

LENO SARTORI

**EFEITO DA APLICAÇÃO DE LODO DE ETEI EM SOLO COM ELEVADO
TEOR DE COBRE: FITODISPONIBILIDADE E ECOTOXICIDADE**

Trabalho de conclusão de curso de graduação apresentado como requisito para obtenção de grau de Bacharel em Engenharia Ambiental e Sanitária da Universidade Federal da Fronteira Sul.

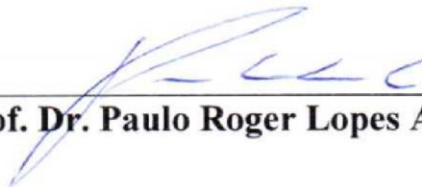
Orientador: **Prof. Dr. Jorge Luis Mattias**

Este trabalho de conclusão de curso foi defendido e aprovado pela banca em: 07 / 12 / 2018

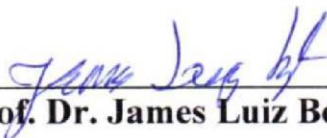
BANCA EXAMINADORA



Prof. Dr. Jorge Luis Mattias – UFFS



Prof. Dr. Paulo Roger Lopes Alves – UFFS



Prof. Dr. James Luiz Berto - UFFS

Efeito da aplicação de lodo de ETEI em solo com elevado teor de cobre: fitodisponibilidade e ecotoxicidade

Effect of the application of ETEI sludge on soil with high copper content:
phytoavailability and ecotoxicity

Leno Sartori¹ e Jorge Luis Mattias²

¹Acadêmico em Engenharia Ambiental e Sanitária, Universidade Federal da Fronteira Sul, Chapecó, SC, Brasil

²Doutor em Ciência do Solo, Universidade Federal da Fronteira Sul, Chapecó, SC, Brasil

Resumo

*O objetivo deste estudo foi verificar os efeitos da aplicação de lodo de estação de tratamento de efluentes de uma indústria de pasteurização de ovos em solo com elevado teor de cobre. Realizou-se um ensaio em vasos, utilizando a aveia preta (*Avena strigosa* Schreb) como planta teste em Latossolo Vermelho Típico contaminado por cobre na concentração de 75,0 kg.(ha.ano)⁻¹, a qual corresponde à máxima concentração permitida pela Companhia Ambiental do Estado de São Paulo. Os tratamentos consistiram em doses de lodo baseados na demanda de Nitrogênio pela planta. Para verificar os efeitos avaliou-se a produção de massa seca e fresca da planta e a absorção de cobre pelas raízes (teores no apoplasto e simplasto) e parte aérea. Além disso, foi avaliado o efeito da associação (solo contaminado + doses de lodo) na reprodução de colêmbolos *Folsomia candida* através de um teste de toxicidade crônica. A aplicação do lodo não interferiu significativamente na produção de massa fresca e seca de aveia preta, mas causou alterações na biodisponibilidade de cobre. A dose de cobre e as doses de lodo não afetaram a reprodução dos colêmbolos. Entretanto, a aveia preta se demonstrou uma importante fitoextratora, acumulando cobre especialmente nas raízes e apresentando absorções semelhantes entre os compartimentos apoplasto e simplasto.*

Palavras-chave: Contaminação ambiental. Elementos tóxicos. Aveia preta. Fauna edáfica.

Abstract

*The aim of this work was to verify the effects of the application of sludge from an effluent treatment plant of an egg pasteurization industry in high copper soil. A vase test was performed, out with black oats (*Avena strigosa* Schreb) as a test plant in a typical Red Latosol contaminated with copper concentration of 75.0 kg.(ha.year)⁻¹, which corresponds to the maximum allowed soil concentration by the Environmental Company of the State of São Paulo. The treatments consisted of sludge doses based on the supply of plant Nitrogen demand. In order to verify the effects, the dry and fresh mass production of the plant and the absorption of copper by the roots (contents in apoplast and symplast) and aerial part were evaluated. In addition, was evaluated the effect of the association (contaminated soil + sludge doses) in the reproduction of collembolans *Folsomia candida* through a chronic toxicity test. The application of sludge did not significantly interfere in the production of fresh and dry mass of black oats, but presented changes in the bioavailability of copper. Copper and sludge doses did not affect collembolans reproduction. However, black oats showed to be an important phytoextractor, accumulating copper especially in the roots and presenting similar absorptions between the apoplast and symplast compartments.*

Keywords: Environmental contamination, Toxic elements, Black oats, Edaphic fauna.

1 Introdução

Um dos grandes problemas encontrados nas indústrias está relacionado ao lodo produzido nas estações de tratamento de efluentes, onde o mesmo é tratado como rejeito e na maioria das vezes destinado a aterros industriais; processo oneroso para as empresas e para o ambiente. A indústria fornecedora do lodo para este estudo localiza-se no município de Chapecó/SC, opera no ramo alimentício realizando pasteurização de ovos, e tem no final do seu processo uma estação de tratamento de efluentes industriais (ETEI) compacta, que realiza o tratamento primário do efluente e resulta como subproduto o lodo. A destinação adequada do lodo gerado por esse processo gera custos mensais elevados à empresa.

Todo processo de tratamento de efluentes gera lodo que pode conter considerável percentual de matéria orgânica e de nutrientes essenciais às plantas, podendo substituir, ainda que parcialmente, os fertilizantes minerais aplicados e desempenhar importante papel na produção agrícola e na manutenção da fertilidade do solo, provocando melhoria da qualidade química, física e biológica do solo. A utilização direta de lodo na melhoria de solos agrícolas ou em áreas degradadas pode ser considerada uma técnica antiga em outros países, e que no Brasil vem ganhando força. (NASCIMENTO et al., 2004; NASCIMENTO et al., 2014; NUVOLARI, 2011).

A utilização de lodo de estações de tratamento de efluentes para aplicação agrícola é regulada pela resolução número 375 do Conselho Nacional do Meio Ambiente (BRASIL, 2006). Nesta resolução são estabelecidos valores limites para substâncias ou elementos que podem trazer prejuízos ambientais e que podem fazer parte da composição do lodo.

Locais que recebem resíduos de lodo de efluentes, resíduos de indústrias de fundição e suínícolas, são mais prováveis de apresentar concentrações fitotóxicas de cobre. No Estado de Santa Catarina, especialmente na Região Oeste, a suinocultura é uma principais atividades econômicas e em muitas propriedades os dejetos são utilizados continuamente nas mesmas áreas, com frequência e quantidade excessiva em relação à capacidade de absorção pelas plantas cultivadas. O cobre, quando em altas concentrações no solo, pode ser absorvido em quantidade que cause efeitos negativos as plantas como, por exemplo, redução no crescimento de raízes e parte aérea (ABREU; ABREU; BERTON, 2002; GIROTTO et al., 2010; MATTIAS, 2006; MATTIAS et al., 2010; SCHERER; NESI; MASSOTTI, 2010; SEGANFREDO; SOARES; KLEIN, 2003; YRUELA, 2005).

A aveia preta (*Avena strigosa* Schreb), planta de grande importância no sul do Brasil, pode ser utilizada como indicador de acumulação excessiva de cobre no solo (GIROTTO et al., 2016). Uma vez que o alto teor de cobre no solo pode afetar a taxa fotossintética e reduzir a absorção de água e nutrientes afetando o desenvolvimento das plantas. Nas raízes, a absorção de cobre pode ocorrer pelo apoplasto ou pelo simplasto. Sendo que o apoplasto, devido a presença elevada de grupos sulfídricos (R-SH), carboxílicos (R-COO⁻) e compostos orgânicos presentes na parede celular, pode realizar ligação de cátions metálicos, como o cobre, compartimentalizando-o e evitando a sua translocação para a parte aérea das plantas. No simplasto o acúmulo de cobre ocorre devido à formação de quelatos com compostos ligantes de alta afinidade (BASSO, 2015; CAMBROLLÉ et al., 2014; DALCORSO et al., 2014; LEQUEUX et al., 2010; YRUELA, 2009).

Uma importante ferramenta para determinação da contaminação ambiental, a qual utiliza metodologias ISO (International Organization for Standardization), é a avaliação dos efeitos causados na reprodução de organismos edáficos, dentre eles os colêmbolos. A medida em que aumenta a complexidade das transformações químicas no ambiente, os testes ecotoxicológicos tornam-se importantes para análise ambiental, pois são complementares as análises químicas já que estas não detectam efeitos nos organismos (SEGAT, 2012; ZORTÉA et al., 2015).

Desta forma, o presente estudo teve por objetivo verificar o efeito da utilização de lodo de ETEI no comportamento ambiental do cobre em solos agrícolas.

2 Material e métodos

2.1 Experimento 1

O experimento foi conduzido em vasos, acondicionados em estufa da Área Experimental da Universidade Federal da Fronteira Sul, localizada em Chapecó, SC, nas coordenadas geográficas 27° 07' 07,9" S e 52° 42' 25,7" W, no período de junho a agosto de 2018. O solo utilizado foi coletado na área experimental e classificado como Latossolo Vermelho Típico (EMBRAPA, 2013). A caracterização inicial está apresentada na Tabela 1.

O ensaio consistiu em 5 tratamentos e 4 repetições, em delineamento inteiramente casualizado. Cada vaso continha 5,0 kg de solo peneirado em peneira 2,0 mm. Todos os tratamentos receberam dose fixa de cobre correspondente a dose máxima permitida de 75,0 kg.(ha.ano)⁻¹ estabelecida pela norma técnica P4.230 (CETESB, 1999), correspondendo à 375 mg na forma de sulfato de cobre pentahidratado (CuSO₄.5H₂O). A solução de cobre foi aplicada superficialmente, simulando uma aplicação de dejetos suínos.

Tabela 1: Caracterização inicial do solo

Parâmetro	Valor	Metodologia
Teor de umidade (%)	15,83	
pH	4,91	
SMP	5,12	Tedesco et al. (1995)
Fósforo (mg.kg ⁻¹)	21,53	
Potássio (mg.kg ⁻¹)	604,00	
Cobre biodisponível (mg.kg ⁻¹)	0,00	
Cobre pseudototal (mg.kg ⁻¹)	3,30	3050-B (USEPA, 1996)
Carbono Orgânico (g.kg ⁻¹)	34,51	
Matéria Orgânica (g.kg ⁻¹)	59,50	EMBRAPA (2011)

O lodo utilizado nesse estudo proveio de uma indústria localizada no Distrito Industrial Flávio Baldissera em Chapecó-SC, que realiza o processo de pasteurização de ovos visando exportação. A obtenção do lodo se dá após tratamento primário dos efluentes gerados pela empresa em uma ETEI compacta e sua composição se constitui de resíduo de ovos, hidróxido de sódio (NaOH), ácido peracético (C₂H₄O₃), ácido nítrico (HNO₃), policloreto de alumínio (Al_n(OH)_mCl_(3m-n)) e polímeros catiônico e aniônico, não apresentando portanto nenhum elemento ou composto que inviabilizaria sua utilização segundo a resolução Conama n° 375 (BRASIL, 2006). A caracterização do lodo *in natura* está descrita na Tabela 2.

As doses de lodo foram estabelecidas com base na demanda de Nitrogênio pela cultura fitoextratora. Segundo o Manual de Adubação e Calagem para os estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina (SOCIEDADE BRASILEIRA DE CIÊNCIA DO SOLO, 2016), a aveia preta demanda de 60 kgN.ha⁻¹. Foram adicionadas doses equivalente a 1, 2, 5 e 10 vezes a dose de lodo que supre a demanda de Nitrogênio pela cultura, correspondendo a 11,0; 22,0; 55,0 e 110,0 Mg.ha⁻¹. O quinto tratamento não recebeu dose de lodo, apenas a dose fixa de cobre, consistindo no tratamento controle.

A montagem do experimento foi realizada em vasos onde foram adicionados os 5,0 kg de solo peneirado e a quantidade respectiva de lodo para cada tratamento, previamente homogêneos, Após a aplicação do lodo e do cobre foi realizada a semeadura de 30 sementes viáveis de aveia preta. Durante 55 dias os vasos ficaram acondicionados em estufa e sendo irrigados periodicamente de forma a não ser superada a capacidade de retenção de água no solo de 48%.

Após os 55 dias, as plantas de aveia preta foram removidas dos vasos, separadas em parte aérea e raízes, lavadas, secas em estufa a 60±5 °C, pesadas e trituradas, de forma a obter-se os dados de massa

fresca e massa seca das raízes e parte aérea. Posteriormente, realizou-se a determinação do cobre nos tecidos, por meio de digestão úmida em HNO₃ + HClO₄ (3:1) (EMBRAPA, 2009).

Tabela 2: Caracterização do lodo *in natura*

Parâmetro	Valor	Metodologia
Teor de umidade (%)	86,23	Tedesco et al. (1995)
pH	7,38	9045-D (USEPA, 2004)
Nitrogênio (g.kg ⁻¹)	5,50	
Fósforo (mg.kg ⁻¹)	200,00	Tedesco et al. (1995)
Potássio (mg.kg ⁻¹)	20,00	
Carbono Orgânico (g.kg ⁻¹)	11,80	EMBRAPA (2011)
Cobre (mg.kg ⁻¹)	0,00	EMBRAPA (2009)

Uma parte das raízes foi lavada e congelada em ultrafreezer (-70 °C) para determinação do cobre no apoplasto, realizada de acordo com a metodologia proposta por Chaignon e Hinsinger (2003), que tem por características ser realizada em HCl e passar por processo de agitação, e simplasto, realizada por digestão seca (EMBRAPA, 2009) caracterizada por queima em mufla e posterior solubilização das cinzas em HNO₃.

Também foram retiradas amostras de solo ao final do ensaio, mais próximas ao sistema radicular, sendo determinado a partir delas cobre pseudototal, pelo método 3050-B (USEPA, 1996), e cobre biodisponível, por metodologia descrita por Tedesco et al. (1995). Realizou-se também a mensuração dos parâmetros pH, SMP, P, K (Tedesco et al., 1995), C orgânico e Matéria Orgânica (EMBRAPA, 2011).

Todos os ensaios para mensuração de cobre foram realizados por espectrometria de absorção atômica, as determinações de potássio foram realizadas em fotômetro de chama, o fósforo foi determinado por espectrofotometria e carbono orgânico por titulação.

Os dados obtidos foram submetidos a análise de variância (ANOVA) e nos casos onde F foi significativo as médias dos tratamentos foram comparadas por teste de Tukey, com significância de 0,05, no *software* Statística®. Os coeficientes de determinação (R²) e as análises de regressão linear também foram efetuados.

2.2 Experimento 2

Foi realizada também a avaliação ecotoxicológica por meio do teste de reprodução de colêmbolos (*F. candida*). Para tanto, foram contaminados 0,3 kg de solo com base na dose máxima de cobre estabelecida pela norma técnica P4.230 (CETESB, 1999) de 75,0 kg.(ha.ano)⁻¹, que correspondeu à 22,5 mg na forma de sulfato de cobre pentahidratado (CuSO₄.5H₂O).

As doses de lodo basearam-se na mesma metodologia utilizada na fitoextração, tratamento controle e doses de 11,0; 22,0; 55,0 e 110,0 Mg.ha⁻¹, acrescentando-se uma testemunha realizada somente com solo, para verificar se o solo por si só poderia interferir na reprodução da espécie edáfica.

A mistura de solo, cobre e lodo foi homogeneizada em sacos plásticos, mantidos em ambiente seco e fresco por 60 dias e então realizou-se a montagem do experimento seguindo o procedimento a norma 11267 (ISO, 1999). Após o término do ensaio os colêmbolos juvenis foram contados com o auxílio do *software* ImageJ®.

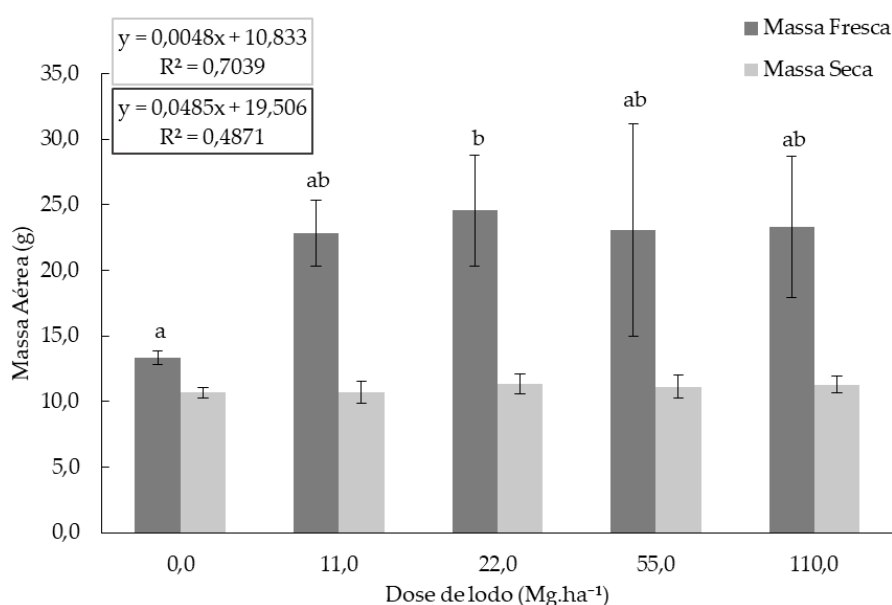
Os dados obtidos foram submetidos a análise de variância (ANOVA) com significância de 0,05, no *software* Statística®.

3 Resultados e discussão

Na Figura 1 se encontram as médias de massa aérea fresca e seca por tratamento, observa-se que para a massa fresca os tratamentos controle e com dose de lodo de 22,0 Mg.ha⁻¹ apresentaram diferença significativa, o que se traduz em uma influência positiva do lodo, corroborada pela análise de regressão linear que evidencia um aumento na massa fresca com o aumento na dose de lodo, tal benefício pode estar relacionado a umidade do lodo. Já para a massa seca não houve diferença significativa entre os tratamentos.

Basso (2015) ao não obter diferença significativa entre massas secas da parte aérea constatou que o fator Cu mostrou-se mais determinante que o fator corretivo da acidez usado em seu estudo, o que se assemelha ao caso, uma das possíveis explicações para os tratamentos não diferirem significativamente é que o Cu teve uma maior influência sobre a produção de matéria seca do que as doses de lodo. O efeito fitotóxico do Cu ocasiona redução da quantidade de nutrientes absorvidos e reduz o crescimento e produção de matéria seca na parte aérea (BASSO, 2015; CAMBROLLÉ et al., 2014; DALCORSO et al., 2014; GIROTTO et al., 2014).

Figura 1: Valores médios referentes a massa fresca e seca da parte aérea



Médias de tratamentos sem letra não apresentaram diferença significativa em análise de variância (ANOVA) para o parâmetro, com significância de 0,05;

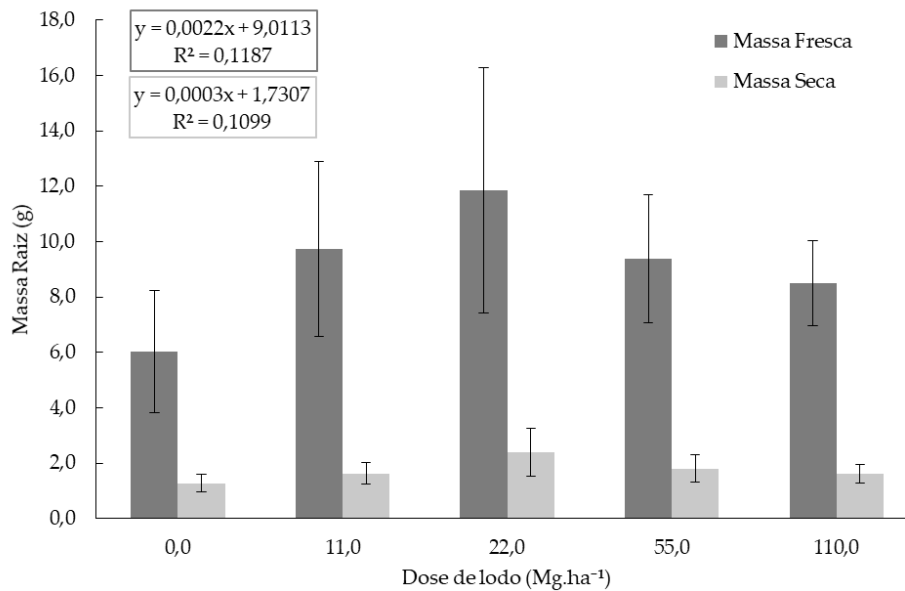
Médias de tratamentos com a mesma letra não diferem significativamente no teste de Tukey para o parâmetro, com significância de 0,05.

Com relação a massa de raízes (Figura 2), tanto fresca quanto seca, há semelhança no comportamento da massa seca da parte aérea, não havendo diferença significativa entre os tratamentos, indício de que o cobre se demonstrou muito mais determinante que as doses de lodo, o mesmo acontece com Basso (2015) com o corretivo de acidez, para o autor este efeito está relacionado à alta toxidez do Cu no solo, que impediu o crescimento e produção de matéria seca de raízes de aveia preta.

Outro fator relevante para a produção de massa seca pode ser o pH, fato observado por Viviani et al. (2010) que, em um Latossolo Vermelho Distroférico variou o pH de 5,6 para 7,0 e obteve ganho na produção de massa seca para a cultura de soja, solos com pH mais elevado tendem a promover ganho na produção de massa seca. O solo utilizado no estudo tinha pH baixo de 4,91 e acidez potencial (SMP) de 5,12 enquanto o lodo tinha um pH de 7,38, próximo da neutralidade, de fato não houve correção do pH antes do início do ensaio pois uma das hipóteses era que o caráter de

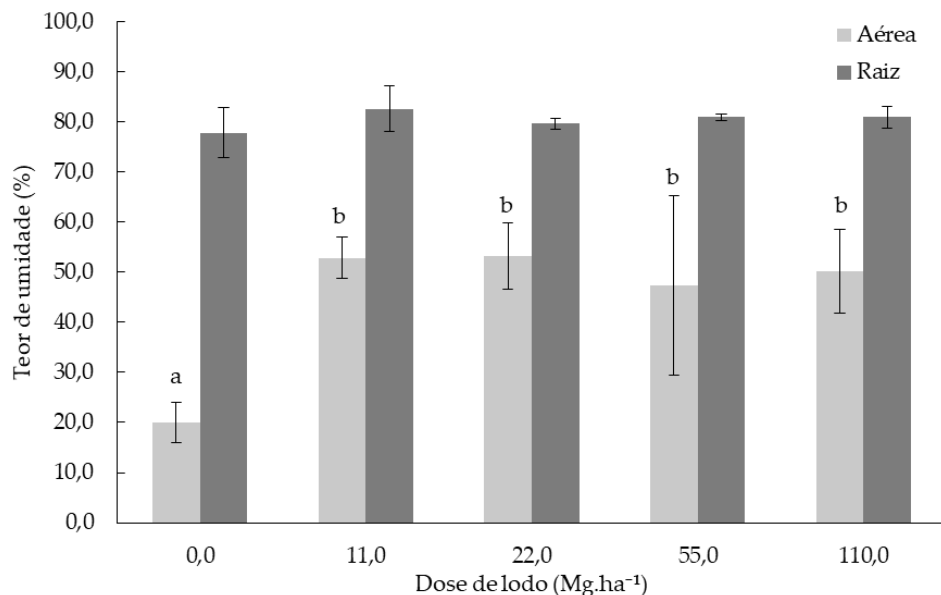
neutralidade do lodo bem como a presença de cálcio do resíduo de ovos afetasse positivamente o pH, fato que não se confirmou, ao término do experimento o pH médio dos tratamentos oscilou de 4,88 a 4,92 e a acidez potencial (SMP) de 5,03 a 5,20, não havendo diferença significativa entre os tratamentos.

Figura 2: Valores médios referentes a massa fresca e seca das raízes



Médias de tratamentos sem letra não apresentaram diferença significativa em análise de variância (ANOVA) para o parâmetro, com significância de 0,05.

Figura 3: Valores médios referentes aos teores de umidade da parte aérea e raiz



Médias de tratamentos sem letra não apresentaram diferença significativa em análise de variância (ANOVA) para o parâmetro, com significância de 0,05;

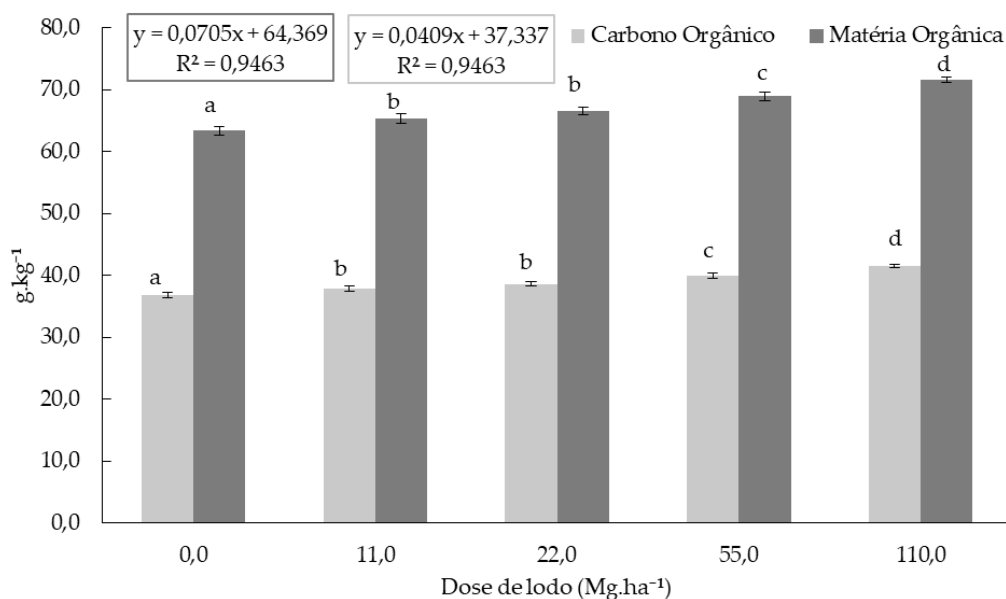
Médias de tratamentos com a mesma letra não diferem significativamente no teste de Tukey para o parâmetro, com significância de 0,05.

A Figura 3 descreve os teores de umidade médios de cada tratamento, para a parte aérea não houve diferença significativa entre os tratamentos obtidos, entretanto, para as raízes se observa que

o tratamento que não recebeu lodo teve o menor percentual de umidade diferindo dos demais tratamentos, o que pode indicar que a presença do lodo, que tinha como característica elevado teor de umidade, favoreceu a absorção de água pelas raízes.

De forma a verificar a influência do lodo sobre atributos químicos de solo, a Figura 4 destaca o comportamento do C orgânico e da matéria orgânica, sendo que a matéria orgânica é calculada multiplicando-se o resultado do carbono orgânico por 1,724, este fator é utilizado em virtude de se admitir que, na composição média do húmus, o carbono participa com 58% (EMBRAPA, 2011), portanto, estatisticamente apresentam o mesmo comportamento.

Figura 4: Valores médios referentes carbono orgânico e a matéria orgânica do solo após a realização do ensaio



Médias de tratamentos com a mesma letra não diferem significativamente no teste de Tukey para o parâmetro, com significância de 0,05.

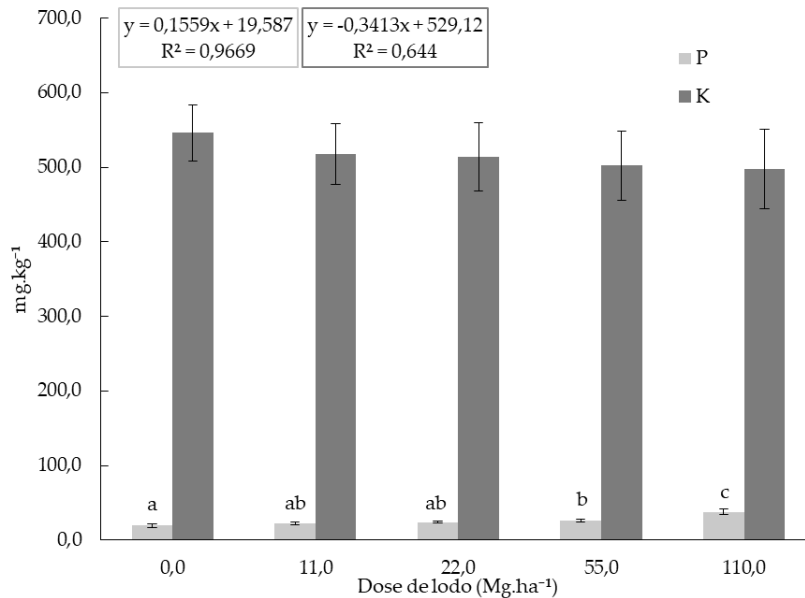
Observa-se que o lodo produz um aumento significativo na quantidade de C orgânico no solo e, conseqüentemente, na matéria orgânica, vale destacar que o solo utilizado no estudo possuía uma quantidade elevada de C orgânico (Tabela 2). O aumento no C orgânico e na matéria orgânica era esperado, devido aos altos teores no lodo, podendo variar de 248,2 a 382,4 g.kg⁻¹ em lodos seco de estação de tratamento de esgoto doméstico. Entretanto, a influência do lodo sobre os atributos químicos e físicos do solo é temporária, devido à mineralização da matéria orgânica (NASCIMENTO et al., 2004; RANGEL et al., (2006); REVOREDO; MELO, 2006; SAMPAIO et al.,2012).

Para o fósforo a incorporação do lodo produziu um aumento na sua concentração no solo, devido ao fato do lodo possuir uma alta concentração de fósforo, comportamento observado também por Nascimento et al. (2004). Todavia, para o potássio, como a concentração no solo era muito elevada, a incorporação do lodo não influenciou nos resultados, em concordância com o observado por Nascimento et al. (2004) em um Espodosolo, ocasionada pelos teores relativamente baixos de K no lodo. A Figura 5 ilustra o comportamento do P e K no solo a partir da incorporação do lodo.

A Figura 6 destaca a mensuração de cobre no solo após a realização do ensaio, tanto para o cobre biodisponível quanto para o cobre pseudototal. Observa-se para o cobre pseudototal não houve diferença significativa entre os tratamentos, enquanto que para o cobre biodisponível os tratamentos com dose de lodo de 22,0 e 110,0 Mg.ha⁻¹ diferiram estatisticamente. Embora não haja

uma diferença estatística significativa entre a maioria dos tratamentos, pela análise de regressão linear demonstra-se uma tendência de redução na concentração de cobre quando aumenta-se a dose de lodo.

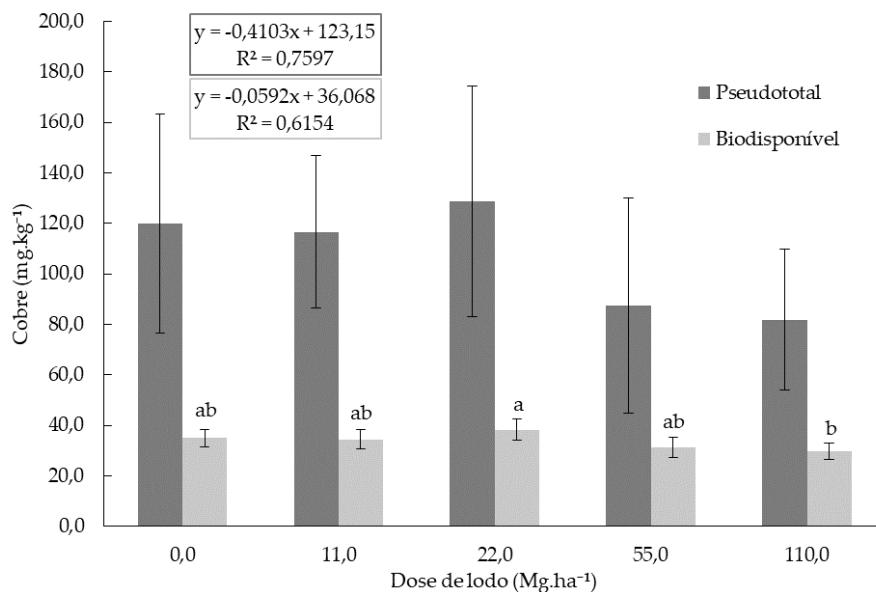
Figura 5: Valores médios referentes aos elemento K e P do solo após a realização do ensaio



Médias de tratamentos sem letra não apresentaram diferença significativa em análise de variância (ANOVA) para o parâmetro, com significância de 0,05;

Médias de tratamentos com a mesma letra não diferem significativamente no teste de Tukey para o parâmetro, com significância de 0,05.

Figura 6: Valores médios referentes ao cobre biodisponível e pseudototal do solo após a realização do ensaio



Médias de tratamentos sem letra não apresentaram diferença significativa em análise de variância (ANOVA) para o parâmetro, com significância de 0,05;

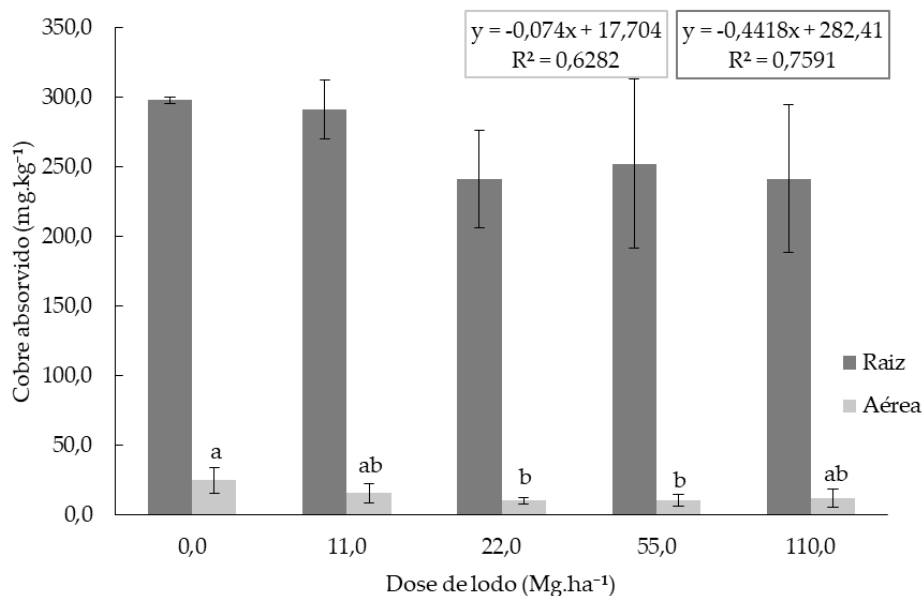
Médias de tratamentos com a mesma letra não diferem significativamente no teste de Tukey para o parâmetro, com significância de 0,05.

Na fitoextração, a Figura 7 demonstra a quantidade de cobre absorvida pelas raízes e parte aérea da aveia preta. Para a parte aérea houve diferença estatística significativa entre os tratamentos controle e com doses de lodo de 22,0 e 55,0 Mg.ha⁻¹, e na análise de regressão linear observa-se que há uma tendência de menor transferência de cobre das raízes para a parte aérea com o aumento da dose de lodo.

É possível observar também que para as raízes não houve diferença estatística significativa entre os tratamentos, por outro lado absorção de cobre se concentrou nas raízes da aveia preta, tal comportamento deve-se ao fato de que o Cu preferencialmente acumula nas raízes, devido às características do metal, que possui baixa mobilidade no interior da planta (BASSO, 2015; DALCORSO et al., 2014; SOUZA; SILVA; FERREIRA, 2011).

Fazendo uma relação entre o cobre absorvido pela parte de raiz e aérea com a massa seca produzida, observa-se que as plantas absorveram em média de 0,52 a 0,71 mg de cobre. Embora não havendo diferença estatística entre os tratamentos, destaca-se que o menor valor absorvido de 0,52 mg de cobre é obtido no tratamento com dose de lodo de 110,0 Mg.ha⁻¹, o que pode indicar que o lodo tornou o cobre menos biodisponível.

Figura 7: Teores médios de cobre absorvido pela parte aérea e de raiz da aveia preta após a realização do ensaio



Médias de tratamentos sem letra não apresentaram diferença significativa em análise de variância (ANOVA) para o parâmetro, com significância de 0,05;

Médias de tratamentos com a mesma letra não diferem significativamente no teste de Tukey para o parâmetro, com significância de 0,05.

A absorção de cobre via simplasto e apoplasto da aveia preta pode ser observada na Figura 8. Percebe-se que não houve diferença significativa entre os tratamentos para o Cu do simplasto, onde a transferência dos nutrientes ocorre célula a célula até chegar aos vasos condutores. Pode-se supor que a própria célula atua de forma a regular a absorção do Cu devido a toxidez, todavia as equações de regressão linear denotam uma tendência ao comportamento de redução na absorção de cobre com o aumento da quantidade de lodo.

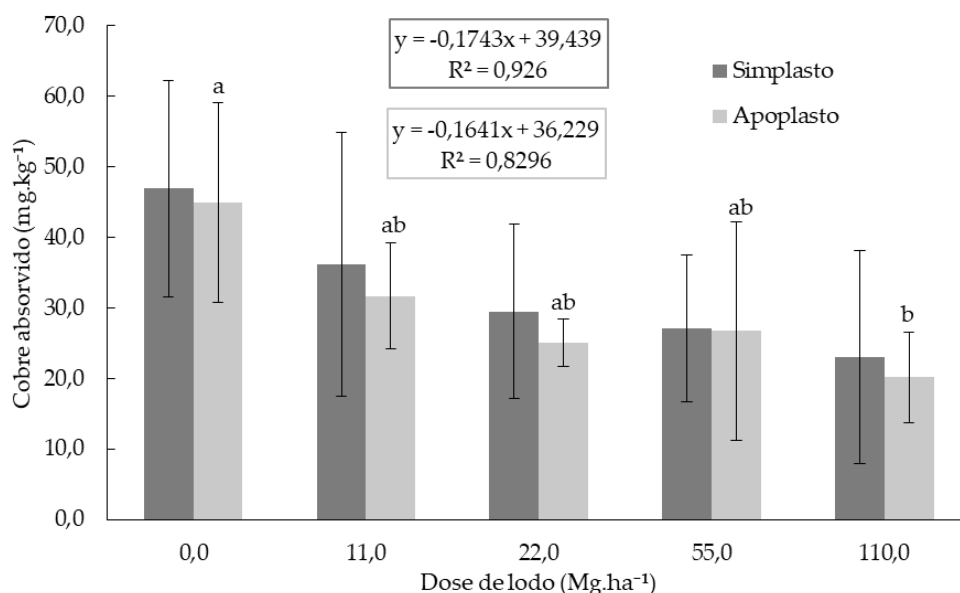
Por outro lado no compartimento apoplasto, onde a transferência se dá entre os espaços celulares, os tratamentos controle e com dose de lodo de 110,0 Mg.ha⁻¹ diferiram estatisticamente (Figura 8), evidenciando que o lodo teve um papel interessante na diminuição da biodisponibilidade (Figura 6) e consequente toxidez do cobre. A regressão linear, neste caso, confirma o comportamento de redução

com o aumento na dose lodo. Também observa-se que em média os tratamentos tanto para o simplasto quanto para o apoplasto apresentaram valores próximos.

Para Basso (2015) os teores de Cu no compartimentos apoplasto tendem reduzir quando há correção da acidez, enquanto que no simplasto isso não ocorre. Isto relaciona-se com mobilidade do Cu no solo e, conseqüentemente, da sua absorção pelas raízes, pois no apoplasto grupos sulfídricos (SH), carboxílicos (COO-) e compostos orgânicos presentes na parede celular, são influenciados pelo valor de pH, podendo alterar suas cargas e favorecer ligações com cátions metálicos, essa complexação no apoplasto impede a translocação para a parte aérea da aveia preta (BASSO, 2015; NACHTIGALL; NOGUEIROL; ALLEONI, 2007; YRUELA, 2009).

Embora não tenha havido diferença significativa na acidez do solo entre os tratamentos, um fator que pode ter contribuído para a diminuição dos teores de cobre no apoplasto e simplasto é o teor de C orgânico do solo (Figura 4), pois segundo Teixeira et al. (2003) o cobre tem boa afinidade com o C orgânico.

Figura 8: Valores médios referentes ao cobre absorvido pelos compartimentos apoplasto e simplasto das raízes da aveia preta após a realização do ensaio



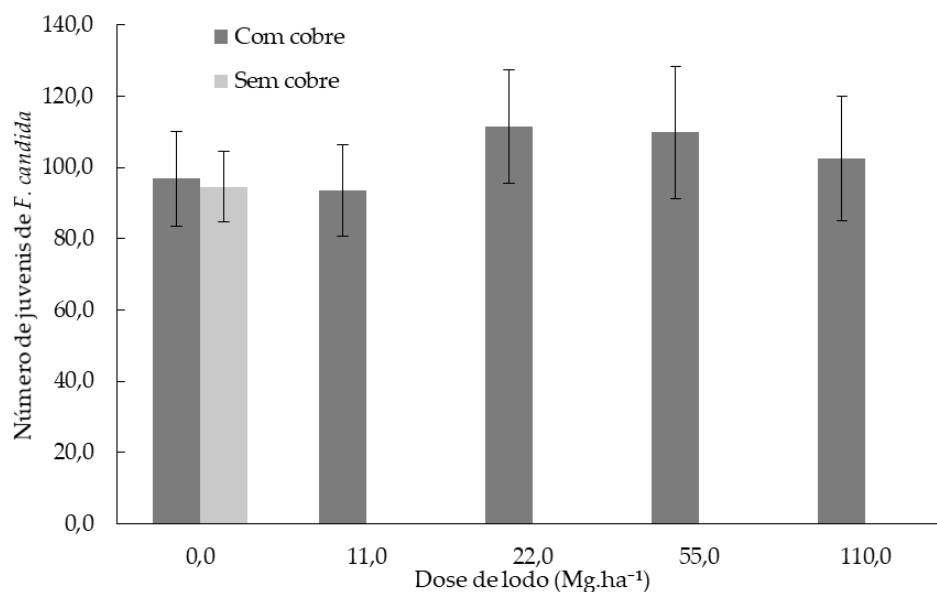
Médias de tratamentos sem letra não apresentaram diferença significativa em análise de variância (ANOVA) para o parâmetro, com significância de 0,05;

Médias de tratamentos com a mesma letra não diferem significativamente no teste de Tukey para o parâmetro, com significância de 0,05.

Na avaliação ecotoxicológica realizada por meio de teste de reprodução com colêmbolos, observou-se que a dose de cobre e as doses de lodo não afetaram a reprodução da espécie edáfica (Figura 9), pois na análise de variância não houve diferença significativa entre os tratamentos. Pedersen, van Gestel e Elmgaard (2000) verificaram que a reprodução dos colêmbolos foi inibida em concentrações elevadas de cobre no solo, sendo o valor de concentração efetiva de 10% (EC10) para solo recém contaminado de 50 mg.kg⁻¹ para *F. candida*, já o solo de campo contaminado não teve efeitos na reprodução dos colêmbolos até concentrações de cobre de 2.500 mg.kg⁻¹.

Portanto, a dose máxima de cobre estabelecida pela norma técnica P4.230 (CETESB, 1999), para solo em estudo, não afeta a reprodução da espécie indicadora e ecotoxicologicamente o lodo também não foi considerado tóxico para a espécie edáfica, o que seria um indicativo de viabilidade na aplicação agrícola do lodo.

Figura 9: Valores médios de juvenis de *F. candida* na avaliação ecotoxicológica



Médias de tratamentos sem letra não apresentaram diferença significativa em análise de variância (ANOVA) para o parâmetro, com significância de 0,05.

4 Conclusões

A dose máxima de cobre estabelecida pela norma técnica P4.230 (CETESB, 1999) não inviabilizou a germinação das sementes de aveia preta porém afetou o seu desenvolvimento;

A presença do lodo melhorou os atributos químicos de carbono orgânico, matéria orgânica e fósforo e não provocou alterações significativas no potássio e no pH;

A aveia preta demonstrou-se uma fitoextratora de cobre, com maior acúmulo nas raízes;

A dose máxima de cobre estabelecida pela norma técnica P4.230 (CETESB, 1999) e as doses de lodo não afetaram a reprodução dos colêmbolos, de forma que o lodo nas doses estudadas não se demonstrou tóxico para esta espécie edáfica.

Agradecimentos

Os autores expressam sua gratidão aos professores e técnicos da UFFS-Chapecó e aos funcionários da EPAGRI-Chapecó pelo auxílio recebido e de modo especial agradecem a banca de avaliação do trabalho de conclusão de curso.

Referências

- ABREU, C. A.; ABREU, M. F. e BERTON, R. S. Análise química de solo para metais pesados. In: **Tópicos em Ciência do Solo**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, v. 2, p. 645-692, 2002.
- BASSO, A. **Nutrição mineral e distribuição de cobre nas raízes de aveia preta e videiras jovens em solo contaminado submetido à calagem**. Florianópolis, Universidade Federal de Santa Catarina, 2015. 82p. (Dissertação de Mestrado)
- BORTOLON, L. e GIANELLO, C. Disponibilidade de cobre e zinco em solos do sul do Brasil. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.33, p.647-658, 2009.

- BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Conselho Nacional de Meio Ambiente. **Resolução n. 375**, de 29 de agosto de 2006. Define critérios e procedimentos, para o uso agrícola de lodos de esgoto gerados em estações de tratamento de esgoto sanitário e seus produtos derivados. Brasília, 2006.
- CAMBROLLÉ, J.; et al. Evaluating wild grapevine tolerance to copper toxicity. **Chemosphere**, v. 120, p. 171–178, 2014.
- CETESB. **Norma Técnica P4.230**. Aplicação de lodos de sistemas de tratamento biológico em áreas agrícolas - critérios para projeto e operação. São Paulo, 1999. 34p. (Manual Técnico)
- CHAIGNON, V.; HINSINGER, P. A Biotest for Evaluating Copper Bioavailability to Plants in a Contaminated Soil. **Journal of Environment Quality**, v. 32, n. 3, p. 824, 2003.
- DALCORSO, G.; et al. Nutrient metal elements in plants. **Metallomics: integrated biometal science**, v. 6, n. 10, p. 1770–88, 2014.
- EMBRAPA. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 3. ed. Brasília, 2013. 353p.
- _____. **Manual de métodos de análises de solo**. 2 ed. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, Rio de Janeiro, 2011. 230p.
- _____. **Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes**. 2. ed. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, Centro Nacional de Pesquisa de Solos, 2009.
- GIROTTI, E.; et al. Acúmulo e formas de cobre e zinco no solo após aplicações sucessivas de dejetos líquido de suínos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 34, p. 955-965, 2010.
- GIROTTI, E.; et al. Biochemical changes in black oat (*avena strigosa schreb*) cultivated in vineyard soils contaminated with copper. **Plant Physiology and Biochemistry**, v.103, p.199-207, 2016.
- ISO. **ISO 11267**. Soil quality – Inhibition of reproduction of Collembola (*Folsomia candida*) by soil pollutants. International Organization for Standardization, Geneva, Switzerland, 1999.
- LEQUEUX, H.; et al. Response to copper excess in Arabidopsis thaliana: Impact on the root system architecture, hormone distribution, lignin accumulation and mineral profile. **Plant physiology and biochemistry**, v. 48, n. 8, p. 673–82, 2010.
- MATTIAS, J. L. **Metais pesados em solos sob aplicação de dejetos líquidos de suínos em duas microbacias hidrográficas de Santa Catarina**. Santa Maria, Universidade Federal de Santa Maria, 2006. 165p. (Tese de Doutorado)
- MATTIAS, J. L.; et al. Copper, zinc and manganese in soils of two watersheds in Santa Catarina with intensive use of pig slurry. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.34, p.1445-1454, 2010.
- NASCIMENTO, C. W. A.; et al. Alterações químicas em solos e crescimento de milho e feijoeiro após aplicação de lodo de esgoto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.28, p.385-392, 2004.
- NASCIMENTO, A. L.; et al. Teores de metais pesados no solo e em girassol adubado com lodo de esgoto. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**. v.18, n.3, p.294–300, 2014.
- NACHTIGALL, G.; NOGUEIROL, R.; ALLEONI, L. Formas de cobre em solos de vinhedos em função do pH e da adição de cama de frango. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 42, n. 3, p. 427–434, 2007.
- NUVOLARI, A. **Esgoto sanitário: coleta, transporte, tratamento e reúso agrícola**. 2 ed. São Paulo. Blucher, 2011. 565p.
- PEDERSEN, M. B.; VAN GESTEL, C. A. M.; ELMGAARD, N. Effects of copper on reproduction of two collembolan species exposed through soil, food, and water. **Environmental Toxicology and Chemistry**, v. 19, n. 10, p. 2579–2588, 2000.

- RANGEL, O. J. P.; et al. Efeito de aplicações de lodos de esgoto sobre os teores de metais pesados em folhas e grãos de milho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 30, p. 583-594, 2006.
- REVOREDO, M. D. e MELO, W. J. Disponibilidade de níquel em solo tratado com lodo de esgoto e cultivado com sorgo. **Bragantia**, Campinas, v.65, n.4, p.679-685, 2006.
- SAMPAIO, T.F.; et al. Lodo de esgoto na recuperação de áreas degradadas: Efeito nas características físicas do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 36, p.1637-1645, 2012.
- SEGANFREDO, M. A.; SOARES, I. J.; KLEIN, C. S. **Potencial fertilizante e poluente dos dejetos de suínos no contexto das pequenas propriedades do Oeste de SC**. Concórdia, Embrapa Suínos e Aves, 2003. 4p. (Comunicado Técnico, 342)
- SCHERER, E. E.; NESI, C. N.; MASSOTI, Z. Atributos químicos do solo influenciados por sucessivas aplicações de dejetos suínos em áreas agrícolas de Santa Catarina. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.34, p.1375-1383, 2010.
- SEGAT, J. C. **Avaliação ecotoxicológica do uso de dejetos de suínos em solos de Santa Catarina**. Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2012. 130p. (Dissertação de mestrado)
- SOCIEDADE BRASILEIRA DE CIÊNCIA DO SOLO. **Manual de adubação e de calagem: para os estados do Rio Grande do Sul e de Santa Catarina**. 10. ed. Porto Alegre. SBCS, 2016.
- SOUZA, E. P. DE; SILVA, I. DE F. DA; FERREIRA, L. E. Mecanismos de tolerância a estresses por metais pesados em plantas. **Revista Brasileira de Agrociência**, v. 17, n. 2, p. 167-173, 2011.
- TEDESCO, M.J.; et al. **Análise de solo, plantas e outros materiais**. 2. ed. Porto Alegre, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1995. 174p. (Boletim Técnico, 5)
- TEIXEIRA, I. R.; et al. Variação dos valores de pH e dos teores de carbono orgânico, cobre, manganês, zinco e ferro em profundidade em Argissolo Vermelho-Amarelo, sob diferentes sistemas de preparo de solo. **Bragantia**, Campinas, v. 62, n. 1, p. 119-126, 2003.
- USEPA. **Method 3050B**. Acid digestion of sediments, sludges, and soils, 1996. Disponível em: <<https://www.epa.gov/sites/production/files/2015-06/documents/epa-3050b.pdf>> Acesso em: 02 jul. de 2018.
- _____. **Method 9045D**. Soil and waste pH, 2004. Disponível em: <<https://www.epa.gov/sites/production/files/2015-12/documents/9045d.pdf>> Acesso em: 02 jul. de 2018.
- VIVIANI, C. A.; et al. Disponibilidade de fósforo em dois latossolos argilosos e seu acúmulo em plantas de soja, em função do aumento do pH. **Ciênc. agrotec.**, Lavras, v. 34, n. 1, p. 61-67, fev. 2010.
- YRUELA, I. Copper in plants. **Braz. J. Plant Physiol.**, Londrina, v. 17, n. 1, p. 145-156, 2005.
- YRUELA, I. Copper in plants: acquisition, transport and interactions. **Functional Plant Biology**, v. 36, n. 5, p. 409-430, 2009.
- ZORTÉA, T.; et al. Influence of cypermethrin on avoidance behavior, survival and reproduction of *Folsomia candida* in soil. **Chemosphere**, Oxford, v. 122, p. 94-98, 2015.