃES, P. R. et al. Black Oat (*Avena strigosa* Schreb.) Growth and Root Anatomical Changes in Sandy Soil with Different Copper and Phosphorus Concentrations. **Water, Air, & Soil Pollution**, 2016.
- JEZLER, N. C. **Avaliação anatômica e ultraestrutural de *Coffea arabica* L. em resposta ao Boro e ao Cobre**. 2016. 65 f. Dissertação (mestrado em botânica) – UFV. Minas Gerais, 2016.
- JOHANSEN, D.A. Plant microtechnique. **Mc Graw-Hill Book**, p 523, 1940.
- KABATA-PENDIAS, A. **Trace elements in soils and plants**. 4 ed. CRC Press: Boca Raton. p 505, 2011.
- KOPITTKE, P. M. et al. Toxic effects of Cu²⁺ on growth, nutrition, root morphology, and distribution of Cu in roots of *Sabi grass*. **Science of the Total Environment**, v. 407, n. 16, p. 4616-4621, 2009.
- KOPITTKE, P. M.; MENZIES, N. W. Effect of Cu toxicity on growth of Cowpea (*Vigna unguiculata*). **Plant and Soil**, v. 279, n. 1, p. 287-296, 2006.
- KULIKOVA, A. L. et al. Effect of copper excess in environment on soybean root viability and morphology. **Russian Journal of Plant Physiology**, v. 58, n. 5, p. 836-843, 2011.
- LEQUEUX, H. et al. Response to copper excess in *Arabidopsis thaliana*: Impact on the root system architecture, hormone distribution, lignin accumulation and mineral profile. **Plant Physiology and Biochemistry**, v. 48, n. 8, p. 673-682, 2010.
- MACKIE, K. A.; MÜLLER, T.; KANDELER, E. Remediation of copper in vineyards - A mini review. **Environmental Pollution**, v.167, n.1, p.16-26, 2012.
- MADEROVA, L.; WATSON, M.; PATON, G. I. Bioavailability and toxicity of copper in soils: Integrating chemical approaches with responses of microbial biosensors. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 43, n. 6, p. 1162–1168, 2011.
- MALAVOLTA, E.; VITTI, G.C.; OLIVEIRA, S.A. **Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações**. Piracicaba, 1997.
- MARQUES, M.; AGUIAR, C.R.C.; SILVA, J.J.L.S. Desafios, técnicas e barreiras sociais, econômicas e regulatórias na fitorremediação de solos contaminados. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 35, n. 1, p. 1-11, 2011.
- MARQUES, M. D et al. **Toxicidade do cobre nas respostas fotossintéticas e na morfologia da raiz de *Hymenaea courbaril* L. (Caesalpinioideae)**. SpringerLink, 2018.
- MARSCHNER, P. Marschner's Mineral Nutrition of Higher Plants . 3th ed. London: **Academic Press**, p. 651, 2012.

NARANJO, E.M. et al. Growth and photosynthetic responses to copper stress of an invasive cordgrass, *Spartina densiflora*. **Marine Environmental Research**, v. 66, n 4, p. 459 – 465, 2008.

MINKINA, T. et al. Respostas anatômicas e ultraestruturais de *Hordeum sativum* ao solo cravado pelo cobre. **Geoquímica Ambiental e Saúde**, 2019.

NICHOLSON, F. A et al. An inventory of heavy metals inputs to agricultural soils in England and Wales. **The Science of the Total Environment**, v. 311, p. 205-219, 2003.

O'BRIEN, T. P.; FEDER, N.; MCCULLY, M. E. Polychromatic staining of plant cell walls by toluidine blue O. **SpringerLink**, v. 59, p. 368-373, 1964.

PANOU-FILOTHEOU, H.; BOSABALIDIS, A. M. Root structural aspects associated with copper toxicity in oregano (*Origanum vulgare subsp. hirtum*). **Plant Science**, v. 166, n. 6, p. 1497-1504, 2004.

RAJKUMAR, K. et al. Effects of selected heavy metals (Pb, Cu, Ni, and Cd) in the aquatic medium on the restoration potential and accumulation in the stem cuttings of the terrestrial plant, *Talinum triangulare*. **Ecotoxicology**, Netherlands, v. 18, p. 952–960, 2009.

SÁNCHEZ-PARDO, B.; FERNÁNDEZ-PASCUAL, M.; ZORNOZA, P. Copper microlocalisation and changes in leaf morphology, chloroplast ultrastructure and antioxidative response in white lupin and soybean grown in copper excess. **Journal of Plant Research**, 2014.

SHELDON, A. R.; MENZIES, N. W. The effect of copper toxicity on the growth and root morphology of Rhodes grass (*Chloris gayana* Knuth.) in resin buffered solution culture. **Plant and Soil**, v. 278, n. 1, p. 341-349, 2005.

SOCIEDADE BRASILEIRA DE CIÊNCIA DO SOLO-NÚCLEO REGIONAL SUL. **Manual de adubação e de calagem para os estados do Rio Grande do Sul e de Santa Catarina**. 10 ed. Porto Alegre: Comissão de Química e Fertilidade do Solo, 2004, p. 54- 55.

VALORES ORIENTADORES PARA SOLO E ÁGUA SUBTERRÂNEA NO ESTADO DE SÃO PAULO 2016. CETESB 2016. Disponível em: <https://cetesb.sp.gov.br/aguas-subterraneas/wp-content/uploads/sites/13/2013/11/tabela_vos_2016_site.pdf> . Acesso: 21-04-2021.

VÁSQUEZ, M. D.; POSCHENRIEDER, C. H.; BARCELÓ, J. Ultrastructural effects and localization of low cadmium concentrations in bean roots. **New Phytologist**, p. 350-355, 1992.

VENDRUSCULO, D. **Seleção de plantas para a fitorremediação de solo contaminado com cobre**. 2013. 58 f. Dissertação (Mestrado em Ciência do solo, Área de Concentração em Biodinâmica e Manejo do solo)- Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2013.

VESK, P. A.; NOCKOLDS, C. E.; ALLAWAY, W. G. Metal localization in water hyacinth root from an urban wetland. **Plant Cell Environment**, p. 149-158, 1999.

WÓJCIK, M. et al. Cadmium tolerance in *Thlaspi caerulescens*: I. Growth parameters, metal accumulation and phytochelatin synthesis in response to cadmium. **Environmental and Experimental Botany**, v. 53 p. 163-171, 2005.