

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA
CENTRO DE CIÊNCIAS NATURAIS E EXATAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGROBIOLOGIA**

Fernanda Cantoni

**USO DE VERMICOMPOSTO NA ATENUAÇÃO DO EFEITO DO
COBRE EM PLANTA DE *Avena strigosa* Schreb**

Santa Maria, RS
2018

Fernanda Cantoni

**USO DE VERMICOMPOSTO NA ATENUAÇÃO DO EFEITO DO COBRE EM
PLANTA DE *Avena strigosa* Schreb**

Dissertação apresentada ao Curso de Pós-Graduação em Agrobiologia, da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS), como requisito parcial para obtenção do grau de **Mestre em Agrobiologia**

Orientadora: Prof^a. Dr^a. Zaida Inês Antonioli

Santa Maria, RS
2018

Cantoni, Fernanda

Uso de vermicomposto na atenuação do efeito do cobre em planta de Avena strigosa Schreb / Fernanda Cantoni.- 2018.

45 p.; 30 cm

Orientadora: Zaida Inês Antonioli

Coorientadora: Rodrigo Josemar Seminoti Jacques

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Santa Maria, Centro de Ciências Naturais e Exatas, Programa de Pós-Graduação em Agrobiologia, RS, 2018

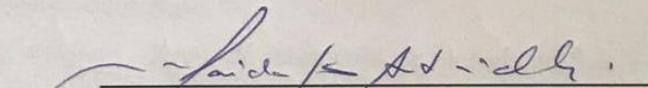
1. Excesso de cobre 2. Adubo orgânico 3. aveia preta
4. minhoca I. Antonioli, Zaida Inês II. Seminoti
Jacques, Rodrigo Josemar III. Título.

Fernanda Cantoni

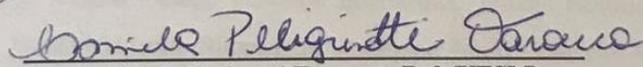
**USO DE VERMICOMPOSTO NA ATENUAÇÃO DO EFEITO DO COBRE EM
PLANTA DE *Avena strigosa* Schreb**

Dissertação apresentada ao Curso de Pós-Graduação em Agrobiologia, da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS), como requisito parcial para obtenção do grau de **Mestre em Agrobiologia**

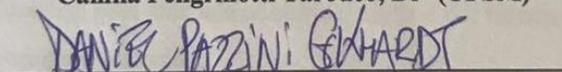
Aprovada em 20 de fevereiro de 2018:



Zaida Inês Antonioli, Prof.ª. Dr.ª (UFSM)
(Presidente/Orientadora)



Camila Peligrinotti Tarouco, Dr.ª (UFSM)



Daniel Pazzini Eckhardt, Dr. (Unipampa)

Santa Maria, RS
2018

AGRADECIMENTOS

A Deus por ter me permitido chegar até aqui, sempre iluminando e guiando o meu caminho.

Aos meus irmãos, Sandra, Márcia, Vanessa e Fernando, sem vocês nada disso seria possível, agradeço a vocês pelo apoio incondicional, pelos princípios de humildade, amor e educação.

Aos meus pais, por sempre estarem iluminando o meu caminho e me guiar, sei que só cheguei até aqui porque vocês estão olhando por mim.

A minha orientadora prof. Dra. Zaida Inês Antonioli, por todo ensinamento e paciência durante a execução deste trabalho.

Ao Prof. Dr. Rodrigo J. S. Jacques, por toda aprendizagem e ajuda no decorrer do trabalho.

A Natielo de Almeida Santana, pela amizade e por toda atenção, paciência, ajuda e incentivo para realização deste trabalho, seu auxílio foi fundamental.

As amigas Andressa Gabriela e Jéssica Demarco, por todo carinho, paciência, atenção e por sempre alegrarem meus dias.

Aos meus amigos e colegas do laboratório de Biologia do Solo e Ambiente: Joice Freiberg, Mariana Dossin, Nariane de Andrade, Igor Schardong, Reyllis Kiefer, Guilherme Padilha, Lisiane Sobucki, Valéria Ortaça, Caroline Bevilacqua, Juliane Schmitt, Antonio Bassaco, Daiane Dalla Nora, Valdemir Bittencourt, Anderson Moro, Marcelo Sulzbacher, Joane Cella, Maísa Wohlenberg, pela amizade adquirida, ajuda e por tornarem o ambiente do laboratório sempre muito alegre e divertido.

À Universidade Federal de Santa Maria pela oportunidade de realização do curso de Pós Graduação.

À CAPES, pelo auxílio financeiro durante a execução deste trabalho.

À todos que de alguma forma contribuíram para a realização deste trabalho.

Muito obrigada!

RESUMO

USO DE VERMICOMPOSTO NA ATENUAÇÃO DO EFEITO DO COBRE EM PLANTA DE *Avena strigosa* Schreb

AUTORA: Fernanda Cantoni
ORIENTADORA: Zaida Inês Antonioli

As aplicações de fungicidas com cobre (Cu) são realizadas com frequência em videiras, para controle preventivo de doenças fúngicas, porém a aplicação contínua ao longo dos anos provoca o aumento na concentração deste metal no solo. Desta forma, o objetivo deste estudo foi caracterizar o efeito do vermicomposto no crescimento e desenvolvimento da planta de cobertura *Avena strigosa* em solo arenoso, com excesso de cobre, oriundo de vinhedos. O experimento foi conduzido em casa de vegetação e as amostras de solo foram coletadas em uma área destinada a viticultura em Santana do Livramento, na região da Campanha Gaúcha do Rio Grande do Sul. Foi adicionado 50 mg kg⁻¹ de cobre no solo coletado, e formando seis tratamentos: 0 (V0), 25 (V25), 50 (V50), 100 (V100) e 200 (V200) kg ha⁻¹ de nitrogênio (N) via vermicomposto de esterco bovino, além do tratamento adubação mineral (AM). Ao primeiro dia de instalação do experimento foi realizada uma lixiviação forçada no solo e coletado o líquido que escoou, após isso as coletas foram realizadas a cada 15 dias. Avaliou-se, no lixiviado os teores de Cu, P e pH, de todas as coletas. No solo a disponibilidade de Cu, P, K, Mn, Fe e Zn, e na parte aérea Cu, N, P, K, Mn, Fe e Zn e raízes o acúmulo de Cu, P, K e N, a massa seca da parte aérea e raiz da aveia preta. A atividade de enzimas do estresse oxidativo também foram avaliadas aos 52 dias. Nas doses mais altas de vermicomposto obteve-se a maior produção de massa seca da parte aérea e raiz, e os maiores teores de N, P, K, e menores teores de Cu, Zn, Fe e Mn. E também nas doses mais altas de vermicomposto ocorreu as maiores lixiviação de Cu e P. A adição de vermicomposto mostrou-se eficaz na redução da fitotoxicidade de Cu. Deste modo, a aveia preta possui potencial para ser empregada na remediação de cobre junto com o vermicomposto a base de esterco bovino, e possuem potencial na redução de cobre e fósforo do lixiviado.

Palavras-chave: Excesso de cobre. Adubo orgânico. Aveia preta. Minhoca.

ABSTRACT

VERMICOMPOST USE IN THE ATTENUATION OF COPPER EFFECTS ON *Avena strigosa* Schreb PLANT

The application of copper-based fungicides are frequently realized in order to perform the preventive control of fungal diseases. Nonetheless, the long term application causes a surplus of this heavy metal in soil. Thus, this study aimed to characterize the effects of vermicompost on growth and development of the ground cover plant *Avena strigosa* in sandy soils with surplus of copper from vineyards. The experiment was carried out in a greenhouse and the soil samples were collected in a vineyard in Santana do Livramento, in the Campanha Gaúcha region. A 50 mg kg⁻¹ dosage of copper was added on the sampled soil, and designing seven treatments: 0 (V0), 25 (V25), 50 (V50), 100 (V100) e 200 (V200) kg ha⁻¹ of Nitrogen (N) via vermicompost of bovine manure, and also a treatment with mineral fertilizer (AM). The first day of experiment set up a forced leaching on soil was realized and the leached was collected, thereafter, the sampling were realized each 15 days. On the leachate, the levels of Cu, Zn, Fe, Mn, P and pH of all samples were evaluated. In the soil, the availability of Cu, P, K, Mg, Fe and Zn was determined, and also on aerial part and root the accumulation of Cu, P, K, Mg, Fe and Zn was determined, the dry mass of aerial part of black oat. The enzyme activity of oxidative stress were evaluated by 52 days of experiment. In higher doses of vermicompost a bigger production of the dry mass of aerial and root parts, as well as higher levels of N, P and K, and lower levels of Cu, Zn, Fe and Mn were determined. Additionally, with higher doses of vermicompost a higher leaching of Cu and P was observed. The addition of vermicompost showed effective on the reduction of the phyto-toxicity of Cu. Thus, the black oat has potential to be used in the remediation of copper in combination with bovine manure based vermicompost, additionally this combination has the potential to reduce the leaching of copper and phosphorus.

Keywords: Copper surplus. Organic fertilizer. Black oat. Earthworm.

LISTA DE FIGURAS

INTRODUÇÃO

Figura 1 - Esquema do trabalho realizado sobre o uso de vermicomposto na atenuação do efeito do cobre em planta de *Avena strigosa* em solo arenoso.....08

ARTIGO

Figura 1 - Massa seca da parte aérea e raiz de *Avena strigosa* cultivada em solo contaminado com cobre, oriundos da região de vinhedo da Campanha Gaúcha.....27

Figura 2 - Teor de Cu na parte aérea e raiz de *Avena strigosa* cultivada em solo contaminado com cobre, oriundos da região de vinhedo da Campanha Gaúcha.....28

Figura 3 - Teor de Nitrogênio (a), fósforo (b) e potássio (c) na parte aérea *Avena strigosa* cultivada em solo contaminado com cobre, oriundos da região de vinhedo da Campanha Gaúcha.....30

Figura 4- Teor de Ferro(a), Manganês (b) e Zinco (c) na parte aérea *Avena strigosa* cultivada em solo contaminado com cobre, oriundos da região de vinhedo da Campanha Gaúcha.....32

Figura 5- Atividade das enzimas superóxido dismutase (SOD) (a), guaiacol peroxidases(POD) (b) em *Avena strigosa* cultivada em solo contaminado com cobre, oriundos da região de vinhedo da Campanha Gaúcha.....34

LISTA DE TABELAS

ARTIGO

- Tabela 1- Características químicas do vermicomposto de esterco bovino, obtido após 150 dias (VIONE et al., 2016). E caracterização química do solo antes da aplicação dos tratamentos.....23
- Tabela 2 - Características químicas do solo após o cultivo de *Avena strigosa* em solo arenoso contaminado com 50 mg Cu kg⁻¹ e adicionado de doses de vermicomposto de esterco bovino.....26
- Tabela 3 - Caracterização química do lixiviado coletado em diferentes datas em solo com excesso de cobre, cultivado com *Avena strigosa* adubada com vermicomposto de esterco bovino.....37

SÚMARIO

1 INTRODUÇÃO GERAL	7
2 REVISÃO DE LITERATURA	10
2.1 CONTAMINAÇÃO POR COBRE EM SOLOS DE VINHEDOS	10
2.2 COBRE NAS PLANTAS	11
2.3 FITORREMEDIAÇÃO DE COBRE.....	12
2.4 ADUBOS ORGÂNICOS COMO AMENIZANTES DA TOXIDEZ POR COBRE	13
3 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	16
4 ARTIGO - USO DE VERMICOMPOSTO NA ATENUAÇÃO DO EFEITO DO COBRE EM PLANTA DE AVENA STRIGOSA SCHREB	21
4.1 INTRODUÇÃO	22
4.2 MATERIAL E MÉTODOS	24
4.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO	26
4.3.1 Características químicas do solo após o cultivo	26
4.3.2 Teor de nutrientes na planta	28
4.3.3 Enzimas de estresse oxidativo	34
4.3.4 Características do lixiviado	35
5 CONCLUSÕES	38
6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	40
7 CONSIDERAÇÕES FINAIS	44
APÊNDICE	45

1 INTRODUÇÃO GERAL

Atividades como mineração, indústria metalúrgica, indústria química e a agricultura são algumas das grandes responsáveis pela contaminação por metais pesados dos recursos hídricos superficiais, subterrâneos e do solo, causando alteração na biosfera (BHAGARVA et al., 2012). O uso do solo pode ser limitado quando se tem a presença de metais pesados em excesso, podendo ser tóxicos para animais e o homem, contaminando os recursos hídricos superficiais e subterrâneos (SOUZA, 2010), e conseqüentemente chegando as produções agrícolas.

A agricultura e atividades urbanas são consideradas as mais degradadoras, o uso descontrolado do solo quando associado a fertilizantes e agroquímicos pode resultar na contaminação por metais pesados como o cobre (Cu), zinco (Zn), níquel (Ni), cádmio (Cd), que se acumulam na superfície do solo (SOLLITO, 2010). A aplicação frequente de fungicidas foliares pode causar o acúmulo de Cu no solo, principalmente nas camadas superficiais, podendo causar toxidez às plantas (NAGAJYOTI; LEE; SREEKANTH 2010; BRUNETTO; MIOTTO; CERETTA, 2014).

A vitivinicultura causa preocupação quando se diz respeito a contaminação do solo por metais pesados, em especial o Cu. Essa preocupação se dá porque diversos agroquímicos usados para controle de doenças são a base de Cu, como a calda bordalesa ($\text{Ca}(\text{OH})_2 + \text{CuSO}_4$) que é usada para controle e prevenção de doenças fúngicas foliares, como o míldio (*Plasmopara viticola* Berk. & Curt.) (CASALI et al., 2008; GIROTTO, 2010). O Rio Grande do Sul possui a maior área cultivada de videiras do país, sendo que a Serra Gaúcha, localizada na região Nordeste do estado é a mais antiga região de vitivinícola e possui também a maior área cultivada com videira. A partir da década de 70 e mais acentuada na década de 2000, solos da região da Campanha Gaúcha do RS de campo natural foram incorporados ao sistema de produção de uvas viníferas. O uso contínuo da calda bordalesa confere ao solo grandes quantidades de Cu e outros metais, que se acumulam nas camadas superficiais do solo (GIROTTO, 2010).

Mesmo o Cu sendo um micronutriente essencial as plantas, em excesso pode ser tóxico, causando problemas na anatomia da raiz e conseqüentes distúrbios nutricionais, os quais alteram de forma negativa os processos fisiológicos das plantas (BERNAL et al., 2006; JADIA; FULEKAR, 2009; BRAVIN et al., 2010; CAMBROLLÉ et al., 2014), podendo interferir no transporte de elétrons da fotossíntese, na síntese de proteínas e enzimas que atuam no DNA e RNA, e distribuição de carboidratos no interior da planta (KABATA-PENDIAS, 2011).

Uma série de técnicas físicas, químicas e biológicas podem ser utilizadas para remediar os solos contaminados com metais (SARWAR et al., 2017). Como exemplo temos a remediação

física, através de métodos de substituição de solo, dessorção termal, encapsulamento, e na remediação química por meio da lixiviação e estabilização química. Por fim as técnicas biológicas, que envolvem a remediação microbiana e fitorremediação, como o uso de planta biorremediadoras e/ou bactérias, fungos ou outros microrganismos. No entanto, as técnicas físicas e químicas podem vir a apresentar altos custos e algum dano ambiental secundário, sendo, as técnicas biológicas uma alternativa as técnicas convencionais (MALLMANN et al., 2016).

A fitorremediação é uma técnica eficiente, que faz uso de plantas para remoção, estabilização e/ou redução da disponibilidade de metais, remediando áreas contaminadas. Apresenta vantagens de possuir custo razoável, baixo impacto ambiental e grande aceitação pública (NASCIMENTO, et al. 2009; PILON-SMITS, 2005). Ainda sob o termo fitorremediação estão inclusas diferentes técnicas, porém são de interesse deste estudo a fitoextração que se mostrou eficiente na remediação de solos contaminados por metais, baseia-se na absorção e acúmulo do metal na parte aérea da planta (PINHEIRO, 2015), e a fitoestabilização consiste na imobilização de metais no solo, reduzindo sua movimentação (GARBISU; ALKORTA, 2001; SCHWITZGUÉBEL et al., 2009).

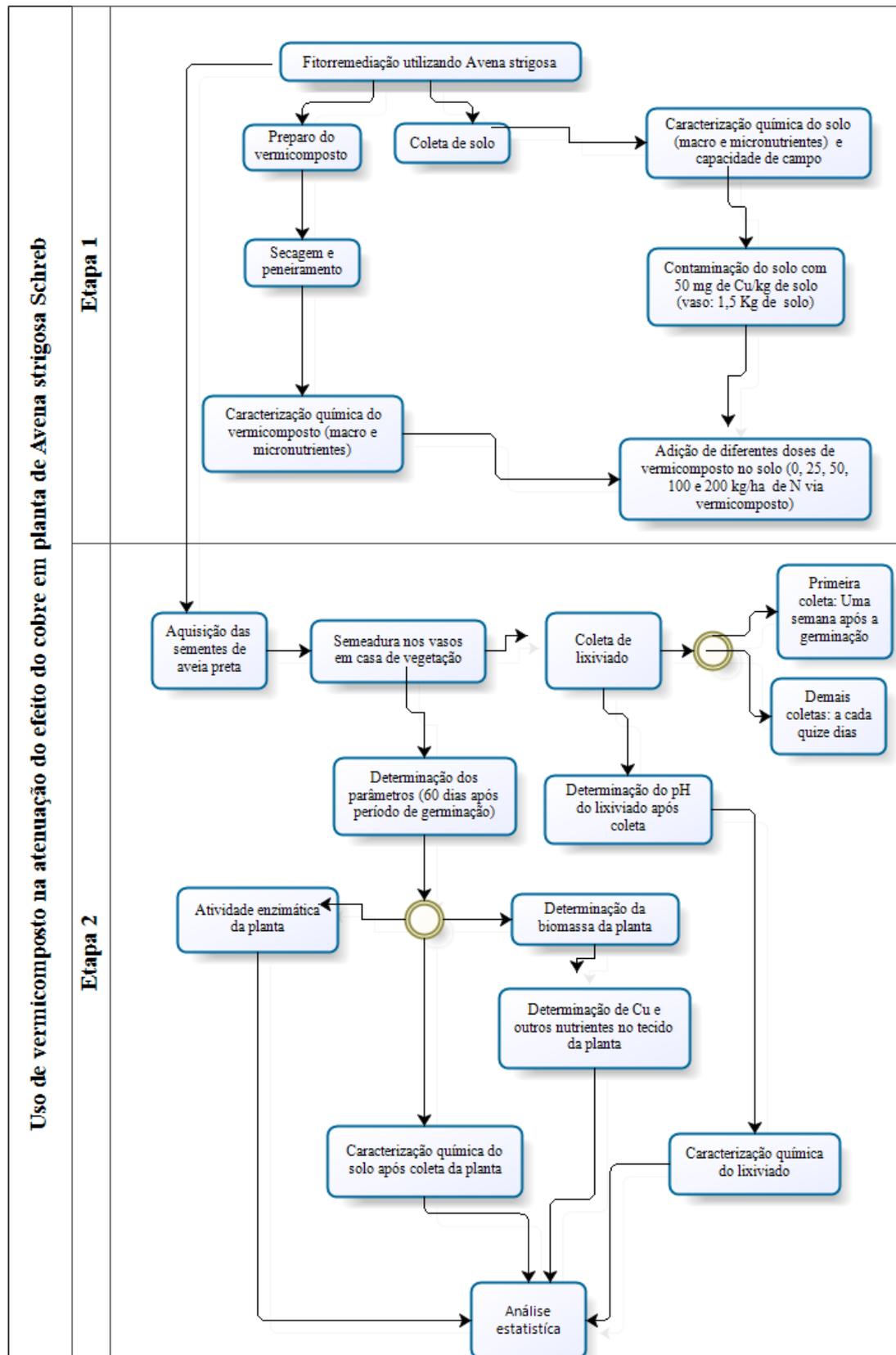
Uma maior eficiência na técnica de fitorremediação pode ser conseguida com a adição de amenizantes ao solo, os mesmos servem para diminuir o efeito tóxico dos metais as plantas. Materiais como calcário, cinzas, materiais a base de fosfato e materiais orgânicos como biossólidos, resíduos orgânicos e dejetos animais, são tidos como amenizantes (BROWN et al., 1996).

Como exemplo de amenizantes encontra-se o vermicomposto, o qual, resíduos orgânicos passam por processos de transformação (UEBEL et al., 2017), que envolvem a interação entre minhocas e microrganismos. As minhocas fragmentam e condicionam o substrato, aumentando a área superficial exposta aos microrganismos, favorecendo a atividade microbiana e a maior decomposição do resíduo (DOMÍNGUEZ et al., 2004).

Embora existam estudos envolvendo a fitorremediação de Cu e os efeitos dos mesmo as plantas, é de fundamental interesse avaliar a interação entre o vermicomposto e aveia preta (*Avena strigosa* Schreb), para a melhor eficiência na remediação deste elemento em solos arenosos da Campanha Gaúcha, pois informações a respeito desta interação ainda são escassas.

A execução do trabalho de pesquisa seguiu o esquema da Figura 1. *Avena strigosa*

Figura 1- Esquema do trabalho realizado sobre o uso de vermicomposto na atenuação do efeito do cobre em planta de *Avena strigosa* em solo arenoso.



2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 CONTAMINAÇÃO POR COBRE EM SOLOS DE VINHEDOS

O Rio Grande do Sul é o estado que possui a maior área cultivada e produção de uva do Brasil, em 2016 cerca de 77.786 ha foram cultivados no país, produzindo cerca de 984.244 ton de uva. Deste total 50.019 ha e 416.731 ton são produzidos no RS (MELLO, 2017).

Elementos como Fe, Cu, Zn e Mn, são essenciais para os seres vivos, porém quando em excesso no solo acabam por ser prejudiciais, inibindo o crescimento de plantas e causando alterações nas comunidades vegetais, bem como efeitos adversos nos microrganismos do solo. Por consequência interfere nas funções do ecossistema, ocasionando problemas ao ambiente e saúde pública (HE et al., 2005; LIMA, 2012).

Práticas agrícolas inadequadas podem ocasionar acúmulo de cobre no solo (MCLAUGHLIN et al., 2000), tais como: a utilização de corretivos, fertilizantes, defensivos e fungicidas a base de cobre (TURRA; FERNANDES; BACCHI, 2011). Pelo manual de calagem e adubação, teores acima de 0,4 mg de cobre kg^{-1} de solo são considerados altos quando encontrados nos solo (CQFS, 2016).

O clima da região Sul do Brasil é mais úmido, fazendo com que se tenha recorrentes aplicações de caldas e de fungicidas que possuem cobre na sua composição para prevenção de doenças fúngicas. Essa aplicação continuada ao longo dos anos provoca o acúmulo de cobre em solos de vinhedo (GIROTTTO, 2010; BRUNETTO; MIOTTO; CERETTA, 2014).

Os solos da região da Campanha Gaúcha são de textura arenosa, naturalmente apresentam-se mais ácidos, com baixos teores de argila, de óxidos e de matéria orgânica. Devido aos atributos físico-químicos destes solos o problema de contaminação por cobre é agravado (MIOTTO et al., 2014), pois essas características reduzem a adsorção específica do cobre e por vezes aumentam sua disponibilidade no solo (GIROTTTO et al., 2016). Assim, medidas de redução da presença de cobre no solo devem ser realizadas.

Em trabalho realizado sobre o acúmulo e formas de Cu e Zn no solo, observou-se que tanto o Cu como o Zn podem se acumular no solo. Sobretudo essa acumulação é observada nas formas biodisponíveis, sendo os maiores teores de Cu encontrados ligados a matéria orgânica do solo e mineral, e os do Zn, na forma mineral (GIROTTTO et al., 2010)

Em solos da região da Campanha Gaúcha com cultivo de videira foram encontrados teores de Cu de 119,5 mg kg^{-1} (MIOTTO et al., 2014). Também foram encontrados teores de Cu de 63 mg kg^{-1} nas camadas superficiais de 0-5 cm em uma região vinícola (GIROTTTO et

al., 2016). Ainda na região da Campanha gaúcha, os teores encontrados de Cu disponível em solos com mais de 30 anos de cultivo, foram 30 vezes maiores que os teores encontrados no solo sem cultivo de videira (GIROTTTO, 2010). Pode-se observar os elevados teores destes elementos no solo, os quais podem ocasionar diversos problemas para as culturas nele estabelecidas, bem como a contaminação do ambiente. Segundo a Resolução CONAMA n° 420/2009, define como contaminação, a presença de substâncias químicas no solo, ar ou água que são decorrentes de atividades antrópicas e que restrinjam o uso desse recurso e possam vir a causar danos à saúde ou ambiente (CONAMA, 2009).

2.2 COBRE NAS PLANTAS

O excesso de cobre no solo gera sintomas de toxidez na planta, podendo causar inibição na atividade enzimática ou alteração na sua estrutura, ocasionando a redução no crescimento das raízes e reduzindo conseqüentemente, a absorção de nutrientes essenciais (KELLER et al., 2015). O alto teor de Cu pode ocasionar toxidez as plantas, trazendo efeitos negativos a sua taxa fotossintética (BRUNETTO; MIOTTO; CERETTA, 2014)

O excesso de cobre no solo pode ainda estimular a formação de espécies reativas de oxigênio (EROs), como o ânion superóxido, o oxigênio singleto, o peróxido de hidrogênio e o radical hidroxil. Quando as plantas são expostas aos metais pesados, estes podem desencadear a produção de espécies reativas de oxigênio. As espécies reativas de oxigênio desencadeiam reações peroxidativas que causam danos significativos em membranas de macromoléculas essenciais, tais como os pigmentos fotossintéticos, proteínas e ácidos nucleicos. As mesmas provocam tais reações pois possuem potencial para interagir de forma não específica com muitos componentes celulares (GIROTTTO, 2010). O excesso de cobre as plantas pode provocar a redução do crescimento, clorose e necrose foliar (ANJUM et al., 2015).

A formação de EROs podem ocasionar muitos efeitos adversos, tais como aumento nos níveis de peroxidação de lipídios das membranas e aumento na carbonilação de proteínas, afetando diretamente a atividade de enzimas, pigmentos fotossintéticos e ácidos nucleicos (FOYER; LELANDAIS; KUNERT, 1994). Dentre as enzimas antioxidantes, as enzimas superóxido dismutase (SOD) fazem o primeiro ajuste, sendo consideradas a primeira linha de defesa ao estresse oxidativo, catalisando a dismutação do radical $O_2^{\cdot-}$, gerando H_2O_2 (ALSCHER; ERTURK; HEATH, 2002; BHATTACHARJEE, 2010). O excesso de H_2O_2 também pode ser prejudicial a planta, sendo necessário a atuação de outras enzimas para que ocorra a regulação do excesso de H_2O_2 nas células. Desta forma, as enzimas catalase (CAT) e

as peroxidases (POD), podem ter as suas atividades aumentadas para que ocorra a eliminação do H_2O_2 (ALSCHER; ERTURK; HEATH, 2002).

Os pigmentos foliares, como clorofila e carotenoides, também são comprometidos, tendo suas concentrações diminuídas progressivamente ao serem submetidos a altos teores de cobre (CAMBROLLÉ et al., 2013). Esses pigmentos são responsáveis pela conversão da radiação luminosa em energia para o desenvolvimento das plantas, que por sua vez estão diretamente ligados à eficiência fotossintética (LASHBROOKE et al., 2010).

Em estudo que foi avaliado o estado nutricional e fisiológico da aveia preta cultivada em solo com altas doses de Cu e Zn, pode-se observar que os tratamentos que não foram adicionados Cu apresentaram as maiores produções de matéria seca da parte aérea (TIECHER et al., 2016). A combinação de altos teores de Cu e Zn no solo causam a redução de matéria seca nas plantas de aveia preta, pois comprometem o funcionamento do aparato fotossintético e à alteração da atividade enzimática das plantas (TIECHER et al., 2016). Ainda, pode-se observar que plantas de aveia preta cultivadas em solos com maiores concentrações de Cu houve uma redução na massa seca da parte aérea (64 mg), quando comparada aos tratamentos controle, apresentando peso seco da parte aérea de 160 mg (GIROTTO et al., 2016).

Visto que os elevados teores de Cu ao solo provocam inúmeros efeitos negativos às plantas, é de fundamental importância a utilização de técnicas que possam remediar a presença deste metal no solo.

2.3 FITORREMEDIAÇÃO DE COBRE

As técnicas de remediação biológica representam alternativas ambientalmente sustentáveis quando comparadas com as químicas e físicas. A remediação microbiana, a qual faz a utilização de microrganismos para remediação do solo (MALLMANN et al., 2016), e a fitorremediação, que faz uso de plantas associadas ou não a microrganismos para descontaminação do solo (GREIPSSON, 2011), são exemplos de remediação biológica. Entre as técnicas citadas, a fitorremediação apresenta papel fundamental para estudo, pois apresenta vantagens quanto a sustentabilidade do sistema.

A fitorremediação consiste na utilização de plantas em associação conjunta ou não aos microrganismos da rizosfera, para sequestrar, degradar ou imobilizar contaminantes do solo, promovendo assim a sua descontaminação (PILON-SMITS, 2005; SOUZA et al., 2011). É considerada um método econômico para remediação de solos contaminados com metais (SARWAR et al., 2017). Ainda sob o termo fitorremediação, diferentes técnicas estão incluídas,

as quais possuem objetivos específicos. Dentre essas técnicas, as de interesse para este estudo são fitoextração e a fitoestabilização.

A fitoextração é uma técnica que se baseia no uso de plantas que removem metais do solo através da absorção pelas raízes, transporte e concentração na parte aérea. Porém para que se obtenha sucesso é necessário que o solo não apresente altos níveis de contaminação, que a planta seja tolerante ao metal em que se quer remover, que apresente um sistema radicular abundante, crescimento rápido, tenha potencial de produzir elevada quantidade de biomassa e que acumule grandes quantidades de metal na parte aérea (MARQUES et al., 2009).

A fitoestabilização consiste na imobilização do contaminante no solo ou no sistema radicular. As raízes das plantas evitam a migração do contaminante, bem como sua dispersão no solo. As plantas ideais para aplicação desta técnica devem ser tolerantes as condições do solo, crescer rapidamente, possuir sistema radicular desenvolvido, absorver grandes quantidades do metal e baixa translocação da raiz para a parte aérea, serem fáceis de estabelecer e manter em condições de campo, e possuírem ciclos de vida longos ou serem capazes de se auto propagar (MORENO; SÍGOLO, 2007; BERTI; CUNNINGHAM, 2000, SANTIBÁÑEZ; VERDUGO; GINOCCHIO, 2008).

Plantas de cobertura, como a aveia preta que são cultivadas nas linhas e entrelinhas de vinhedos, podem ser usadas para avaliar o acúmulo de Cu nestes solos, e também podem determinar sua biodisponibilidade (GIROTTI et al., 2016). Deste modo, a aveia preta quando cultivada em solos de vinhedos com alta concentração de cobre, mostra-se eficiente, pois produzem elevada quantidade de massa seca e acumulam elevadas concentrações de cobre, apresentando elevado potencial para utilização em programas de fitorremediação (VENDRUSCULO, 2013).

2.4 ADUBOS ORGÂNICOS COMO AMENIZANTES DA TOXIDEZ POR COBRE

Quando compostos orgânicos são aplicados em solos contaminados com metais pesados pode ocorrer diferentes processos, como imobilização, disponibilização ou modificação na especiação do metal (PARK et al., 2011).

A matéria orgânica pode induzir a imobilização de metais pesados devido a formação de completos organometálicos (BOLAN et al. 2011). Quando um íon metálico está diretamente ligado a grupos funcionais, os complexos formados são conhecidos como complexos de esfera interna. Um aspecto importante das interações metálicas e orgânicas é a capacidade dos grupos funcionais orgânicos de formar complexos multi dentados, ocasionando um aumento na

estabilidade da ligação. O metal pesado presente no solo, forma complexos com ácidos húmicos e fúlvicos presentes na matéria orgânica (BRADL, 2004). A adição de compostos orgânicos foi eficaz para a imobilização de Cu devido a formação de complexos entre a matéria orgânica e o cobre (BOLAN; DURAISAMY, 2003).

O pH é um fator importante na imobilização e remoção de metais, pois, com seu aumento o grupo funcional da superfície é carregado negativamente, proporcionando a remoção dos cátions metálicos do solo a pH elevado (YANG et al., 2006). A adição de compostos orgânicos ao solo proporciona um aumento no pH, deste modo, provoca uma maior remoção e imobilização de metais pesados. Por exemplo, Bolan; Adriano; Duraisamy, (2003), avaliaram que ao realizar a adição de composto de bio-sólido ocorreu o aumento das cargas de superfície, e uma maior imobilização de metais.

Se o pH do solo for corrigido, realizando-se a calagem, a disponibilidade de Cu as plantas pode ser limitada, pois elevando o pH diminui a disponibilidade de Cu na solução do solo, por formar complexos de esfera interna com óxidos de Fe e Al (MEIER et al., 2012). Sendo assim, pode-se usar amenizantes de origem inorgânica como gesso, calcário, amenizantes a base de fosfato, e outros, e de origem orgânica como compostos orgânicos e vermicomposto, dejetos de animais, e outros. Estes amenizantes, podem ser adicionados ao solo para elevar o pH (PARK et al., 2011).

A adição de adubos orgânicos confere um aumento nos teores de nutrientes no solo, que por sua vez melhora o estado nutricional das plantas que estão estabelecidas nestes solos. A melhora no estado nutricional destas plantas pode ocasionar um aumento no seu potencial fitorremediador.

A adição de adubos orgânicos pode conferir um aumento nos teores de fósforo no solo. Que por sua vez pode ocasionar uma redução na disponibilidade dos metais pesados, devido a formação de complexos fosfato metal. Os compostos de fosfato são conhecidos por serem eficazes na imobilização de metal pesado (BOLAN; ADRIANO; NAIDU, 2003; PARK et al., 2011). Por exemplo, vários compostos de fosfato revelaram-se muito eficazes na imobilização de metais pesados em solos (CAO et al., 2009; KUMPIENE; LAGERKVIST; MAURICE, 2008; CHEN et al., 2003).

Propriedades do solo podem ser melhoradas quando se tem adição de material orgânico, contribuindo para o crescimento das plantas e imobilização de metais pesados (BAKER; WHITE; PIERZYNSKI, 2011). A adição de material orgânico ao solo mostra-se uma boa estratégia para a recuperação de áreas contaminadas por metais pesados (TEJADA et al., 2008),

sendo capaz de modificar a eficiência da fitorremediação de metais pesados (PARK et al., 2011).

Quando são adicionados amenizantes orgânicos em solos com altos teores de metais pesados, pode-se reduzir a disponibilidade destes elementos traços. A adição de amenizantes orgânicos promove o aumento das formas complexadas ou quelatadas a matéria orgânica, tendo como consequência a redução de formas trocáveis (KABATA-PENDIAS, 2011).

A adubos orgânicos são considerados bons amenizantes, pois possuem elevada quantidade de matéria orgânica, e grande capacidade de imobilizar metais do solo, fazendo com que o efeito tóxico no crescimento das plantas seja diminuído (BOLAN; DURAISAMY, 2003).

O uso de compostos orgânicos amenizou o efeito tóxico de Cu e Pb e aumentou a produção de matéria seca nas plantas de azevém. Esta redução no efeito tóxico pode ser atribuída devido aumento do carbono solúvel no solo, atuando como agente quelante e aumentando a disponibilidade dos metais na solução (KARAMI et al., 2011).

A utilização do vermicomposto se torna uma alternativa viável, sendo o mesmo um bom amenizante, se mostrando eficiente na imobilização de metais pesados no solo, além de melhorar as propriedades do solo, pois adição confere um aumento nos nutrientes destes solos, visto que o solo da região da Campanha Gaúcha são arenosos, com baixos teores de matéria orgânica e nutrientes.

3 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALSCHER, R.G.; ERTURK, N.; HEATH, L.S. Role of superoxide dismutases (SODs) in controlling oxidative stress in plants. **Journal of Experimental Botany**, v.53, n. 372, p.1331-1341, 2002.
- ANJUM, N.A., et al. Too much is bad—an appraisal of phytotoxicity of elevated plant-beneficial heavy metal ions. **Environmental Science and Pollution Research**, v. 22, p. 3361–3382. 2015.
- BAKER, L.R., WHITE, P.M., PIERZYNSKI, G.M. Changes in microbial properties after manure, lime, and bentonite application to a heavy metal-contaminated mine waste. **Applied Soil Ecology**, v. 48, p. 1–10, 2011.
- BERNAL, M. et al. Excess copper effect on growth, chloroplast ultrastructure, oxygen-evolution activity and chlorophyll fluorescence in *Glycine max* cell suspensions. **Physiologia Plantarum**, v. 127, p. 312–325, 2006.
- BERTI, W.R.; CUNNIGHAM, S.D. Phytostabilization of metals. In: RASKIN, I. & ENSLEY, B. D. (eds.). *Phytoremediation of toxic metals: Using plants to clean up the environment*. New York: Wiley, p.71-88, 2000.
- BHATTACHARJEE, S. Sites of generation and physicochemical basis of formation of reactive oxygen species in plant cell. In: GUPTA, S.D. *Reactive oxygen species and antioxidants in higher plants*. Enfi eld: **Science Publishers**, p.1-30, 2010.
- BOLAN, N.S.; DURAISAMY, V.P. Role of inorganic and organic soil amendments on immobilization and phytoavailability of heavy metals: a review involving specific case studies. **Australian Journal of Soil Research**, v. 41, p. 533-555, 2003.
- BOLAN, N. S.; ADRIANO, D. C.; NAIDU, R. Role of phosphorus in (im) mobilization and bioavailability of heavy metals in the soil-plant system. In: **Reviews of environmental contamination and toxicology**. Springer, New York, NY, p. 1-44, 2003.
- BOLAN, N. S. et al. Dissolved organic matter: biogeochemistry, dynamics, and environmental significance in soils. In: **Advances in agronomy**. Academic Press, p. 1-75, 2011.
- BRADL, H. B. Adsorption of heavy metal ions on soils and soils constituents. **Journal of colloid and Interface Science**, v. 277, n. 1, p. 1-18, 2004.
- BRAVIN, M. N. et al. Copper uptake kinetics in hydroponically-grown durum wheat (*Triticum turgidum durum* L.) as compared with soil's ability to supply copper. **Plant And Soil**, França, v. 331, n. 1-2, p.91-104, 2009.
- BROWN, S. L. et al. Relative uptake of cadmium by garden vegetables and fruits grown on long-term biosolid-amended soils. **Environmental Science & Technology**, v. 30, n. 12, p. 3508-3511, 1996.

BRUNETTO, G.; MIOTTO, A.; CERETTA, C. A.; et al. Mobility of copper and zinc fractions in fungicide-amended vineyard sandy soils. **Archives of Agronomy and Soil Science**, v. 60, n. 5, p. 609–624, 2014.

CAMBROLLÉ, J. et al. Evaluating wild grapevine tolerance to copper toxicity. **Chemosphere**, v. 120C, p. 171–178, 2014.

CAMBROLLÉ, J. et al. Growth and photosynthetic responses to copper in wild grapevine. **Chemosphere**, v. 93, n. 2, p. 294–301, 2013.

CAO, X. et al. Immobilization of Zn, Cu, and Pb in contaminated soils using phosphate rock and phosphoric acid. **Journal of Hazardous Materials**, v. 164, n. 2-3, p. 555-564, 2009.

CHEN, M. et al. Field demonstration of in situ immobilization of soil Pb using P amendments. **Advances in Environmental Research**, v. 8, n. 1, p. 93-102, 2003.

Comissão de Química e Fertilidade do Solo (CQFS). **Manual de calagem e adubação para os estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina**. Porto Alegre: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo-Núcleo Regional Sul, 2016.

CONAMA-**Conselho Nacional do Meio Ambiente**. Resolução N° 420, de 28 de dezembro de 2009. Dispõe sobre critérios e valores orientadores de qualidade do solo quanto à presença de substâncias químicas e estabelece diretrizes para o gerenciamento ambiental de áreas contaminadas por essas substâncias em decorrência de atividades antrópicas. Brasília, Dezembro 2009, p 81-84.

DOMÍNGUEZ, J. State of the art and new perspectives in vermicomposting research. **Earthworm Ecology**. p. 401-425. In: C. A. Edwards (ed). CRC Press. Boca Raton. 2004.

FOYER, C.H.; LELANDAIS, M.; KUNERT, K.J. Photooxidative stress in plants. **Acta Physiologiae Plantarum**, v. 92, p.696-717, 1994.

GARBISU, C.; ALKORTA, I. Phytoextraction: a cost-effective plant-based technology for the removal of metals from the environment. **Bioresource Technology**, v.77, p.229-236, 2001.

GIROTTTO, E. **Alterações fisiológicas e bioquímicas em plantas cultivadas em solos com acúmulo de cobre e zinco**. 2010. 152p Tese (Doutorado). Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2010.

GIROTTTO, E. et al. Acúmulo e formas de cobre e zinco no solo após aplicações sucessivas de dejetos líquidos de suínos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 2010.

GIROTTTO, E. et al. Biochemical changes in black oat (*Avena strigosa* schreb) cultivated in vineyard soils contaminated with copper, **Plant Physiology et Biochemistry**, v. 103, p.199-207. 2016.

GREIPSSON, S. Phytoremediation. **Nature Education Knowledge**, v. 3, n. 10, p. 7, 2011.

HE, Z. L. et al. Trace elements in agroecosystems and impacts on the environment. **Journal Of Trace Elements In Medicine And Biology**, Usa, v. 19, n. 2-3, p.125-140, 2005.

JADIA, C. D.; FULEKAR, M. H.. Phytoremediation of heavy metals: Recent techniques. **African Journal Of Biotechnology**, India, v. 8, n. 6, p.921-928, 2009.

KABATA-PENDIAS, A. Trace elements in soils and plants. 4th ed. Boca Raton : Taylor e Francis Group, 2011.

KARAMI, N. et al. Efficiency of green waste compost and biochar soil amendments for reducing lead and copper mobility and uptake to ryegrass. **Journal of hazardous materials**, v. 191, n. 1-3, p. 41-48, 2011.

KELLER, C. et al. Effect of silicon on wheat seedlings (*Triticum turgidum* L.) grown in hydroponics and exposed to 0 to 30 μ M Cu. **Planta**, v. 241, p. 847–860. 2015.

KUMPIENE, J; LAGERKVIST, A; MAURICE, C. Stabilization of As, Cr, Cu, Pb and Zn in soil using amendments—a review. **Waste management**, v. 28, n. 1, p. 215-225, 2008.

LASHBROOKE, J. G. et al. The development of a method for the extraction of carotenoids and chlorophylls from grapevine leaves and berries for HPLC profiling. **Australian Journal of Grape and Wine Research**, v. 16, n. 2, p. 349–360, 2010.

LIMA, A. L. de. **AMENIZANTES EM SOLO CONTAMINADO COM BÁRIO**. 2012. 97 f. Tese (Doutorado) - Curso de Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinária, Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal- São Paulo, 2012.

MALLMANN, F. J. K. et al. **Manejos indicados pela pesquisa para mitigar o excesso de metais pesados nos solos do sul do Brasil**. In: Tales Tiecher. (Org.). Manejo e conservação do solo e da água em pequenas propriedades rurais no sul do Brasil: práticas alternativas de manejo visando a conservação do solo e da água. 1ed.Porto Alegre: UFRGS, 2016, v. 1, p. 118-140.

MARQUES, A. P. G. C., et al. Remediation of heavy metal contaminated soils: phytoremediation as a potentially promising clean-up technology. **Critical Reviews in Environmental Science and Technology**, v.39, p.622-64, 2009.

MCLAUGHLIN, M. J. et al. Review: a bioavailability-based rationale for controlling metal and metalloid contamination of agricultural land in Australia and New Zealand. **Australian Journal of Soil Research**. v. 38 p. 1037–1086, 2000.

MEIER, S. et al. Phytoremediation of metal-polluted soils by arbuscular mycorrhizal fungi. **Critical Reviews in Environmental Science and Technology**, v. 42, p. 741–775. 2012.

MELLO, L. M. R de. Panorama da produção de uvas e vinhos no Brasil. **Embrapa Uva e Vinho-Artigo em periódico indexado (ALICE)**. 2017.

MIOOTTO, A. et al. Copper uptake, accumulation and physiological changes in adult grapevines in response to excess copper in soil. **Plant and Soil**, v. 374, p. 593-610. 2014.

MORENO, F. N.; SÍGOLO, J. B. **Fitoestabilização controlada: proposta de processo de revitalização para passivos de areias de fundição**. In: MOERI, E; RODRIGUES, D; NIETERS, A. (Editores). Áreas contaminadas: remediação e revitalização. São Paulo: Signus Editora, 2007. V. 3, p. 81-99.

NAGAJYOTI, P. C.; LEE, K. D.; SREEKANTH, S. V. M. Heavy metals, occurrence and toxicity for plants: a review. **Environmental Pollution**, v.8, p.199-216, 2010.

NASCIMENTO, C. W. A., et al. Fitoextração de metais pesados em solos contaminados: avanços e perspectivas. **Tópicos em Ciência do Solo**, v. 6, p. 461-4495, 2009.

PARK, J.H. et al. Role of organic amendments on enhanced bioremediation of heavy metal(loid) contaminated soils. **Journal of Hazardous Materials**, v. 185, p. 549–574, 2011.

PILON-SMITS, E. Phytoremediation. **Annual Revisions in Plant Biology**, v. 56, p.15-39. 2005.

SANTIBÁÑEZ, C.; VERDUGO, C.; GINOCCHIO, R. Phytostabilization of copper mine tailings with biosolids: Implications for metal uptake and productivity of *Lolium perenne*. **Science of Total Environment**, v. 395, v.1, p. 1-10, 2008.

SARWAR, N. et al. Phytoremediation strategies for soils contaminated with heavy metals: Modifications and future perspectives. **Chemosphere**, v. 171, p. 710-721, 2017.

SCHWITZGUÉBEL, J. P. et al. From green to clean: a promising and sustainable approach towards environmental remediation and human health for the 21st century. **Agrochimica**, v. 53, p. 209-237, 2009.

SOUZA, E. R. et al. Fitoextração de sais pela *Atriplex numulária* Lindl. Sob estresse hídrico em solo salino sódico. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 15, n.5, p. 477-483, 2011.

SOUZA, M. R. F. de. **Fitorremediação de solo contaminado por Metais Pesados**. 2010. 30 f. TCC (Graduação) - Curso de Ciências Biológicas, Centro Universitário Metodista, Belo Horizonte, 2010.

TEJADA, M. et al. Soil amendments with organic wastes reduce the toxicity of nickel to soil enzyme activities. **European Journal of Soil Biology**, v. 44, p. 129-140, 2008.

TIECHER, T. L. et al. Physiological and nutritional status of black oat (*Avena strigosa* Schreb.) grown in soil with interaction of high doses of copper and zinc. **Plant Physiology and Biochemistry**, v. 106, p. 253-263, 2016.

TURRA, C.; FERNANDES, E. A. N.; BACCHI, M. A. Evaluation on rare earth elements of Brazilian agricultural supplies. **Journal of Environmental Chemistry and Ecotoxicology**. v. 3, p. 86-92, 2011.

UEBEL, A. et al. PROCESSOS DE REMEDIAÇÃO DO SOLO CONTAMINADO COM CHUMBO. **Revista Caderno Pedagógico**, v. 14, n. 1, 2017.

VENDRUSCULO, D. **Seleção de plantas para fitorremediação de solo contaminado com cobre**. 2013. 58p. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) – Universidade Federal de Santa Maria. Santa Maria, RS. 2013.

YANG, J. Y. et al. Effects of pH, organic acids, and inorganic ions on lead desorption from soils. **Environmental Pollution**, v. 143, n. 1, p. 9-15, 2006.

4 ARTIGO

USO DE VERMICOMPOSTO NA ATENUAÇÃO DO EFEITO DO COBRE EM PLANTA DE *Avena strigosa* Schreb

RESUMO

As aplicações de fungicidas com cobre (Cu) são realizadas com frequência em videiras, para controle preventivo de doenças fúngicas, porém a aplicação contínua ao longo dos anos provoca o aumento na concentração deste metal no solo. Desta forma, o objetivo deste estudo foi caracterizar o efeito do vermicomposto no crescimento e desenvolvimento da planta de cobertura *Avena strigosa* em solo arenoso, com excesso de cobre, oriundo de vinhedos. O experimento foi conduzido em casa de vegetação e as amostras de solo foram coletadas em uma área destinada a viticultura em Santana do Livramento, na região da Campanha Gaúcha do Rio Grande do Sul. Foi adicionado 50 mg kg⁻¹ de cobre no solo coletado, e formando seis tratamentos: 0 (V0), 25 (V25), 50 (V50), 100 (V100) e 200 (V200) kg ha⁻¹ de nitrogênio (N) via vermicomposto de esterco bovino, além do tratamento adubação mineral (AM). Ao primeiro dia de instalação do experimento foi realizada uma lixiviação forçada no solo e coletado o líquido que escoou, após isso as coletas foram realizadas a cada 15 dias. Avaliou-se, no lixiviado os teores de Cu, P e pH, de todas as coletas. No solo a disponibilidade de Cu, P, K, Mn, Fe e Zn, e na parte aérea Cu, N, P, K, Mn, Fe e Zn e raízes o acúmulo de Cu, P, K e N, a massa seca da parte aérea e raiz da aveia preta. A atividade de enzimas do estresse oxidativo também foram avaliadas aos 52 dias. Nas doses mais altas de vermicomposto obteve-se a maior produção de massa seca da parte aérea e raiz, e os maiores teores de N, P, K, e menores teores de Cu, Zn, Fe e Mn. E também nas doses mais altas de vermicomposto ocorreu as maiores lixiviação de Cu e P. A adição de vermicomposto mostrou-se eficaz na redução da fitotoxicidade de Cu. Deste modo, a aveia preta possui potencial para ser empregada na remediação de cobre junto com o vermicomposto a base de esterco bovino, e possuem potencial na redução de cobre e fósforo do lixiviado.

Palavras-chave: Excesso de cobre. Adubo orgânico. Aveia preta. Minhoca.

VERMICOMPOST USE IN THE ATTENUATION OF COPPER EFFECTS ON *Avena strigosa* Schreb PLANT

ABSTRACT

The application of copper-based fungicides are frequently realized in order to perform the preventive control of fungal diseases. Nonetheless, the long term application causes a surplus of this heavy metal in soil. Thus, this study aimed to characterize the effects of vermicompost on growth and development of the ground cover plant *Avena strigosa* in sandy soils with surplus of copper from vineyards. The experiment was carried out in a greenhouse and the soil samples were collected in a vineyard in Santana do Livramento, in the Campanha Gaúcha region. A 50 mg kg⁻¹ dosage of copper was added on the sampled soil, and designing seven treatments: 0 (V0), 25 (V25), 50 (V50), 100 (V100) e 200 (V200) kg ha⁻¹ of Nitrogen (N) via vermicompost of bovine manure, and also a treatment with mineral fertilizer (AM). The first day of experiment set up a forced leaching on soil was realized and the leached was collected, thereafter, the sampling were realized each 15 days. On the leachate, the levels of Cu, Zn, Fe, Mn, P and pH of all samples were evaluated. In the soil, the availability of Cu, P, K, Mg, Fe and Zn was

determined, and also on aerial part and root the accumulation of Cu, P, K, Mg, Fe and Zn was determined, the dry mass of aerial part of black oat. The enzyme activity of oxidative stress were evaluated by 52 days of experiment. In higher doses of vermicompost a bigger production of the dry mass of aerial and root parts, as well as higher levels of N, P and K, and lower levels of Cu, Zn, Fe and Mn were determined. Additionally, with higher doses of vermicompost a higher leaching of Cu and P was observed. The addition of vermicompost showed effective on the reduction of the phyto-toxicity of Cu. Thus, the black oat has potential to be used in the remediation of copper in combination with bovine manure based vermicomposto, additionally this combination has the potential to reduce the leaching of copper and phosphorus.

Keywords: Copper surplus. Organic fertilizer. Black oat. Earthworm.

4.1 INTRODUÇÃO

As principais causas no aumento das concentrações de metais pesados como o cobre no solo e na planta, são principalmente pela aplicação de agrotóxicos, fertilizantes minerais e dejetos animais. Dentre os agrotóxicos, podemos citar os fungicidas cúpricos em videiras, que confere um aumento no teor de cobre nos solos (TIECHER, 2017).

O cultivo de videira na região Sul iniciou com a chegada de imigrantes italianos, em torno de 1870, sendo esta a região com a maior área cultivada do Brasil (MELLO; MACHADO, 2013). No Rio Grande do Sul a região da Campanha Gaúcha, apresenta a viticultura com um cunho mais empresarial, e uso intensivo de mecanização e contratação de mão de obra (TIECHER, 2017). Na região da serra há uma predominância de solos naturalmente férteis e ácidos, com teores médios a altos de matéria orgânica. Na região da campanha, os solos possuem baixa fertilidade natural, são ácidos, predominantemente arenosos e com baixo teor de matéria orgânica, tais características fazem com que o problema de contaminação por cobre seja agravado (MELO; ZALAMENA, 2016).

As altas precipitações na região Sul do Brasil, provocam maior incidência de doenças fúngicas em videiras, as quais necessitam de controle, com recorrentes aplicações de fungicidas nas videiras. Os principais fungicidas utilizados possuem Cu em sua composição, como exemplo a calda bordalesa $[Ca(OH)_2 + CuSO_4]$. Deste modo, a aplicação continua a longo dos anos tem provocado um acúmulo de Cu em solos de vinhedo (GIROTTTO, 2010; BRUNETTO; MIOTTO; CERETTA, 2014; TIECHER, 2017).

O Cu é um micronutriente essencial para o desenvolvimento das plantas (AN, 2005), porém, em excesso no solo causa problemas de fitotoxidez, inibindo a atividade enzimática ou provocando alterações em proteínas, redução na absorção de nutrientes e consequente redução na produção de biomassa (KELLER et al., 2015). Ainda o excesso de metais pesados nos tecidos das plantas ocasiona distúrbios bioquímicos, tais como o aumento nas concentrações de

espécies reativas de oxigênio (EROs) (YRUELA, 2005). O excesso de cobre nos solos vem ocasionando baixas produções de matéria seca em plantas de cobertura estabelecidas nas entrelinhas destes vinhedos (TIECHER et al., 2016; GIROTTO et al., 2016), que por sua vez deixam os solos destas regiões desprotegidos e suscetíveis a erosão. Deste modo, é de fundamental importância a utilização de técnicas que visem mitigar a presença do cobre no solo.

A fitorremediação é uma técnica de biorremediação que consiste na utilização de plantas associadas ou não a microrganismos para remover, conter ou reduzir contaminantes no solo (DARY et al., 2010; TAHIR; YASMIN; KHAN, 2016). É uma técnica eficiente, de baixo custo, que ocasiona melhora no ambiente e redução no impacto ambiental (DARY et al., 2010; UEBEL et al., 2017). Dentre as técnicas da fitorremediação, a fitoestabilização e a fitoextração são de interesse neste estudo. A fitoestabilização é uma técnica da fitorremediação que consiste no uso de plantas para reduzir a biodisponibilidade e mobilidade de contaminantes no solo, através do seu sistema radicular, evitando sua migração para as águas subterrâneas (ALI; KHAN; SAJAD, 2013; SYLVAIN et al., 2016). Na fitoextração os contaminantes são absorvidos pelas raízes das plantas, transportados e acumulados na parte aérea das mesmas (ALI; KHAN; SAJAD, 2013; MAHAR et al., 2016).

Nas entrelinhas dos vinhedos são inseridas plantas de coberturas, sendo a *Avena strigosa* Schreb, uma das mais utilizadas, desta forma, as mesmas podem ser utilizadas para indicar o acúmulo de Cu no solo, bem como, sua biodisponibilidade (GIROTTO et al., 2016). Vendrusculo (2013) avaliou a eficiência da aveia preta em solos de vinhedo com alta concentração de cobre, podendo observar que a mesma pode ser eficiente na técnica de fitorremediação, pois produz elevada quantidade de massa seca e acumula elevadas concentrações de cobre.

Pode-se observar a dificuldade da vegetação se estabelecer em locais que estão com concentrações altas ou muito altas de metais pesados no solo. Deste modo, torna-se necessário a utilização de amenizantes, para que os mesmos mitiguem os efeitos tóxicos provocados pelo excesso destes metais, e que as plantas possam crescer e se desenvolver nestas áreas (TAVARES, 2013). O vermicomposto é um adubo orgânico que pode ser usado como amenizante (SANTANA et al., 2015). Quando realiza-se a adição de amenizantes no solo, como o vermicomposto, os mesmos convertem as frações solúveis e trocáveis dos metais em formas menos lábeis, fazendo com que ocorra uma diminuição da biodisponibilidade e toxicidade às plantas (MENDES et al., 2014). O vermicomposto provoca aumento no pH e no teor nutrientes no solo além de apresentar compostos orgânicos que promovem o maior crescimento das plantas em solos contaminados (FERREIRA et al., 2018).

Deste modo, é de fundamental importância conhecer os efeitos da adição de vermicomposto em solos contaminados com cobre e a sua interação com a planta de cobertura. Assim, nossa hipótese é que a adição do vermicomposto auxilia a redução nos teores de Cu no solo e promove o crescimento de *Avena strigosa* aumentando a fitorremediação do metal em solo arenoso com excesso de cobre. Para testar esta hipótese o objetivo deste estudo foi caracterizar o efeito do vermicomposto no crescimento e desenvolvimento da planta de cobertura *Avena strigosa* em solo arenoso, com excesso de cobre, oriundo de vinhedos.

4.2 MATERIAL E MÉTODOS

O solo utilizado no cultivo das plantas foi coletado na camada de 0-20 cm em um vinhedo da Campanha Gaúcha, Brasil (30°48'27"S e 55°22'42"W). O solo é classificado como Argissolo Vermelho (EMBRAPA, 2006), com caracterização química conforme a Tabela 1.

Tabela 1- Características químicas do vermicomposto de esterco bovino, obtido após 150 dias (VIONE et al., 2016). E caracterização química do solo antes da aplicação dos tratamentos.

Parâmetros	Unidade	Vermicomposto	Solo
Matéria orgânica	%	**	1,2
Argila	%	**	12
Nitrogênio	%	1,1	**
Fósforo	mg kg ⁻¹	4000	11,3
Potássio	mg kg ⁻¹	4000	52
Carbono	%	17	**
Relação C/N	-	15,4	**
pH	-	7,2	5,1
Cobre*	mg kg ⁻¹	131,5	25,8
Zinco*	mg kg ⁻¹	64,9	7,9
Ferro*	mg kg ⁻¹	34,5	**
Manganês*	mg kg ⁻¹	201,6	**

*Análises realizadas durante a execução do trabalho, do vermicomposto utilizado. ** Parâmetros não avaliados no solo e vermicomposto.

Efetuuou-se a correção do pH do solo conforme recomendações técnicas do Manual de Calagem e Adubação para os Estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina (CQFS, 2016) e

efetuada a adição de 50 mg Cu kg⁻¹ de solo através da adição de sulfato de cobre e cloreto de cobre. O solo foi incubado por 30 dias, com umidade controlada para 70% da capacidade de campo com adição de água destilada quando necessário. A temperatura do ambiente foi controlada mantendo-se em 28 °C.

O vermicomposto usado para adubação foi produzido a partir de dejetos bovinos (VIONE et al., 2016), submetido à compostagem aeróbica e posteriormente à vermicompostagem com minhocas da espécie *Eisenia andrei* Bouché (1972). Realizou-se a caracterização química do vermicomposto (Tabela 1), determinando-se os teores de nitrogênio e carbono por combustão seca, seguindo a metodologia de Tedesco et al. (1995). As análises dos elementos fósforo, potássio, cobre, zinco, ferro, foram realizadas em Espectrômetro de Emissão Atômica com Plasma Acoplado Indutivamente (ICP-OES; Perkin- Elmer, Optima 7000DV, USA), determinadas em extrato nítrico-perclórico, conforme a metodologia descrita por Malavolta et al. (1997). O vermicomposto apresentou teor de matéria seca entre 75-80%.

A aveia preta foi semeada em vasos de 2 L com 1,5 kg de solo e preparado, conforme os tratamentos (Tabela 2). Para controle da umidade, efetuou-se pesagens diárias dos vasos e adição de água destilada quando necessário.

O delineamento experimental utilizado foi inteiramente casualizado, composto de seis tratamentos: adubação mineral (AM), 0 (V0), 25 (V25), 50 (V50), 100 (V100) e 200 (V200) kg ha⁻¹ de nitrogênio (N) via vermicomposto de esterco bovino, com cinco repetições em cada tratamento. Foram utilizadas doses de acordo com o CQFS (2016) para aveia preta, o qual, foi utilizada a dose recomendada (V50), metade dela (V25), e duas doses acima da recomendada (V100) e (V200). Desta forma, cada vaso recebeu 18,75 (V25), 37,5 (V50), 75 (V100), 150 (V200) mg de N, totalizando, 3,75, 7,5, 15 e 30 gramas de vermicomposto por vaso, o que corresponde a 5, 10, 20 e 40 ton ha⁻¹.

Para verificar a dinâmica do cobre na solução do solo, realizou-se coleta do lixiviado, no primeiro dia de instalação do experimento, e mais 3 coletas a cada 15 dias, e uma última coleta após 7 dias. Para realizar a coleta efetuou-se uma lixiviação forçada, através da adição de aproximadamente 300 mL de água destilada, até a saturação do solo, variando de acordo com cada tratamento, coletando-se todo líquido escoado em potes alocados abaixo dos vasos cultivados com aveia preta. Foram determinados o pH, e os teores de Cu, em espectrofotômetro de absorção atômica (932 AA, GBC, Austrália), e P, por colorimetria segundo Murphy e Riley (1962), do lixiviado.

A parte aérea e raiz da planta foram colhidas no florescimento, 52 dias após a semeadura. As raízes foram separadas do solo manualmente, e lavadas com água corrente

seguida por solução de EDTA 0,02 mol L⁻¹, e por fim água destilada. Para determinação da matéria seca, a parte aérea, e as raízes foram secas em estufa com circulação de ar forçado a 65°C até massa constante. Posteriormente foram determinados os teores de Cu, P, K, Mg, Fe e Zn na parte aérea e Cu, K, N, P na raiz. Para estas análises utilizou-se a digestão nítrico-perclórica, em espectrofotômetro de absorção atômica (932 AA, GBC, Austrália) (EMBRAPA, 1997). O teor de N na parte aérea foi determinado após a digestão sulfúrica pelo método de Kjeldahl.

Os teores de Cu, Zn, Fe, Mn, P e K do solo foram extraídos por Mehlich-3 (MEHLICH, 1984). O Cu Zn, Fe e Mn foram determinados em espectrofotômetro de absorção atômica (932 AA, GBC, Austrália). O K foi determinado em fotômetro de chama (DM-62, DIGIMED, Brasil) e o P por colorimetria segundo Murphy e Riley (1962).

Antes da coleta das plantas, 50 dias após a emergência, amostras da parte aérea da foram coletadas, dispostas em N₂ líquido e armazenadas em ultra freezer (-80 °C) para determinação das enzimas do estresse oxidativo, a superóxido dismutase (SOD) e peroxidases não específicas (POD). Para determinação da superóxido dismutase (SOD) foram utilizadas amostras congeladas contendo aproximadamente 0,5 g de parte aérea macerada em N₂ líquido e homogeneizado com 3 mL de solução tampão de fosfato de sódio 0,05 M em pH 7,8; contendo 1 mM EDTA e 0,5 % Triton X-100. O homogeneizado foi centrifugado a 13 000 g durante 20 min a 4 °C. Coletou-se 0,5 mL de sobrenadante que foi utilizado para ensaio de atividade enzimática (Zhu et al., 2004; Bradford, 1976).

A atividade da superóxido dismutase foi determinada de acordo com o método espectrofotométrico descrito por Giannopolitis e Ries (1977). Uma unidade de SOD foi definida como a quantidade de enzima que inibe a fotorredução do azul de tetrazólio (NBT 50%) (BEAUCHAMP; FRIDOVICH, 1971). A atividade da enzima guaiacol peroxidases não específicas (POD), presentes no extrato foi determinada segundo Zeraik et al. (2008), utilizando-se o guaiacol como substrato. A atividade da enzima foi medida através da oxidação do guaiacol a tetraguaiacol através do aumento na absorbância a 470 nm. Os resultados foram expressos em unidade de enzima por mg de proteína (U mg⁻¹ proteína).

Os resultados foram submetidos à análise de variância (ANOVA), as médias foram comparadas pelo teste de Tukey (P < 0.05) e por análise de regressão com o auxílio do programa SISVAR.

4.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.3.1 Características químicas do solo após o cultivo

Os teores de cobre foram menores nos tratamentos V25 e V200, respectivamente, os demais tratamentos não diferiram entre si. Para zinco os menores teores foram observados no tratamentos AM e V25, e os demais tratamentos não diferiram entre si. Para os teores de ferro pode-se observar que os tratamentos V100 e V200 apresentaram os maiores teores, e o menor foi encontrado no tratamento AM. Os teores de manganês não apresentaram diferença estatística entre os tratamentos. Já para potássio, observa-se os maiores teores nos tratamentos AM e V200 e o menor no tratamento V25. O teor de fósforo foi maior no tratamento V200 e menor nos tratamentos em que não houve a adição de vermicomposto (AM) e (V0) (Tabela 2).

Tabela 2- Características químicas do solo após o cultivo de *Avena strigosa* em solo arenoso contaminado com 50 mg Cu kg⁻¹ e adicionado de doses de vermicomposto de esterco bovino.

Tratamentos	Cu	Zn	Fe	Mn	K	P
mg kg ⁻¹						
AM**	46,48 a*	8,55 b	17,27 c	101,03 a	31,67 a	1,95 d
V0	47,55 a	14,71 a	17,35 bc	101,74 a	23,67 bc	1,65 d
V25	33,87 b	7,99 b	18,46 b	99,27 a	23,00 c	8,9 c
V50	45,74 a	19,13 a	18,43 b	102,34 a	23,66 bc	9,01 c
V100	45,04 a	16,74 a	20,01 a	97,69 a	27,33 b	15,21 b
V200	33,52 b	18,49 a	19,73 a	103,74 a	34,00 a	33,96 a

*Médias seguidas pela mesma letra na coluna, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade de erro. **Adubo mineral (AM); 0 kg ha⁻¹ de N via vermicomposto (V0), 25 kg ha⁻¹ de N via vermicomposto (V25); 50 kg ha⁻¹ de N via vermicomposto (V50); 100 kg ha⁻¹ de N via vermicomposto (V100); 200 kg ha⁻¹ de N via vermicomposto (V200).

O solo da região utilizado para o estudo, possui concentrações elevadas de cobre, é arenoso, com baixos percentuais de matéria orgânica (1,2 %), e baixa concentração de nutrientes. Assim, a adição de vermicomposto nestes solos, proporciona condições para que as plantas de aveia preta possam se desenvolver. Pois a adição de vermicomposto melhora o estado nutricional dos solos, funcionando como fonte de nutrientes para as plantas (FERREIRA et al., 2018).

A disponibilidade de Cu foi reduzida com a adição de vermicomposto nos tratamentos V25 e V200. Essa redução da disponibilidade de Cu pode se dever ao fato das ligações organometálicas entre o vermicomposto e cobre (BOLAN; DURAISAMY, 2003). Em trabalho onde realizou-se a adição de vermicomposto ao solo, afim de avaliar a capacidade deste em

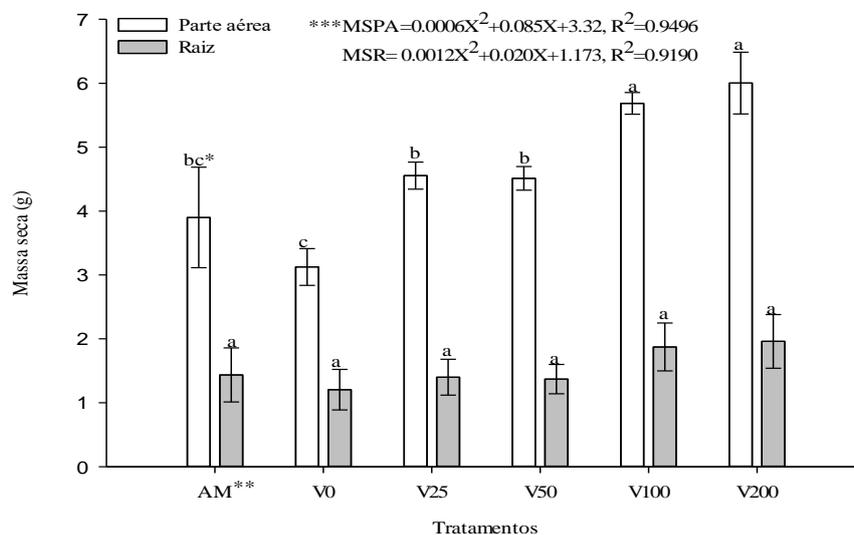
absorver metais como o cromo, cobre e chumbo, observou-se que o vermicomposto possui potencial na redução dos efeitos tóxicos destes metais (MENDES et al., 2014).

A adição de matéria orgânica ao solo proporciona a imobilização dos contaminantes metálicos, tornando-os menos disponíveis (ALVARENGA; VARENNE, CUNHA-QUEDA, 2014). Quando realiza-se a adição vermicomposto aumenta a disponibilidade de matéria orgânica, provocando a formação de ligações da matéria orgânica adicionada e Cu (AUSTRUY et al. 2014).

4.3.2 Teor de nutrientes na planta

Os tratamentos com maior adição de vermicomposto (V200 e V100) obtiveram uma maior produção de massa seca na parte aérea, as menores produções na parte aérea foram observadas nos tratamentos (V0, V25, V50 e AM) nas plantas de *Avena strigosa*, já a produção de massa seca na raiz não diferiu estatisticamente entre os tratamentos (Figura 1).

Figura 1- Massa seca da parte aérea e raiz de *Avena strigosa* cultivada em solo contaminado com cobre, oriundos da região de vinhedo da Campanha Gaúcha.



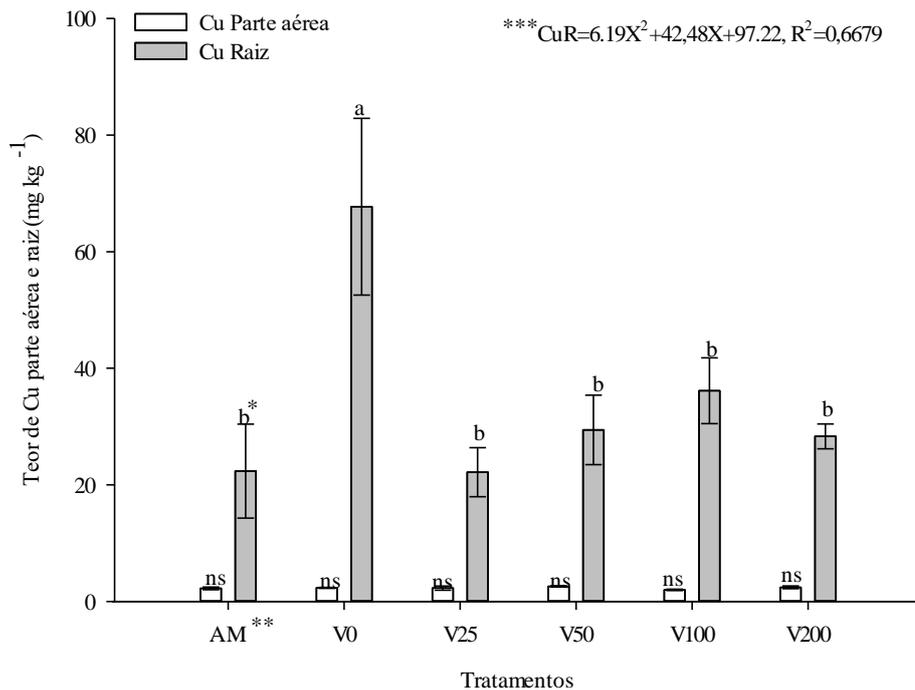
*Médias seguidas pela mesma letra, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade de erro. ** Adubo mineral (AM); 0 kg ha⁻¹ de N via vermicomposto (V0), 25 kg ha⁻¹ de N via vermicomposto (V25); 50 kg ha⁻¹ de N via vermicomposto (V50); 100 kg ha⁻¹ de N via vermicomposto (V100); 200 kg ha⁻¹ de N via vermicomposto (V200). ***Regressão realizada entre as doses de vermicomposto de esterco bovino. MSPA: massa seca da parte aérea; MSR: massa seca da raiz.

Nas doses V200 e V100 obteve-se as maiores produções de massa seca na parte aérea, e no tratamento V0 foi encontrado a menor produção de massa seca na parte aérea. Isto evidencia o potencial que o vermicomposto possui em melhorar o crescimento e

desenvolvimento da planta de aveia preta em solo arenoso com excesso de cobre. Resultado semelhante foi observado por Santana et al. (2015), nas maiores doses de vermicomposto adicionado ao solo foram encontradas as maiores produções de massa seca na parte aérea nas plantas de feijão de porco, cerca de 26 g no tratamento com a maior dose de vermicomposto, e no tratamento que não houve a adição de vermicomposto encontrou-se cerca de 13 g kg⁻¹.

O tratamento sem adição de AM e vermicomposto, promoveu a maior absorção de cobre e acúmulo na raiz (Figura 2). Neste mesmo tratamento foi verificado a maior disponibilidade do metal no solo (Tabela 2). Na parte aérea da planta não houve diferença estatística entre os tratamentos, e não foi significativa na análise de regressão. Já os teores de cobre na raiz foram significativos no teste de Tukey e análise de regressão.

Figura 2- Teor de Cu na parte aérea e raiz de *Avena strigosa* cultivada em solo contaminado com cobre, oriundos da região de vinhedo da Campanha Gaúcha.



*Médias seguidas pela mesma letra, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade de erro. ** Adubo mineral (AM); 0 kg ha⁻¹ de N via vermicomposto (V0), 25 kg ha⁻¹ de N via vermicomposto (V25); 50 kg ha⁻¹ de N via vermicomposto (V50); 100 kg ha⁻¹ de N via vermicomposto (V100); 200 kg ha⁻¹ de N via vermicomposto (V200). *** Regressão realizada entre as doses de vermicomposto de esterco bovino. CuR: Cobre na raiz.

Ao realizar a adição de vermicomposto de bagaço de uva no solo, Santana et al. (2018) observaram que o vermicomposto possui potencial em amenizar a toxidez por cobre em plantas de feijão de porco em solo arenoso da Campanha Gaúcha, nos tratamentos em que houve a

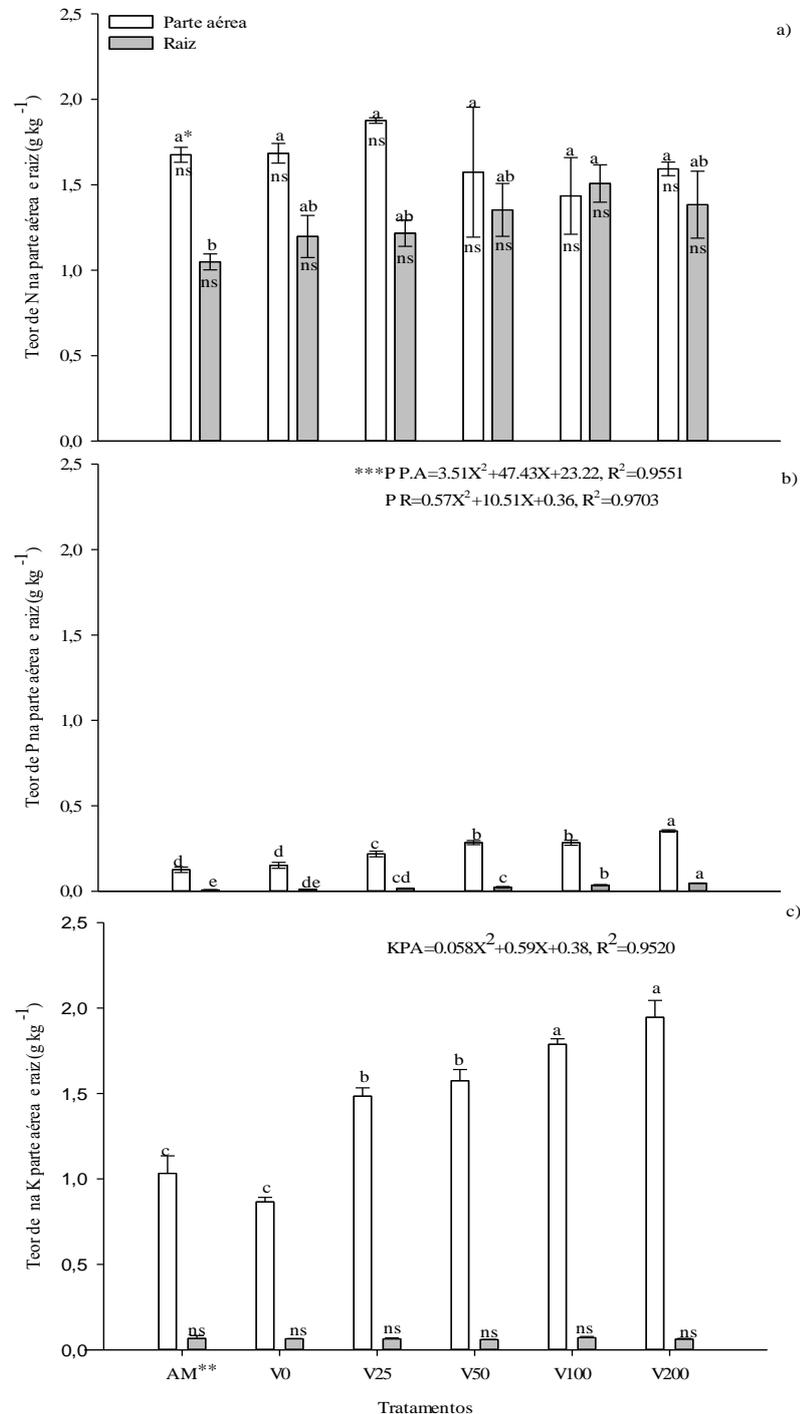
adição de vermicomposto a disponibilidade de cobre foi reduzida, e nestes mesmo tratamentos a produção de massa seca foi maior.

Um maior acúmulo de Cu foi observado na raiz da planta aveia preta, sem grandes translocação para parte aérea. Em trabalho realizado com planta de aveia preta em solos com excesso de cobre, Girroto et al. (2016) observaram o maior acúmulo na raiz da planta, e com pouco translocação para parte aérea. Segundo os autores, isto pode indicar, que a planta aveia preta tem mecanismos em seu sistema radicular que podem prevenir ou até mesmo reduzir a translocação de Cu absorvido para parte aérea, sendo este, um mecanismo usado pela planta para tolerar o excesso de cobre no solo.

Deste modo, tal situação não contribui com a fitoextração, a qual absorve o contaminante e o transporta para parte aérea da planta (MARQUES et al., 2009). A adição de vermicomposto favoreceu a imobilização de cobre, pois os metais pesados possuem afinidade com a matéria orgânica, formando complexos com a mesma. Resultado semelhante foi observado por Brandt; Holm; Nybroe (2008), que ao realizar a adição de dejetos ao solo houve a complexação de cobre a matéria orgânica, reduzindo sua biodisponibilidade, e toxicidade devido a formação destes complexos, tornando-o menos disponível para a planta.

Os tratamentos com as maiores doses de vermicomposto foram os que apresentaram os maiores teores de N (Figura 3 a), P (Figura 3 b) e K (Figura 3 c) na parte aérea das plantas de aveia preta, e nos tratamentos sem adição de vermicomposto pode-se observar os menores teores destes macronutrientes.

Figura 3- Teor de Nitrogênio (a), fósforo (b) e potássio (c) na parte aérea *Avena strigosa* cultivada em solo contaminado com cobre, oriundos da região de vinhedo da Campanha Gaúcha.



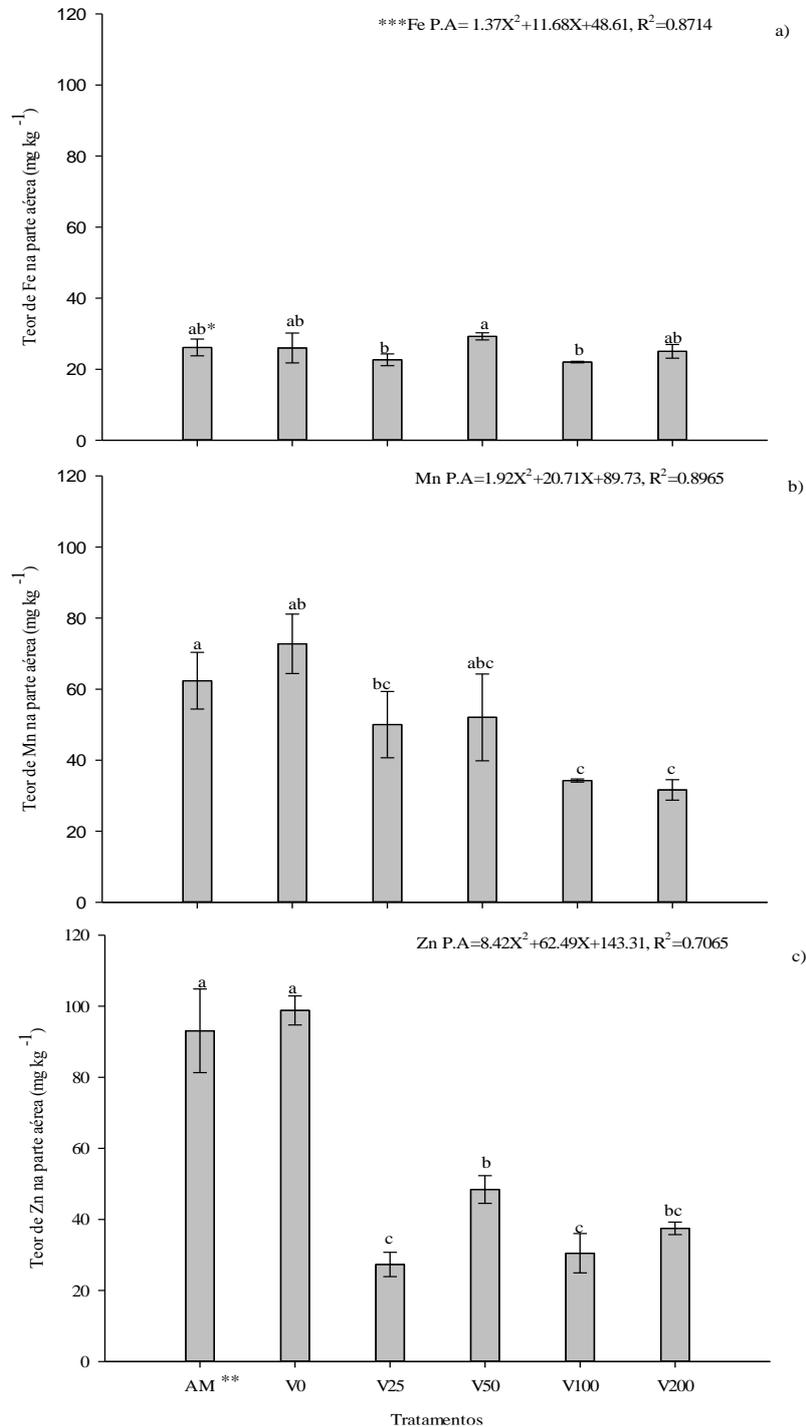
*Médias seguidas pela mesma letra, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade de erro. ** Adubo mineral (AM); 0 kg ha⁻¹ de N via vermicomposto (V0), 25 kg ha⁻¹ de N via vermicomposto (V25); 50 kg ha⁻¹ de N via vermicomposto (V50); 100 kg ha⁻¹ de N via vermicomposto (V100); 200 kg ha⁻¹ de N via vermicomposto (V200). *** Regressão realizada entre as doses de vermicomposto de esterco bovino. P P.A: fósforo na parte aérea; P R: fósforo na raiz; K P.A: potássio na parte aérea. ns: as amostras não apresentaram diferença significativa.

O cobre quando em excesso pode ocasionar efeitos negativos as plantas, tanto em níveis bioquímicos e fisiológicos, como nutricionais (CAMBROLLÉ et al., 2013). Nos tratamentos sem adição de vermicomposto, observou-se que os teores de N, P e K na parte aérea e raiz foram menores, quando comparado aos tratamentos em que houve a adição de vermicomposto.

Observou-se que as plantas que apresentaram maior produção de massa seca e menor concentração de cobre na raiz, tiveram uma capacidade maior em absorver estes nutrientes considerados essenciais para o seu desenvolvimento, situação contrária foi observada nos tratamentos em que não houve adição de vermicomposto (AM e V0), o teor de nutrientes na parte aérea das plantas de aveia preta foi menor, o que pode ter ocasionado a menor produção de massa seca nos mesmos.

Os micronutrientes como o Fe (Figura 4 a), Mn (Figura 4 b) e Zn (Figura 4 c) nos tratamentos sem adição de vermicomposto (AM e V0) apresentaram os maiores teores destes elementos na parte aérea das plantas, o mesmo observa-se para o micronutriente cobre (Figura 2), os menores teores foram encontrados nos tratamentos com adição de vermicomposto. A análise de regressão nestes elementos foi significativa.

Figura 4- Teor de Ferro(a), Manganês (b) e Zinco (c) na parte aérea *Avena strigosa* cultivada em solo contaminado com cobre, oriundos da região de vinhedo da Campanha Gaúcha.



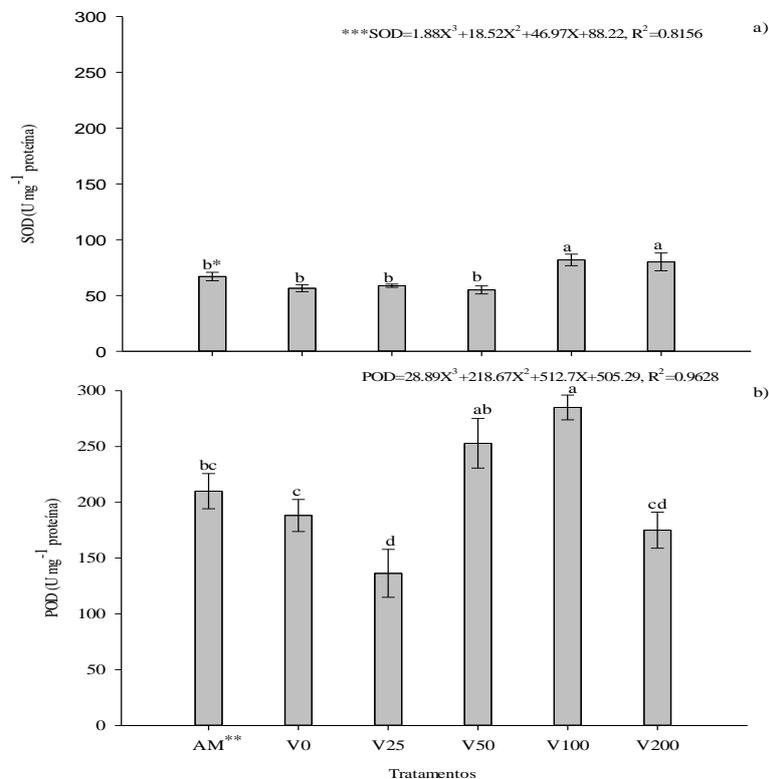
*Médias seguidas pela mesma letra, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade de erro. ** Adubo mineral (AM); 0 kg ha⁻¹ de N via vermicomposto (V0), 25 kg ha⁻¹ de N via vermicomposto (V25); 50 kg ha⁻¹ de N via vermicomposto (V50); 100 kg ha⁻¹ de N via vermicomposto (V100); 200 kg ha⁻¹ de N via vermicomposto (V200). *** Regressão realizada entre as doses de vermicomposto de esterco bovino. Fe P.A: ferro na parte aérea; Mn P.A: manganês na parte aérea; Zn P.A: zinco na parte aérea.

Os elementos Fe, Zn e Mn apresentaram os menores teores nos tratamentos em que foi adicionado vermicomposto, corroborando com o encontrado na literatura, pois, adubos orgânicos possuem grande afinidade com metais, favorecendo a complexação destes, devido a formação de complexos organo-metálicos (HERNANDEZ-SORIANO; JIMENEZ-LOPEZ, 2012).

4.3.3 Enzimas de estresse oxidativo

A atividade da enzima superóxido dismutase (SOD) foi maior nas plantas cultivadas no solo com as maiores doses de vermicomposto (V100 e V200), Figura 5 (a). E a atividade da enzima peroxidase (POD) foi maior no tratamento V100 e V50 respectivamente, o tratamento que apresentou a menor atividade foi V25, Figura 5 (b).

Figura 5- Atividade das enzimas superóxido dismutase (SOD) (a), guaiacol peroxidases(POD) (b) em *Avena strigosa* cultivada em solo contaminado com cobre, oriundos da região de vinhedo da Campanha Gaúcha.



*Médias seguidas pela mesma letra, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade de erro. ** Adubo mineral (AM); 0 kg ha⁻¹ de N via vermicomposto (V0), 25 kg ha⁻¹ de N via vermicomposto (V25); 50 kg ha⁻¹ de N via vermicomposto (V50); 100 kg ha⁻¹ de N via vermicomposto (V100); 200 kg ha⁻¹ de N via vermicomposto (V200). *** Regressão realizada entre as doses de vermicomposto de esterco bovino.

Alterações nas atividades de antioxidantes enzimáticos, como as enzimas ascorbato peroxidase (APX), superóxido dismutase (SOD) e catalase (CAT), em plantas estabelecidas em locais com excesso de metais pesados é um indicativo de produção em excesso de espécies reativas de oxigênio (EROs) (FATIMA; AHMAD, 2005).

Plantas submetidas a uma absorção excessiva de cobre, podem apresentar estresse oxidativo, devido ao desequilíbrio entre as respostas antioxidantes e o aumento da produção de EROs (GIROTTO et al., 2013). Enzimas como a superóxido dismutase (SOD) é essencial para transformar o radical $O_2^{\cdot-}$, em H_2O_2 , enquanto que as peroxidases não específicas (POD) removem o excesso de H_2O_2 (CHOUDHARY et al., 2007). Deste modo, enzimas como SOD e POD, podem ser usadas como indicadores de estresse oxidativo (LI et al., 2006; LI et al., 2012).

Pode-se observar em trabalho que a adubação nitrogenada teve efeitos crescentes notáveis na atividade da enzima POD, mas um efeito não significativo de níveis variados de N foi observado na atividade da enzima SOD (RAZZAQ et al., 2017). O mesmo foi observado no presente estudo, nas maiores doses adicionadas de vermicomposto via nitrogênio obteve-se as maiores atividades enzimáticas tanto na POD, como na SOD.

A atividade superóxido dismutase (SOD) aumentou conforme adicionou-se P no solo, o mesmo foi observado por Ferreira et al. 2015, em plantas de *Crotalaria juncea*, que ao aumentar a suplementação de fósforo no solo obteve-se uma maior atividade da enzima superóxido dismutase. Observou-se que a enzima peroxidase (POD), também manifestou o mesmo comportamento, e segundo Andrade et al (2010) plantas que aumentam a produção de enzimas antioxidantes exibem maior tolerância a metais pesados, como exemplo o cobre.

4.3.4 Características do lixiviado

Na primeira coleta de lixiviado das unidades experimentais o teor de cobre variou entre os tratamentos (Tabela 3), sendo maior no tratamento V50 e menor nos tratamentos AM, V0 e V25. Na segunda coleta (15 dias) observa-se que houve um incremento de cobre em todos os tratamentos, contudo o V200 foi significativamente superior aos demais. Seguido do V100 e V50. Os demais tratamentos aos 15 dias mostraram resultados inferiores na presença de cobre.

Na terceira (30 dias), quarta (45 dias) e quinta (52 dias) coleta, em todos os tratamentos em que houve a adição de vermicomposto de esterco bovino os teores de cobre foram reduzidos em relação ao período anterior de avaliação. No primeiro momento o incremento de cobre no lixiviado pode ter ocorrido devido a liberação do mesmo pela matéria orgânica do

vermicomposto de esterco bovino, e no segundo momento a redução pode ter ocorrido devido a absorção pela planta de aveia preta, do cobre disponível no solo.

Na adubação mineral (AM) e sem adição de vermicomposto (V0), na segunda (15 dias) e terceira coleta (30 dias) houve um incremento de cobre no lixiviado, e na quarta e quinta coleta houve uma redução de cobre no lixiviado, redução esta que pode ter ocorrido pela absorção deste micronutriente pela planta de aveia preta.

Contudo, aos 52 dias observa-se que a aveia preta tem um potencial grande na absorção de cobre disponível no solo, enquanto que o vermicomposto tende a diminuição da disponibilidade de cobre no decorrer das coletas, pois no início ocorreu a liberação de cobre pelo vermicomposto, e no decorrer das coletas a planta absorveu o que estava disponível e o vermicomposto se tornou mais estável no solo.

Para o macronutriente fósforo em todas as coletas houve uma diferença entre os tratamentos, nas maiores doses houve um maior teor de fósforo no lixiviado. Na segunda coleta (15 dias), em relação a primeira, houve um incremento de fósforo nos tratamentos em que foram adicionados vermicomposto. Esta dinâmica de mineralização de fósforo no período inicial foi observada por Eckhardt (2015), onde ocorreu uma maior mineralização de fósforo no vermicomposto de esterco bovino de aos 15 dias

Pode-se observar que na coleta aos 52 dias, ocorreu uma redução na presença do fósforo, existente com os primeiros 15 dias de avaliação. Isso pode ser explicado devido as características do desenvolvimento da aveia preta. Ainda a maior dose de vermicomposto (V200) apresentou a maior lixiviação de fósforo na última coleta.

Aos 15 dias de coleta de lixiviado o pH foi maior no tratamento AM e menor no tratamento V200. Aos 30 dias ocorreu uma redução no pH em todos os tratamentos em relação a segunda coleta. Na quarta coleta ocorreu um aumento do pH em todos os tratamentos, apresentando os maiores valores de pH desde o início das coletas.

Na última coleta (52 dias) os valores de pH voltaram a baixar, apresentando valores menores em relação aos 15, 30 e 45 dias de coleta. Esse aumento nos valores de pH em primeiro momento nos tratamentos que houve a adição de vermicomposto pode ter ocorrido devido a adição deste material orgânico, que apresenta pH de 7.2, e a redução pode ter ocorrido devido o mesmo ter se estabilizado no solo.

Tabela 3- Caracterização química do lixiviado coletado em diferentes datas em solo com excesso de cobre, cultivado com *Avena strigosa* adubada com vermicomposto de esterco bovino.

Tratamentos	Dias					R ² ***
	1	15	30	45	52	
	$\mu\text{L L}^{-1}$					
	Cu					
AM**	165.0 cC*	678.3 bD	1227.7 aA	526.7 bcC	81.7 cC	
V0	181.7 cC	671.7 bD	1085.0 aAB	793.3 bBC	115.0 cC	NS****
V25	156.7 bC	1940.7 aC	546.7 bC	450.0 bC	205.0 bBC	0,99*****
V50	378.3 bA	3040.3 aBC	969.3 bABC	480.0 bC	463.3 bAB	NS
V100	291.7 cAB	3349.7 aAB	820.0 bBC	990.0 bAB	472.3 bcAB	0,99
V200	246.7 dBC	4415.0 aA	730.00 cBC	1291.7 bA	610.0 cA	NS
	P					
AM	37.8 bC	49.5 abD	40.3 abC	23.6 bC	75.7 aB	
V0	92.1 aC	62.6 abD	33.1 bC	78.9 aC	69.2 abB	NS
V25	252.7 bC	285.5 bD	616.6 aC	46.2 cC	134.7 bcB	0,91
V50	1744.0 aB	1524.4 aC	908.2 abC	46.2 bC	311.7 bB	0,97
V100	2776.5 bcAB	3182.8 bB	4539.8 aB	1876.1 cdB	1481.8 dB	0,87
V200	3195.3 dA	15152.7 aA	8394.3 cA	11462.1 bA	6352.3 cA	0,91
	pH					
AM	7.4abAB	7.8 aA	7.3 bABC	7.8 aC	7.2 bA	
V0	7.4bAB	7.4 bC	6.9 bcCD	7.9 aBC	6.6 cBC	0,68
V25	7.2cAB	7.5bBC	7.4 bcAB	8.2 aA	6.5 dC	0,91
V50	7.6 Ba	7.7 bAB	7.1cBCD	8.3 Aa	7.1 cA	0,72
V100	7.4cdAB	7.7 bAB	7.5 bcA	8.1 aAB	7.1 dAB	0,99
V200	6.9 bcB	7.2 bC	6.9 cD	8.1 aAB	6.8 cABC	0,63

*Médias seguidas pela mesma letra. Letras minúsculas na linha e letras maiúsculas na coluna, pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade de erro. ** Adubo mineral (AM); 0 kg ha⁻¹ de N via vermicomposto (V0), 25 kg ha⁻¹ de N via vermicomposto (V25); 50 kg ha⁻¹ de N via vermicomposto (V50); 100 kg ha⁻¹ de N via vermicomposto (V100); 200 kg ha⁻¹ de N via vermicomposto (V200). *** Análise de regressão dentro das doses de vermicomposto nas diferentes datas. ****A análise não foi significativa, apresentando P > 0,05. ***** Fórmulas de regressão no Apêndice A.

A lixiviação em solos arenosos ocorre mais facilmente do que em solos argilosos, tornando-se necessário a adição de matéria orgânica em solos mais arenosos, pois os mesmo possuem baixo teor de matéria orgânica, e as mesmas possuem papel fundamental no solo atuando como importantes adsorventes de metais (PARK et al., 2011). Ao adicionar vermicomposto ao solo pode-se observar que no início das coletas (15 dias) ocorreu uma liberação de cobre e fósforo no lixiviado, e no final das coletas (52 dias) tanto o cobre quanto

o fósforo obtiveram seus teores reduzidos na coleta do lixiviado. No primeiro momento pode ter tido a liberação destes elementos no lixiviado devido a oxidação parcial do material orgânico adicionado ao solo, em trabalho realizado por Santos et al. (2016) observaram que ocorreu uma maior lixiviação de cádmio após a oxidação parcial da matéria orgânica.

O macronutriente fósforo apresenta-se em maior quantidade no lixiviado nas coletas iniciais. Isso pode ocorrer devido a adição de material orgânico no solo, o qual no primeiro momento libera este macronutriente, sendo então uma fonte de fósforo, e a água que infiltra neste solo é capaz de realizar sua translocação. Comportamento semelhante observaram Kang et al. (2011), os mesmos, avaliaram a infiltração e transporte de P em solo arenoso adubado a base de P em adubos orgânicos e inorgânicos, a adição destes adubos acarretou o aumento do pH do solo, o qual, favoreceu uma maior translocação de P no perfil do solo. O mesmo pode-se observar no estudo, com a adição de vermicomposto de esterco bovino ao solo, acarretou um aumento no pH deste, que por sua vez aumentou o movimento de P no solo. Em trabalho em que eram realizadas aplicações sucessivas de dejetos suíno pode-se observar características semelhantes no incremento de P no lixiviado que era coletado após o escoamento, em solo com diferentes culturas (Aveia preta, milho e feijão de porco) (LOURENZI et al., 2015).

Tanto o Cu como o P diminuíram as suas concentrações na última coleta, como no solo havia a planta de cobertura aveia preta crescendo e se desenvolvendo, conforme ocorreu a liberação destes elementos, passou-se a ter um maior consumo destes pela aveia preta e consequentemente uma redução na coleta final.

A adição de vermicomposto em solos arenosos com baixo teor de matéria orgânica proporcionou o desenvolvimento da planta de cobertura aveia preta em ambientes com elevado teor de cobre, e propiciou um aumento na produção de matéria seca, e melhoras no seu estado nutricional, que favoreceu uma menor translocação de Cu para parte aérea desta planta. A utilização de plantas de aveia preta e a adição de vermicomposto ao solo favoreceu a técnica de fitoestabilização de cobre em solos arenosos, devido aos baixos teores de cobre na parte aérea, a mesma não é indicada para fitoextração, pois não é uma acumuladora de metais na parte aérea. A associação da aveia preta e vermicomposto pode ser empregada em áreas contaminadas com cobre oriundas de solos de vinhedo.

5 CONCLUSÕES

1. O uso de vermicomposto de esterco bovino e *Avena strigosa* estabiliza o cobre em solo arenoso oriundo de vinhedos.

2. O vermicomposto de esterco bovino é eficiente na redução da toxicidade por cobre em aveia preta.
3. A produção vegetal da aveia preta é favorecida pela presença do vermicomposto de esterco bovino, tanto para massa seca na raiz como na parte aérea.
4. A aveia preta e vermicomposto a base de esterco bovino apresentam potencial para redução de cobre e fósforo na lixiviação de nutrientes.

6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALI, H.; KHAN, E.; SAJAD, M. A. Phytoremediation of heavy metals—concepts and applications. **Chemosphere**, v. 91, n. 7, p. 869-881, 2013.

ALVARENGA, P.; VARENNE, A. de; CUNHA-QUEDA, A. C. The effect of compost treatments and a plant cover with *Agrostis tenuis* on the immobilization/mobilization of trace elements in a mine-contaminated soil. **International journal of phytoremediation**, v. 16, n. 2, p. 138-154, 2014.

AN, Y. J. Assessment of comparative toxicities of lead and copper using plant assay. **Chemosphere**. v. 62, p. 1359– 1365, 2005.

BEAUCHAMP, C. O.; FRIDOVICH, I. Superoxide dismutase. Improved assays and an assay applicable to acrylamide gel. **Analytical Biochemistry**, v. 44: 276-287.1971.

BOUCHÉ, M. B. (1972) *Lombriciens de France: écologie et systématique*. Paris, França.

BRANDT, K. K.; HOLM, P. E.; NYBROE, O. Evidence for Bioavailable Copper– Dissolved Organic Matter Complexes and Transiently Increased Copper Bioavailability in Manure-Amended Soils as Determined by Bioluminescent Bacterial Biosensors. **Environmental science & technology**, v. 42, n. 8, p. 3102-3108, 2008.

BRASIL. Instrução Normativa n. 25, de 23 de julho de 2009. Revoga a Instrução Normativa n. 23 de 31 de agosto de 2005 e resolve aprovar as normas sobre as especificações e as garantias, as tolerâncias, o registro, a embalagem e a rotulagem dos fertilizantes orgânicos simples, mistos, compostos, organominerais e biofertilizantes destinados à agricultura, na forma dos anexos à presente instrução normativa. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 28 jul. 2009.

BRUNETTO, G.; MIOTTO, A.; CERETTA, C. A.; et al. Mobility of copper and zinc fractions in fungicide-amended vineyard sandy soils. **Archives of Agronomy and Soil Science**, v. 60, n. 5, p. 609–624, 2014.

CAMBROLLÉ, J. et al. Evaluation of zinc tolerance and accumulation potential of the coastal shrub *Limoniastrum monopetalum* (L.) Boiss. *Environ. Exp. Botany* 85, 50– 57. 2013

CHOUHARY, M. et al. Effect of heavy metal stress on proline, malondialdehyde, and superoxide dismutase activity in the cyanobacterium *Spirulina platensis*-S5. **Ecotoxicology and environmental safety**, v. 66, n. 2, p. 204-209, 2007.

DARY, M. et al. “In situ” phytostabilisation of heavy metal polluted soils using *Lupinus luteus* inoculated with metal resistant plant-growth promoting rhizobacteria. **Journal of Hazardous Materials**, v. 177, n. 1, p. 323-330, 2010.

DUTRA, L. C. **VERMICOMPOSTAGEM E COMPOSTAGEM NO BAGAÇO DE UVAS A CAMPO E NO LABORATÓRIO**. Santa Maria, 2013.

ECKHARDT, D. P. **Fertilizantes orgânicos: Índice de eficiência e produção de alface, cenoura e mudas de eucalipto.** 2015. 98. p. Tese (Doutorado). Universidade Federal de Santa Maria, RS, 2015.

EMBRAPA (1997) Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Manual de métodos de análise de solo.** Rio de Janeiro, Brasil. 1997.

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solo. Sistema Brasileiro de Classificação de Solos. Brasília: Embrapa, 2006. 306p.

FATIMA, R.A.; AHMAD, M. Certain antioxidant enzymes of *Allium cepa* as biomarkers for the detection of toxic heavy metals in wastewater. **Science of the Total Environmental**, v.346, p. 256-273, 2005.

FERREIRA, P. A. A. et al. Rhizophagus clarus and phosphate alter the physiological responses of *Crotalaria juncea* cultivated in soil with a high Cu level. **Applied Soil Ecology**, v. 91, p. 37-47, 2015.

FERREIRA, P. A. A. et al. Soil amendment as a strategy for the growth of young vines when replanting vineyards in soils with high copper content. **Plant Physiology and Biochemistry**, 2018.

GIANNOPOLITIS, C. N.; RIES, S. K. Superoxide dismutase I. Occurrence in higher plants. **Plant Physiology**, v. 59, p. 309-314. 1977.

GIROTTTO, E. **Alterações fisiológicas e bioquímicas em plantas cultivadas em solos com acúmulo de cobre e zinco.** 2010. 152p. Tese (Doutorado). Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, RS.

GIROTTTO, E. et al. Biochemical changes in black oat (*Avena strigosa* schreb) cultivated in vineyard soils contaminated with copper, **Plant Physiology et Biochemistry**, v. 103, p.199-207. 2016.

HERNANDEZ-SORIANO, M. C.; JIMENEZ-LOPEZ, J. C. Effects of soil water content and organic matter addition on the speciation and bioavailability of heavy metals. **Science of the total environment**, v. 423, p. 55-61, 2012.

KALAJI, M. H.; GUO, P. Chlorophyll fluorescence: a useful tool in barley plant breeding programs. **Photochemistry Research Progress**, v. 29, p. 439-463, 2008.

KANG, J. et al. Phosphorus leaching in a sandy soil as affected by organic and inorganic fertilizer sources. **Geoderma**, v. 161, n. 3-4, p. 194-201, 2011.

KHALID, Sana et al. A comparison of technologies for remediation of heavy metal contaminated soils. **Journal of Geochemical Exploration**, 2017.

KELLER, C. et al. Effect of silicon on wheat seedlings (*Triticum turgidum* L.) grown in hydroponics and exposed to 0 to 30 μ M Cu. **Planta**, v. 241, p. 847–860. 2015.

- LI, M. et al. Copper and zinc induction of lipid peroxidation and effects on antioxidant enzyme activities in the microalga *Pavlova viridis* (Prymnesiophyceae). **Chemosphere**, v. 62, n. 4, p. 565-572, 2006.
- LI, X. et al. Responses of seedling growth and antioxidant activity to excess iron and copper in *Triticum aestivum* L. **Ecotoxicology and environmental safety**, v. 86, p. 47-53, 2012.
- LICHTENTHALER, H. K. Chlorophylls and carotenoids: pigments of photosynthetic biomembranes. **Methods in Enzymology**, v. 148, p. 350–382. 1987.
- LOURENZI, C. R. et al. Forms of phosphorus transfer in runoff under no-tillage in a soil treated with successive swine effluents applications. **Environmental monitoring and assessment**, v. 187, n. 4, p. 209, 2015.
- MAHAR, A. et al. Challenges and opportunities in the phytoremediation of heavy metals contaminated soils: A review. **Ecotoxicology and environmental safety**, v. 126, p. 111-121, 2016.
- MALAVOLTA, E; VITTI, G. C.; OLIVEIRA, S. A. **Avaliação do estado nutricional das plantas**. Princípios e aplicações. 2ª ed. Piracicaba : POTAFOS, 319p, 1997.
- MARQUES, A. P. G. C., et al. Remediation of heavy metal contaminated soils: phytoremediation as a potentially promising clean-up technology. **Critical Reviews in Environmental Science and Technology**, v.39, p.622-64, 2009.
- MEHLICH, A. Mehlich 3 soil test extractant: A modification of Mehlich 2 extractant. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, New York, v 15, p. 1409-1416, 1984
- MELLO, L. M. R.; MACHADO, C. A. E. Cadastro Vitícola do Rio Grande do Sul: 2008/2012. **EMBRAPA**. Brasília, DF, 2013
- MELO, G. W.; ZALAMENA, J. Retrato da fertilidade de solos cultivados com videira nas regiões da serra e campanha gaúcha. **Embrapa Uva e Vinho-Comunicado Técnico (INFOTECA-E)**. 2016.
- MENCH, M. et al. “Physico-chemical aspects and efficiency of trace element immobilization by soil amendments”. In: VANGRONSVELD, J.; CUNNINGHAM, S.D. (E.d). *Metal contaminated soils*. Berlin: Spring, pp. 151-1852, 1999.
- MENDES, L. A. et al. Role of Organic Matter in the Adsorption/Desorption of Cr, Cu and Pb in Competitive Systems in Two Different Soils. **Open Access Library Journal**, v. 1, n. 07, p. 1, 2014.
- MURPHY, J.; RILEY, J.P. A Modified single solution method for determination of phosphate in natural waters. **Analytica Chimica Acta**, v. 27, p. 31-36. 1962.
- RAZZAQ, M. et al. Interactive effect of drought and nitrogen on growth, some key physiological attributes and oxidative defense system in carrot (*Daucus carota* L.) plants. **Scientia Horticulturae**, v. 225, p. 373-379, 2017.

SANTANA, N. A. et al. Interaction between arbuscular mycorrhizal fungi and vermicompost on copper phytoremediation in a sandy soil. **Applied Soil Ecology**, v. 96, p. 172-182, 2015.

SANTANA, N. A. et al. Vermicompost dose and mycorrhization determine the efficiency of copper phytoremediation by *Canavalia ensiformis*. **Environmental Science and Pollution Research**, p. 1-15, 2018.

SANTOS, I. D. et al. Effect of partial oxidation of organic matter on cadmium leaching from phosphate. **Minerals Engineering**, v. 99, p. 67-75, 2016.

SYLVAIN, B. et al. Phytostabilization of As, Sb and Pb by two willow species (*S. viminalis* and *S. purpurea*) on former mine technosols. **Catena**, v. 136, p. 44-52, 2016.

TAHIR, U.; YASMIN, A.; KHAN, U. H.. Phytoremediation: Potential flora for synthetic dyestuff metabolism. **Journal of King Saud University-Science**, v. 28, n. 2, p. 119-130, 2016.

TAVARES, S. R. L. Remediação de solos e águas contaminadas por metais pesados: conceitos básicos e fundamentos. **Rio de Janeiro**, 2013.

TEDESCO, M. J. et al. Análise de solo, plantas e outros materiais. 2.ed. Porto Alegre: Departamento de Solos, UFRGS; 1995. 174p

TIECHER, T. **Manejo e conservação do solo e da água em pequenas propriedades rurais no sul do Brasil**: impacto das atividades agropecuárias na contaminação do solo e da água. 1. ed. Frederico Westphalen, RS: URI ? Frederico Westph, . v. 1. 184p, 2017

TIECHER, T. L. et al. The potential of *Zea mays* L. in remediating copper and zinc contaminated soils for grapevine production. **Geoderma**, v. 262, p. 52-61, 2016.

UEBEL, A. et al. PROCESSOS DE REMEDIAÇÃO DO SOLO CONTAMINADO COM CHUMBO. **Revista Caderno Pedagógico**, v. 14, n. 1, 2017.

VENDRUSCULO, D. **Seleção de plantas para fitorremediação de solo contaminado com cobre**. 2013. 58p. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) – Universidade Federal de Santa Maria. Santa Maria, RS. 2013.

VIONE, E. L. B., et al. Caracterização química de compostos e vermicompostos produzidos com casca de arroz e diferentes dejetos animais. **XI Reunião Sul-Brasileira de Ciência do Solo**. 2016.

Woods End Research Laboratory Interpreting Waste & Compost Tests. Journal of the Woods End Research Laboratory. Disponível em: < <http://www.woodsend.org/pdf-files/compost.pdf>>. Acesso em: 21 jan. 2018.

ZERAIK A. E. et al. Desenvolvimento de um spot test para o monitoramento da atividade da peroxidase em um procedimento de purificação. **Química Nova**, v. 31, p. 731-734. 2008.

7 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente estudo visou utilizar vermicomposto e aveia preta na remediação de solos que estão contaminados com cobre. Com a utilização conjunta destes dois fatores tem-se uma melhora nas condições do solo, e favorece o crescimento destas plantas.

A adição de vermicomposto no solo reduz o teor de cobre para a planta, diminuindo assim a sua toxicidade, e contribui para o aumento de nutrientes na planta, além de contribuir para o seu crescimento em solos que apresentam elevado teor deste metal.

É importante uma avaliação mais profunda para utilização de vermicomposto de esterco bovino em solos contaminados com cobre, visando sua redução a redução deste elemento no solo, bem como, a associação de plantas como fitorremediadoras.

A planta de cobertura aveia preta quando associada ao vermicomposto apresentou potencial na fitoestabilização, deste modo, também recomenda-se a realização de pesquisas semelhantes com diferentes plantas de cobertura.

Realização de trabalho a campo para evitar algumas limitações que se tem em casa de vegetação, principalmente devido a variabilidade das condições climáticas que ocorrem no ambiente.

APÊNDICE

Apêndice A- Equações de regressão para o efeito de doses de vermicomposto no lixiviado, nas coletas de 1, 15, 30, 45 e 52 dias, avaliando o efeito do cobre, fósforo e pH, como uso de aveia preta, em solo arenoso oriundo de vinhedos.

Tratamentos	Cobre	Fósforo	pH
V0*	NS***	NS	$-0,0001x^2+0,10x+7,2$
V25	$0,28x^3-4,01x^2+183,29x+624,48^{**}$	$191,65x-708,14$	$-0,0002x^2+0,02x+7,36$
V50	NS	$110,67x-421,93$	$-0,0002x^2+0,21x+7,03$
V100	$0,017x^3+2,10x^2-51,28x+787,53$	$147,02x-1708,92$	$0,000008x^3-0,0011x^2+0,038x+7,92$
V200	NS	$81,13x-764$	$-0,00024x^2+0,023x+6,53$

*Adubo mineral (AM); 0 kg ha⁻¹ de N via vermicomposto (V0), 25 kg ha⁻¹ de N via vermicomposto (V25); 50 kg ha⁻¹ de N via vermicomposto (V50); 100 kg ha⁻¹ de N via vermicomposto (V100); 200 kg ha⁻¹ de N via vermicomposto (V200). ** Análise de regressão dentro das doses de vermicomposto nas diferentes datas. ***A análise não foi significativa, apresentando P > 0,05