

**UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ  
DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA**

**MARIZANDRA ZANATTA**

**TEORES PSEUDOTOTAIS DE CÁDMIO, NÍQUEL, CHUMBO, CROMO,  
COBRE, BÁRIO E ZINCO EM PLANTAS DE AVEIA E MILHO E EM  
SOLO ADUBADO COM CAMA DE AVIÁRIO DURANTE SEIS ANOS**

**DISSERTAÇÃO**

**PATO BRANCO**

**2018**

MARIZANDRA ZANATTA

**TEORES PSEUDOTOTAIS DE CÁDMIO, NÍQUEL, CHUMBO, CROMO,  
COBRE, BÁRIO E ZINCO EM PLANTAS DE AVEIA E MILHO E EM  
SOLO ADUBADO COM CAMA DE AVIÁRIO DURANTE SEIS ANOS**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Câmpus Pato Branco, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Agronomia - Área de Concentração: Produção Vegetal.

Orientador: Prof. Dr. Luís César Cassol.

PATO BRANCO

2018

Z27t

Zanatta, Marizandra.

Teores pseudototais de cádmio, níquel, chumbo, cromo, cobre, bário e zinco em plantas de aveia e milho e em solo adubado com cama de aviário durante seis anos / Marizandra Zanatta. -- 2018.

40 f. : il. ; 30 cm.

Orientador: Prof. Dr. Luís César Cassol.

Dissertação (Mestrado) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Programa de Pós-Graduação em Agronomia. Pato Branco, PR, 2018.

Bibliografia: f. 36 - 40.

1. Aves - Criação. 2. Metais pesados. 3. Solos - Poluição. I. Cassol, Luís César, orient. II. Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Programa de Pós-Graduação em Agronomia. III. Título.

CDD (22. ed.) 630



Ministério da Educação  
**Universidade Tecnológica Federal do Paraná**  
Câmpus Pato Branco  
Diretoria de Pesquisa e Pós-Graduação  
**Programa de Pós-Graduação em Agronomia**



## **TERMO DE APROVAÇÃO**

**Título da Dissertação nº 175**

**TEORES PSEUDOTOTAIS DE CÁDMIO, NÍQUEL, CHUMBO, CROMO,  
COBRE, BÁRIO E ZINCO EM PLANTAS DE AVEIA E MILHO E EM  
SOLO ADUBADO COM CAMA DE AVIÁRIO DURANTE SEIS ANOS**

por

**MARIZANDRA ZANATTA**

Dissertação apresentada às quatorze horas do dia vinte e oito de Agosto de dois mil e dezoito, como requisito parcial para obtenção do título de MESTRA EM AGRONOMIA, Linha de Pesquisa – Sistemas de Produção Vegetal, Programa de Pós-Graduação em Agronomia (Área de Concentração: Produção vegetal) da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Câmpus Pato Branco. A candidata foi arguida pela Banca Examinadora composta pelos membros abaixo designados. Após deliberação, a Banca Examinadora considerou o trabalho APROVADO.

Banca examinadora:

---

**Prof. Dr. Jessé Rodrigo Fink**  
IFPR

---

**Prof. Dra. Larissa Macedo dos  
Santos Tonial**  
UTFPR

---

**Prof. Dr. Luís César Cassol**  
UTFPR  
Orientador

---

**Prof. Dr. Moeses Andriago Danner**  
Coordenador do PPGA

“O Termo de Aprovação, devidamente assinado, encontra-se arquivado na Coordenação do Programa”

## **AGRADECIMENTOS**

Primeiramente, a Jeová Deus, pela oportunidade de concluir mais uma etapa em minha vida, e a minha família por todo apoio e compreensão.

Ao Prof. Dr. Luís César Cassol, pela orientação, apoio, paciência, ajuda e companheirismo durante o desenvolvimento deste trabalho.

A Universidade Tecnológica Federal do Paraná e a Coordenação do Programa de Pós-Graduação em Agronomia, pela oportunidade de realizar este sonho.

A Fundação Araucária pela concessão da bolsa, durante a realização deste projeto, fato este que muito contribuiu para a viabilização desta dissertação. Portanto, deixo aqui expresso meu agradecimento.

Aos membros da banca examinadora, professores Dr. Jessé Rodrigo Fink e Dra. Larissa Macedo dos Santos Tonial, pela inestimável contribuição na conclusão desta dissertação com suas sugestões.

Aos meus colegas da UTFPR - Universidade Tecnológica Federal do Paraná – Câmpus Pato Branco, pelo companheirismo, apoio e sugestões ao nosso trabalho.

As pesquisadoras e laboratoristas (UFPR – Setor de Ciências Agrárias), Maria Aparecida Carvalho e Fabiana Gavelaki, pelo suporte para desenvolver as metodologias e as primorosas instruções fornecidas.

A todos o meu sincero sentimento de profunda gratidão!

## RESUMO

ZANATTA, Marizandra. CASSOL, Luís César. **TEORES PSEUDOTOTAIS DE CÁDMIO, NÍQUEL, CHUMBO, CROMO, COBRE, BÁRIO E ZINCO EM PLANTAS DE AVEIA E MILHO E EM SOLO ADUBADO COM CAMA DE AVIÁRIO DURANTE SEIS ANOS.** 40f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Programa de Pós-Graduação em Agronomia (Área de Concentração: Produção Vegetal), Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Pato Branco, 2018.

Muitos estudos apresentam sucesso na utilização da cama de aviário como fertilizante, mas devido aos teores de elementos potencialmente tóxicos (EPTs) em sua composição, com tendência de acúmulo superficial, pode vir a se tornar um contaminante do solo. Este trabalho teve por objetivo quantificar os teores pseudototais de EPTs acumulados no solo, bem como em plantas de aveia e em grãos de milho, após seis aplicações consecutivas de cama de aviário. O experimento foi implantado na área experimental da UTFPR/Câmpus Pato Branco em junho de 2011. O solo da área é um Latossolo Vermelho distrófico típico. O delineamento experimental é de blocos ao acaso e quatro repetições. Os tratamentos consistem na aplicação anual de doses crescentes (0, 4, 8 e 12 Mg ha<sup>-1</sup>) de cama de aviário, com base úmida, sempre antecedendo a cultura do inverno. O teor dos EPTs no solo foi quantificado em superfície (0 – 5cm) pelo método EPA 3051A, após seis anos de aplicação dos tratamentos. Já a determinação analítica dos teores pseudototais dos EPTs nas plantas de aveia e grãos de milho foi obtida por digestão nitro-perclórica, as leituras foram realizadas por espectrometria de emissão óptica com plasma induzido (ICP-OES). A aplicação de cama de aviário promoveu aumento linear nos teores de Zn e Ba no solo, porém os valores estão abaixo da referência preconizada pelo CONAMA. Para Cd, Ni, Pb, Cr e Cu não houve efeito das doses crescentes de cama de aviário. Conclui-se que o solo em estudo não apresenta contaminação por EPTs, apesar das constantes aplicações de cama de aviário. Em relação as plantas de aveia, a aplicação de doses de cama de aviário não apresentou efeito significativo para Cu, Ni, Pb, Zn, Cd e Ba, porém aumentou linearmente os teores de Cr. Os teores de Cu, Ni, Zn e Cr nos grãos de milho não foram afetados pelos níveis crescentes de cama de aviário, contudo, o teor de Cr está acima do limite máximo permitido para contaminantes inorgânicos em alimentos, apesar de não ter sido afetado pela cama de aviário. Pb, Cd e Ba não foram encontrados nas amostras de grãos de milho.

**Palavras-Chaves:** Avicultura. Metais potencialmente tóxicos. Solo Contaminado.

## ABSTRACT

ZANATTA, Marizandra. CASSOL, Luís César. **PSEUDOTOTAL TENORS OF CADMIUM, NICKEL, LEAD, CHROME, COPPER, BARIUM AND ZINC IN PLANTS OF OAT AND CORN AND IN GROUND FERTILIZED WITH POULTRY LITTER DURING SIX YEARS.** 40f. Dissertation (Masters in Agronomy) - Graduate Program in Agronomy (Area of Concentration: Plant Production), Technological Federal University of Paraná. Pato Branco, 2018.

Many studies are successful in using poultry litter as fertilizer, but because of the potentially toxic elements (EPTs) in their composition, with a tendency for surface accumulation, it may become a soil contaminant. The objective of this work was to quantify the pseudo-total contents of EPTs accumulated in the soil, as well as in oat plants and corn grains, after six consecutive poultry litter applications. The experiment was carried out in the experimental area of UTFPR / Pato Branco Campus in June 2011. The soil in the area is a typical dystrophic Red Latosol. The experimental design was a randomized complete block and four replications. The treatments consist of the annual application of increasing doses (0, 4, 8 and 12 Mg ha<sup>-1</sup>) of poultry litter, with moist base, always preceding the winter culture. The soil EPT content was quantified on the surface (0-5 cm) by the EPA 3051A method, after six years of treatments. The analytical determination of the pseudo-total contents of heavy metals in oat plants and corn kernels was obtained by nitro-per chloric digestion, the readings were performed by optical emission spectrometry with induced plasma (ICP-OES). The application of poultry litter promoted a linear increase in Zn and Ba contents, but the values are below the reference recommended by CONAMA. For Cd, Ni, Pb, Cr and Cu there was no effect of increasing doses of poultry litter. It is concluded that the soil under study does not present contamination by EPTs, despite the constant applications of poultry litter. In relation to oat plants, the application of poultry litter doses had no significant effect on Cu, Ni, Pb, Zn and Ba, however, it promoted a linear increase in Cr content. The levels of Cu, Ni, Zn and Cr in corn grains were not affected by increasing levels of poultry litter, however, the Cr content is above the maximum limit allowed for inorganic contaminants in food, although it has not been affected by aviary bed. Pb, Cd and Ba were not found in samples of corn grains.

**Keywords:** Poultry farming. Potentially toxic metals. Contaminated soil.

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Teores de Prevenção e Investigação Agrícola de alguns elementos químicos, para solos, conforme Resolução 420/2009 CONAMA. ....	19
Tabela 2 – Limite máximo de tolerância de metais pesados em alimentos regido pelo Decreto nº 55.871 .....	23
Tabela 3 – Caracterização química do solo da área experimental (Latosolo Vermelho Distrófico típico) na profundidade de 0-20 cm. ....	24
Tabela 4 – Teores pseudototais de elementos essenciais e potencialmente tóxicos presentes na cama de aviário. ....	24
Tabela 5 – Teores pseudototais (média de quatro doses de cama de aviário) de Cd, Ni, Pb, Cr e Cu, na camada de 0-5 cm de solo, após seis anos de aplicação de cama de aviário. ....	27
Tabela 6 – Teores pseudototais (média de quatro doses de cama de aviário) de Cu, Ni, Pb, Zn e Ba, em plantas de aveia (colmo e folhas), após seis anos de aplicação de cama de aviário. ....	31
Tabela 7 – Teores pseudototais (média de quatro doses de cama de aviário) de Cu, Ni, Zn e Cr, em grãos de milho, após seis anos de aplicação de cama de aviário. ....	33



## LISTA DE FIGURAS

- Figura 1 – Teores Pseudototais de Zn com diferentes doses de cama de aves, na camada de 0-5cm de solo, após seis anos de aplicação. ....29
- Figura 2 – Teores Pseudototais de Ba com diferentes doses de cama de aves, na camada de 0-5cm de solo, após seis anos de aplicação. ....30
- Figura 3 – Teores Pseudototais de Cr em função de diferentes doses de cama de aves, em plantas de aveia (colmo e folhas), após seis anos de aplicação.....32

## LISTA DE SIGLAS E ACRÔNIMOS

CONAMA	Conselho Nacional do Meio Ambiente
ANVISA	Agência Nacional de Vigilância Sanitária
Cr	Cromo
Pb	Chumbo
Zn	Zinco
Ba	Bário
Cd	Cádmio
Ni	Níquel
Cu	Cobre
Mg	Magnésio
K	Potássio
pH	Potencial de Hidrogênio
EPTs	Elementos Potencialmente Tóxicos

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO GERAL</b> .....	12
<b>2 REVISÃO DE LITERATURA</b> .....	14
2.1 AVICULTURA BRASILEIRA .....	14
2.2 CAMA DE AVIÁRIO .....	16
2.3 ELEMENTOS POTENCIALMENTE TÓXICOS.....	18
<b>3 MATERIAL E MÉTODOS</b> .....	24
<b>4 RESULTADOS E DISCUSSÃO</b> .....	27
4.1 TEORES PSEUDOTOTAIS EM LATOSSOLO VERMELHO DISTRÓFICO .....	27
4.2 TEORES PSEUDOTOTAIS EM PLANTAS DE AVEIA.....	31
4.3 TEORES PSEUDOTOTAIS EM GRÃOS DE MILHO .....	33
<b>5 CONCLUSÕES</b> .....	35

## 1 INTRODUÇÃO

Vários insumos podem ser usados na agricultura com a finalidade de fornecer elementos essenciais às plantas. Estes, tanto de natureza mineral quanto orgânica, são necessários para se extrair o máximo potencial produtivo das culturas, já que, originalmente, os solos brasileiros apresentam limitações nutricionais em função do alto grau de intemperismo. O uso de adubos orgânicos, de origem vegetal ou animal, é uma alternativa na busca por modelos mais sustentáveis, bem como para reduzir a alta dependência do Brasil à importação de adubos sintéticos, algo que pode afetar a soberania nacional.

A cama de aviário, resíduo formado por fezes, urina e pena de aves, juntamente com a maravalha e produtos desinfetantes como a cal virgem, apresenta altas concentrações de macro e micronutrientes, além de outros elementos chamados de potencialmente tóxicos (AIRES et al., 2009). A adubação com cama de aviário, em substituição parcial ou total à adubação química, é uma possibilidade a ser considerada, reduzindo custo de produção, no entanto esta precisa seguir os preceitos técnicos, respeitando a produtividade e o ambiente, pois o seu uso indevido pode trazer problemas ecológicos, tornando-se um poluente para o solo.

O uso de nutrientes na agricultura deve causar o menor impacto ambiental possível, adequando o fornecimento dos mesmos com as exigências das culturas. A utilização da cama de aviário nos solos agrícolas é uma prática que auxilia na sustentabilidade dos agroecossistemas em função do seu alto potencial como fertilizante. No entanto, elementos como cádmio (Cd), chumbo (Pb) e cromo (Cr), que podem estar presentes nesse resíduo, especialmente na composição das rações, quando no ambiente, em teores acima dos permitidos pela legislação, podem atingir a cadeia trófica e trazer sérios danos à saúde humana e dos animais (MALEKI; ZARASVAND, 2008).

No Brasil são poucas as estatísticas envolvendo possível contaminação de solos pelo uso de determinados insumos. Solo contaminado é aquele que apresenta concentrações de determinada espécie química acima do esperado em condições naturais (ACCIOLY; SIQUEIRA, 2000), podendo ser causado por atividade antrópica ou por processos biogeoquímicos. É sabido que medidas remediadoras,

com vistas a restaurar o ecossistema, são extremamente caras, sendo melhor evitar o aparecimento desse problema, melhorando a eficiência de uso dos insumos, entre os quais a cama de aviário, insumo muito presente na região Sudoeste do Paraná, devido a importância da atividade avícola.

Embora presentes no solo de forma natural (litogênica) ou favorecidos pela ação antropogênica, através de deposições industriais e pelo uso de insumos agrícolas, somente uma pequena parte dos elementos potencialmente tóxicos estará disponível para os organismos vivos, uma vez que processos químicos e bioquímicos, controlam a sua mobilidade em solos. Entre esses processos destacam-se reações de precipitação-dissolução, adsorção-dessorção, complexação-dissociação e oxidação-redução (HE et al., 2005). Dentre as propriedades do solo que afetam a retenção e a mobilidade dos metais pesados, estão o pH, a capacidade de troca catiônica (CTC), a quantidade de matéria orgânica (MO), a competição iônica, a quantidade e tipo de minerais na fração argila (óxidos de Fe, Al e Mn) (ANDRADE, 2011).

Nos solos formados em condição de clima tropical e subtropical, a matéria orgânica do solo é a principal responsável pela geração de cargas elétricas de superfície. A presença de matéria orgânica, associada a elevação do pH do solo pela correção da acidez, favorece o surgimento de cargas negativas, aumentando a adsorção dos cátions metálicos (adsorção não específica). Essa mesma matéria orgânica também pode favorecer a complexação desses metais, aumentando a sua retenção no solo e reduzindo a lixiviação, tal qual observado na formação de complexo Pb-ligante orgânico (SCHWAB; HE; BANKS, 2005).

O uso da cama de aviário pode afetar, tanto o pH do solo quanto o teor de matéria orgânica, interferindo na CTC. De acordo com Udom et al. (2004), a CTC e o conteúdo de matéria orgânica são bons indicadores para avaliar a mobilidade de metais em solos. Todas essas características de solo interferem na retenção e mobilidade dos elementos químicos no solo.

O objetivo deste trabalho foi avaliar os teores pseudototais de Cd, Ni, Pb, Cr, Cu, Ba e Zn no solo e o possível efeito cumulativo em plantas de aveia e grãos de milho cultivados em Latossolo Vermelho distrófico típico, após seis anos consecutivos de aplicação de cama de aviário.

## 2 REVISÃO DE LITERATURA

### 2.1 AVICULTURA BRASILEIRA

A avicultura tradicional e familiar sempre esteve presente na história do Brasil, mais popularmente conhecida como produção de frango “caipira”. A carne e os ovos eram produzidos para consumo próprio e os excedentes comercializados, quando possível. Apenas no século passado, em alguns estados brasileiros, ocorreu a investida em tecnologia com objetivo de melhorar e aprimorar esta atividade. No começo da década de 70, a região Sudeste do Brasil, especialmente as cidades de São Paulo, Belo Horizonte e Rio de Janeiro, eram as principais responsáveis pela produção de matrizes. Mais tarde um novo modelo, caracterizado pela atividade industrial com um forte controle nas diferentes etapas de produção, se ampliou para a região Sul do Brasil (LANA, 2000).

A consolidação desta atividade foi impulsionada pela oferta de crédito para investimentos em longo prazo. Com a utilização de novas tecnologias veio o melhoramento processual, tanto genético, sanitário e nutricional, bem como a implantação de novas técnicas ambientais. Esses investimentos fizeram a avicultura brasileira mudar de patamar, transformando o País no segundo maior produtor de carne de frango, atrás apenas dos Estados Unidos, sendo o Paraná o principal estado produtor (IPARDES, 2017). Através do modelo de produção integrada de frango, aliando organização, tecnologia e capacidade gerencial, esta atividade se destaca em relação as demais cadeias de carne e tem contribuído para o desenvolvimento do país, pois não é dependente de fatores sazonais e pode ser explorada simultaneamente com outras atividades agropecuárias, melhorando o desempenho econômico através da geração de emprego e renda em diferentes áreas.

É bem verdade que nos últimos anos a atividade avícola vem sofrendo alguns prejuízos. Em 2016, com a redução em 25% da safrinha de milho (que é a maior safra brasileira), a oferta de milho no mercado nacional recuou de 97 para 80 milhões de toneladas no ano seguinte, elevando o preço da saca e, por consequência, aumentando o custo de produção. A atual instabilidade da economia brasileira e

restrições no mercado internacional (vide operação Carne Fraca em 2017), além de prejuízos bilionários a todos os setores de carne (frangos, suínos e bovinos) por conta da recente paralisação rodoviária no movimento dos caminhoneiros (maio/2018), também afetou enormemente todo o setor de produção de frangos. Além disso, recentemente o setor recebeu a notícia da taxaço da China, um dos principais mercados consumidores, de 18,8% a 38,4% sobre o frango brasileiro.

É possível que todos esses fatores afetem a atividade avícola, comprometendo parte da economia brasileira. Apesar disso, o Sindicato das Indústrias de Produtos Avícolas do Estado do Paraná (Sindiavipar), destacou que no primeiro semestre de 2017 foram abatidas 888,9 milhões de cabeças de frango no Paraná, volume ligeiramente inferior (0,5%) aos 893,8 milhões registrados no mesmo período de 2016. O Brasil é o maior exportador de carne de frango do mundo, sendo o Paraná responsável por 38,2% dos embarques de frango no País, em 2016 (IPARDES, 2017), especialmente para Arábia Saudita, China, Japão, Emirados Árabes Unidos e Hong Kong.

Em função das características da região, especialmente ligadas ao tamanho das propriedades (a maior parte delas com área inferior a 50 hectares) e, por consequência, o uso da mão-de-obra familiar, o Sudoeste do Paraná também vem observando um crescimento expressivo da avicultura. Depois da região Oeste, o Sudoeste é o maior polo produtor do Paraná, contando com vários frigoríficos e várias empresas especializadas na produção de ovos e pintinhos. No entanto, tanto em países desenvolvidos quanto nos emergentes, o perfil dos consumidores está cada vez mais exigente, não apenas em quantidade de produto, mas também em qualidade, exigindo esforços para atender essa demanda.

São vários os fatores que interferem na qualidade da carne de frango, entre os quais se destaca a densidade populacional (número de frangos por m<sup>2</sup>). Num sistema de criação com alta densidade o produtor gera frangos com menor peso ao abate, em função do menor consumo, maior estresse e competição entre as aves, porém reduz os custos e aumenta a produção de carne por área (ALBUQUERQUE et al., 2006). Um maior número de animais eliminando as fezes num mesmo espaço faz aumentar a produção dos subprodutos da atividade avícola.

Um dos subprodutos da atividade avícola é a cama de aviário, composto

utilizado em instalações avícolas para servir de leito para os frangos, a fim de proporcionar conforto aos animais, evitando oscilações térmicas e o contato direto das aves com o piso. Mesmo que o crescimento da atividade avícola tenha se refletido em mudanças nas práticas de manejo, entre as quais se destaca o aumento do número de lotes sobre a mesma cama, para reduzir o consumo de maravalha, é fato que a produção desse resíduo, que necessita de um correto destino, cresceu enormemente nas últimas décadas.

Se bem manejado esse resíduo pode trazer resultados altamente positivos para os solos agrícolas, devido a sua riqueza nutricional, mas, por outro lado, também pode gerar grandes problemas ambientais se não forem tomados os cuidados necessários em relação a doses utilizadas e frequência de aplicação.

## 2.2 CAMA DE AVIÁRIO

Com a produção avícola intensa, observa-se a geração de uma grande quantidade de resíduos. Parte desses resíduos se referem as atividades de abate e processamento dos animais, e uma outra parte, bem significativa, diz respeito a formação de um material conhecido como cama de aviário.

A cama de aviário é o resultado da mistura dos excrementos das aves, urina, penas, descamações da pele, restos de alimentos caídos dos comedouros, bem como material absorvente (maravalha, casca de arroz, sabugo de milho triturado) utilizado como substrato sobre o piso dos galpões (REIS et al., 2009), constituindo assim um resíduo com elevada concentração de nutrientes (FARIDULLAH et al., 2009). No entanto, a composição da cama é extremamente variável e depende, entre outros fatores, do tipo de material utilizado, da quantidade de aves, da época do ano, da idade da criação, da dieta oferecida e do número de lotes em uma mesma cama.

O Brasil apresenta um clima favorável para a produção aviária em sistemas abertos. Não raro observa-se a reutilização da cama por até seis lotes consecutivos (AVILA et al., 2008). Não raro também se observa o reuso da cama por 13 ou mais lotes. Esta prática é uma alternativa usada para quando não se consegue material adequado para formular uma nova cama e também uma maneira de reduzir



os resíduos para disposição no ambiente, além de proporcionar economia de maravalha ou outro material absorvente.

É implícito os riscos embutidos na reutilização da cama de frango, considerando principalmente que as aves são criadas em alta densidade populacional. A utilização de um elevado número de animais por unidade de área, a falta de ventilação adequada e extremos de temperatura fazem aumentar a umidade, a fermentação e a produção de amônia, condições que favorecem o surgimento da coccidiose, que é uma doença protozoária, bem como problemas respiratórios provocados por micoplasma, microbactérias que não tem parede celular. Além dos anticoccidianos, na atividade avícola também são empregados produtos antimicrobianos e outros aditivos que são monitorados pelo Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA).

Todos esses produtos passam por quatro etapas: absorção, distribuição, biotransformação e excreção (via sistema urinário e/ou digestório). De forma geral, o destino final dessas drogas e seus metabólitos é a excreta das aves (GONZALES et al., 2005), assim sendo, quem acaba por absorver estes produtos é a cama de aviário. Mesmo com a desinfecção na troca de lotes através de agentes que garantam a viabilidade do material, alguns resíduos (principalmente antibióticos) permanecem na cama. Tal situação é preocupante porque o destino desse material é o solo, na forma de fertilizante orgânico, podendo ocasionar problemas quando usados inadequadamente sem recomendação e acompanhamento por profissional especializado.

Na composição da ração utilizada na produção de aves, cerca de 90% contém milho e farelo de soja, além de calcário, fosfato bicálcico, sal e outros produtos. Nesses produtos, conforme sua origem e modo de produção, pode existir a presença, mesmo que pequena, de elementos essenciais às plantas, como cobre (Cu) e zinco (Zn), mas também de elementos potencialmente tóxicos. Assim como os aditivos relatados acima, esses produtos serão excretados pelas aves fazendo parte da composição da cama de aviário. Embora o Cu e o Zn, que podem se fazer presentes em camas de maravalha, sejam elementos essenciais às plantas, em doses elevadas podem apresentar riscos ao ambiente e à saúde humana (HIGARASHI et al, 2008).

A busca por material orgânico na adubação do solo tem sido crescente,

isto porque são inúmeras as vantagens que eles apresentam como melhoria nas características físicas, químicas e biológicas, aumento na retenção de água, na porosidade e agregação do solo, bem como liberação gradativa de nutrientes que auxilia na redução de custos (TERRON, 1992). Todos estes fatores implicam no aumento do potencial de produção agrícola (CORRÊA; MIELE, 2011), podendo ser utilizado em diversas culturas produtoras de grãos, horticultura, fruticultura, pastagem, reflorestamento, recuperação de áreas degradadas, entre outros.

Apesar dos múltiplos benefícios do uso da cama de frango na agricultura, existem algumas restrições quanto ao uso, pois o resíduo da atividade avícola possui concentrações significativas de nitrogênio, fósforo, potássio, alta carga de bactérias e micronutrientes como o Cu e Zn (AIRES et al., 2009). Do ponto de vista ecológico, este resíduo pode ser um poluente do solo e das águas superficiais e subterrâneas, o impacto ambiental pode ocorrer em diferentes formas e intensidades, de acordo com o manejo da cama de aviário adotado pelo agricultor.

De modo geral, a cama de frango apresenta elevados teores de ferro (Fe), Zn, Cd, Pb, Ni, Cr e Cu visto que estes elementos estão presentes na ração das aves (BROADLEY et al., 2007; SANTOS et al., 2004; MARCATO, 1997). Em contrapartida, alguns desses elementos potencialmente tóxicos também são considerados micronutrientes essenciais às plantas. Não raro, estes elementos acumulam-se nas camadas superficiais do solo, podendo assim ser perdidos por escoamento, ou ainda, absorvidos pelas plantas (RANGEL et al., 2006). Quando esta última situação ocorre, ultrapassando os limites permitidos, a planta acaba por acumular os elementos nas folhas e grãos, implicando diretamente em riscos a cadeia alimentar (RANGEL et al., 2006), sendo ele humano ou animal.

### 2.3 ELEMENTOS POTENCIALMENTE TÓXICOS

A presença desses elementos em solos pode ocorrer por causas naturais ou antropogênicas. Naturalmente os solos apresentam uma determinada concentração desses elementos e isso é função do material de origem, do grau de intemperismo e dos processos de formação. Em geral solos formados a partir de rochas básicas (basalto), como os que ocorrem no Terceiro Planalto Paranaense,

possuem teores mais elevados de metais em comparação com outros formados sobre granitos, arenitos e siltitos (OLIVEIRA, 1996; CAMPOS et al., 2003).

Somando-se aos aspectos naturais de formação do solo, as atividades antropogênicas, entre elas agrícolas e industriais, podem aumentar ainda mais esses teores, levando, em alguns casos, a contaminação dos solos.

Mesmo com a grande aplicabilidade do uso da cama de aviário no solo, especialmente pela presença de elementos essenciais às plantas, alguns fatores precisam ser considerados no momento de definição de doses e frequência de aplicação desse insumo, como a concentração máxima de elementos potencialmente tóxicos contidos no material. A determinação de valores orientadores da qualidade do solo deve ser dada em âmbito local, como recomenda o Conselho Nacional de Meio Ambiente (CONAMA) segundo a resolução CONAMA nº 420/2009. Porém, nem todos os estados possuem valores orientadores estabelecidos legalmente.

Neste quesito a resolução do CONAMA nº 420/2009 dispõe sobre valores totais de prevenção e teores de investigação agrícola (Tabela 1) para solos. O primeiro se refere a concentração de valor limite de determinada substância no solo, para que o solo seja capaz de manter as suas principais funções. O segundo valor (investigação) diz respeito a concentração de determinada substância no solo ou na água subterrânea acima da qual existem riscos potenciais, diretos ou indiretos, à saúde humana. O objetivo dessa resolução é buscar proteção à saúde humana e ambiental, evitando a contaminação do solo e das águas subterrâneas com elementos potencialmente tóxicos.

**Tabela 1** – Teores de Prevenção e Investigação Agrícola de alguns elementos químicos, para solos, conforme Resolução 420/2009 CONAMA.

<b>Elementos</b>	<b>Cd</b>	<b>Ni</b>	<b>Pb</b>	<b>Cr</b>	<b>Cu</b>	<b>Ba</b>	<b>Zn</b>
	----- mg kg <sup>-1</sup> -----						
<b>VP<sup>(1)</sup></b>	1,3	30	72	75	60	150	300
<b>Agrícola AP Max<sup>(2)</sup></b>	3	70	180	150	200	300	450

<sup>(1)</sup> Teor de Prevenção. <sup>(2)</sup> Teor de Investigação Agrícola.

Esses valores de referência podem ser usados como indicadores, porém são necessários alguns cuidados em função da grande diversidade de materiais de

origem presentes em solos brasileiros, que podem promover grandes diferenças de valores entre um solo e outro. Por conta disso, é importante que cada Estado estabeleça os seus limites. No entanto, esta Resolução pode ser considerada um avanço, pois antes da mesma era comum o uso de valores estabelecidos para regiões de clima temperado, que apresentam características diferentes do Brasil em termos de solo, clima e relevo.

A mobilidade dos elementos químicos no solo depende de várias características, como potencial hidrogeniônico (pH), a capacidade de troca catiônica (CTC), a quantidade de matéria orgânica, a competição iônica e tipo de minerais presentes na fração argila (ANDRADE, 2011).

O Cu é um elemento químico de transição, seu estado de oxidação mais abundante é  $\text{Cu}^{+2}$ . Pode ser encontrado na forma elementar no ambiente, destaca-se por ser um cátion muito versátil, com grande habilidade em interagir com componentes minerais e orgânicos do solo. Em consequência da forte adsorção aos colóides inorgânicos e orgânicos do solo e a formação de complexos estáveis com os ácidos húmicos e fúlvicos, o Cu apresenta baixa mobilidade e conseqüentemente, disponibilidade para as plantas (LOPES et al., 2006). Predominantemente encontrado em óxidos de Fe e Mn, hidróxidos de Fe e Al e argilas, mas pode precipitar com ânions sulfeto, carbonato e hidróxido, demonstrando assim sua relativa imobilidade no solo (KABATA-PENDIAS; PENDIAS, 2001). A deficiência do Cu pode impactar diretamente na perda de produção em várias culturas e seu excesso é tóxico as plantas, afetando a mineralização de resíduos vegetais e a fixação de nitrogênio em algumas culturas (BERON, 1992). As excretas dos animais e os fertilizantes são fontes de Cu para o solo.

O Zn é um elemento químico de transição, seu estado de oxidação mais comum é o  $\text{Zn}^{+2}$ . É um dos mais abundantes na crosta terrestre, não é encontrado na sua forma elementar no ambiente, é essencial ao metabolismo humano, com a capacidade de intervir no metabolismo de proteínas, carboidratos e ácidos nucleicos de animais e plantas. As interações químicas do Zn dependem diretamente de fatores como o pH do solo, os sítios de adsorção e o potencial redox. Assim, em meio ácido, a adsorção está ligada a sítios de troca catiônica, aonde seu potencial é reduzido, sendo mobilizado e lixiviado, mas em meio alcalino o mecanismo ocorre através da

quimiossorção (PRADO, 2008; ANDRADE 2011). As rochas graníticas e basálticas, assim como os calcários, são importantes fontes de zinco (KABATA-PENDIAS; PENDIAS, 2001). O Zn também está presente nos fertilizantes, assim como outros elementos potencialmente tóxicos (Cd, Cu, Cr, Ni, Pb). Por conta de sua baixa mobilidade, alguns desses elementos podem permanecer no solo e serem absorvidos pelas plantas (ABDEL-HALEEM et al., 2001).

O Ba é um metal alcalino terroso de ocorrência natural no solo, tende a formação com o sulfato ( $BaSO_4$ ), em decorrência de complexos solúveis com ácidos fúlvicos e húmicos. Realizam adsorção específica (óxidos de Fe e Mn) e não específica, assim somente uma quantidade muito pequena é disponibilizada efetivamente. O Ba liberado por intemperização é pouco móvel não apenas por precipitar facilmente como carbonato e sulfato, mas também por ser adsorvido fortemente por argilas, concentrado em concreções de Mn e P (ANDRADE, 2011). É considerado tóxico mesmo em pequenas quantidades, devido ao seu poder acumulativo nos organismos vivos (LIMA, 2011).

O Cd é um elemento de transição, se apresenta no estado de oxidação  $Cd^{+2}$ , é um elemento sem função biológica conhecida e é considerado um dos metais mais perigosos no ambiente, pois pode afetar seres humanos e outros seres vivos em concentrações relativamente baixas e tem sua maior parte associada à fração trocável do solo (OLIVEIRA, 2013). Em condições normais de pH (fracamente ácido), é um elemento que possui alta mobilidade no solo pelo fato de se adsorver fracamente a matéria orgânica, aos minerais de argila e óxidos. Para aumentar a adsorção é necessário elevar o pH do solo (ANDRADE, 2011), uma vez que em pH acima de 7 o Cd pode co-precipitar com  $CaCO_3$  ou precipitar com  $CdCO_3$ , reduzindo a sua mobilidade e disponibilidade às plantas. O material de origem é uma fonte natural de Cd, sendo que está mais presente em rochas sedimentares, onde seu teor pode chegar até  $10 \text{ mg kg}^{-1}$ . Por sua vez, em rochas ígneas ou metamórficas os teores são bem menores (KABATA-PENDIAS; PENDIAS, 2001). Na atividade agrícola são fontes de Cd os adubos fosfatados, os calcários, os pesticidas, os efluentes industriais e domésticos. Por ser um elemento móvel pode facilmente ser lixiviado e atingir o lençol freático causando danos ao ambiente.

O Cr é um elemento químico de transição, encontrado geralmente nas

valências  $\text{Cr}^{+6}$  (são fortes agentes oxidantes) e  $\text{Cr}^{+3}$  (são mais estáveis e importantes). A toxicidade e a mobilidade do Cr dependem de seu estado de oxidação, enquanto  $\text{Cr}^{+6}$  nas camadas superficiais do solo, é instável e solúvel, rapidamente reduzido à forma  $\text{Cr}^{+3}$  por complexos orgânicos, visto que é dependente do pH do solo e seu potencial de oxirredução, diminuindo consideravelmente sua disponibilidade (ANDRADE, 2011). O seu comportamento pode ser modificado pela formação de complexos orgânicos com o metal (KABATA-PENDIAS; PENDIAS, 1992), a pronta conversão de  $\text{Cr}^{+6}$ , forma solúvel do metal, para  $\text{Cr}^{+3}$ , forma insolúvel, é muito importante, pois é responsável pela baixa disponibilidade do elemento para as plantas (BERGMANN, 1992). Concentra-se nas raízes das plantas, devido a sua afinidade por cargas negativas. A toxicidade é observada através da inibição do crescimento, perda da clorofila nas folhas jovens, lesões necróticas e mau desenvolvimento das raízes (BERGMANN, 1992; KABATA-PENDIAS; PENDIAS, 1992).

O Ni é um elemento químico de transição de cor branco prateado, seu estado de oxidação é  $\text{Ni}^{+2}$ , origina-se de rochas magmáticas, porém dificilmente encontrado em seu estado elementar, fortemente reativo com o ar ambiente podendo inflamar. Possui a capacidade de migrar por longas distâncias no perfil do solo, interagindo com a matéria orgânica, óxidos amorfos e a fração argila, destes a matéria orgânica possui capacidade de absorver Ni e torná-lo imóvel (BERTON, 1992). Esse elemento é altamente dependente do pH do solo, com sua elevação menor será a disponibilidade (KABATA-PENDIAS; PENDIAS, 1992; ANDRADE, 2011). Os efeitos da toxidez podem causar listras nas folhas e, em casos mais severos, completa clorose (ausência de clorofila) (MATIAZZO-PREZOTTO, 1994; WILLIAMS, 1975).

O Pb é um metal brilhante, macio, denso de cor prateada, que apresenta o estado de oxidação  $\text{Pb}^{+2}$ . Ao sofrer oxidação na presença de ar, ficando com coloração azul esverdeada. Raramente encontrado na sua forma elementar. Geralmente se concentra nas camadas superficiais, devido a sua baixa mobilidade e solubilidade, além de não sofrer degradação microbiana (ADRIANO, 1986; SHEN, 1992; SILVA, 1995). Quando em solos com pH ácido ou próximo da neutralidade, tende a reagir com sulfato, mas também apresenta afinidade com os minerais de argila, óxidos e hidróxidos de Fe, Al, Mn e com a matéria orgânica. A disponibilidade desse elemento é diminuída consideravelmente, pois essas reações, na sua maioria

são insolúveis (BERTON, 1992; ALLOWAY, 1995; ANDRADE, 2011). Pode ser facilmente absorvido e acumulado nas diferentes partes das plantas, sua toxicidade é observada por fatores como murchamento e escurecimento das folhas, redução no crescimento e raízes curtas (KABATA-PENDIAS; PENDIAS, 1992).

Elementos potencialmente tóxicos podem afetar toda forma de vida dependendo da sua dose e forma química (GIMBERT et al., 2008). Dentre os elementos que originam intoxicações estão o Ba, Cd, Pb, Cr, com a capacidade de alterar as estruturas celulares, enzimas e suas atividades metabólicas (MIDELL, MUNDIS; 1996; AVILA-CAMPOS, 2008). Em contra partida elementos como Zn, Cu e Ni são considerados micronutrientes essenciais ao metabolismo dos organismos vivos, em carência ou excesso podem causar diversos distúrbios e em casos extremos, a morte (VIRGA et al., 2007).

Pensando na segurança alimentar e bem estar, em 26 de Março de 1965, a Agência Nacional de Vigilância Sanitária, pelo Decreto nº 55.871 (ANVISA, 1965), estipulou valores limitantes para contaminantes inorgânicos em alimentos (Tabela 2), exceto bebidas, refrescos, refrigerantes e sucos.

**Tabela 2** – Limite máximo de tolerância de metais pesados em alimentos regido pelo Decreto nº 55.871 (ANVISA, 1965).

Elementos	Sb	As	Cd	Pb	Cu	Cr	Sn	Hg	Ni	Se	Zn
	----- mg Kg <sup>-1</sup> -----										
<b>LMT<sup>(1)</sup></b>	2	1	1	0,8	30	0,1	250	0,05	5	0,30	50

<sup>(1)</sup> Limite máximo de tolerância.

FONTE: Anexo do decreto 55. 871, ANVISA (1965).

Portanto, cada vez mais se faz necessário, estudos sobre elementos potencialmente tóxicos, a fim de obter maiores informações à cerca do teor destes elementos nos mais diferentes compartimentos ambientais, suas fontes e seus efeitos tóxicos. Assim poderá subsidiar diferentes ações, com o objetivo de prevenir e mitigar quaisquer efeitos negativos seja nos seres vivos ou mesmo nos diversos tipos de solo (DE SANTANA MENEZES, 2014).

### 3 MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi implantado na área experimental da UTFPR/Campus Pato Branco, em junho de 2011. O solo da área é um Latossolo Vermelho distrófico típico, com a seguinte caracterização química inicial (Tabela 3):

**Tabela 3** – Caracterização química do solo da área experimental (Latossolo Vermelho Distrófico típico) na profundidade de 0-20 cm.

Prof. cm	MO g dm <sup>-3</sup>	P mg dm <sup>-3</sup>	K	Ca	Mg	Al	CTC	pH CaCl <sub>2</sub>	V %
			cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>						
0-20	58,7	13,2	0,38	4,9	2,2	0,28	13,4	4,6	46,4

O delineamento experimental é o de blocos ao acaso com quatro repetições. Os tratamentos consistem na aplicação anual, em superfície, desde 2011, de doses crescentes de cama de aviário, sempre antecedendo a cultura do inverno, caracterizando um sistema de inversão de adubação, nas seguintes quantidades (base úmida): 0, 4, 8 e 12 Mg ha<sup>-1</sup>.

O histórico de cultivos na área experimental foi: trigo/soja (safra 2011/12), trigo/soja (safra 2012/13), trigo/feijão (safra 2013/14), trigo/soja (safra 2014/15), aveia/milho (safra 2015/16). Para a safra 2016/17, alvo desse estudo, a sucessão de cultivos foi aveia (inverno) / milho (verão).

As aplicações de cama de aviário, nas doses descritas acima, foram feitas manualmente, na data de 01/05/2016. O teor de matéria seca da cama de aviário foi de 80%. Na tabela 3 é apresentada os teores de Cu, Zn, Pb, Cr, Ni, Ba e Cd da cama de aviário utilizada no ano de 2016.

**Tabela 4** – Teores pseudototais de elementos essenciais e potencialmente tóxicos presentes na cama de aviário.

Cu	Zn	Pb	Cr	Ni	Ba	Cd
----- mg kg <sup>-1</sup> -----						
59,76	490,29	1,85	10,94	7,08	63,43	0,14



Após aplicação em superfície da cama de aviário, foi realizada a semeadura da aveia preta IAPAR 61, no dia 19/05/2016 no sistema plantio direto, com densidade de 400 sementes/m<sup>2</sup>.

As plantas de aveia cresceram até o estágio de pleno florescimento quando foram cortadas rente ao solo (02/09/2016), utilizando-se um quadrado de 0,25 m<sup>2</sup>. O material foi seco em estufa a 60°C, até atingir peso constante, e moído para determinação dos elementos potencialmente tóxicos. A aveia foi dessecada para posterior semeadura do milho.

A semeadura do milho foi realizada no dia 26/09/2016, no sistema plantio direto, usando o híbrido simples PIONEER 30f53, com espaçamento entre linhas de 0,7 m e densidade de 85.000 plantas por hectare. O milho foi cultivado sem adubação, apenas aproveitando o residual da aplicação da cama de aviário. A colheita do milho foi realizada na data de 20/03/2017, onde foram colhidos três metros lineares de uma linha de cada subparcela. As espigas foram debulhadas e os grãos secos em estufa com circulação forçada de ar (60°C), até obtenção de massa constante. Após as amostras foram moídas para quantificação dos elementos potencialmente tóxicos.

Para o preparo das amostras (grãos de milho e as plantas de aveia) pesou-se 0,25g de material finamente moído, depositando-os no fundo dos tubos de teflon, próprios para forno micro-ondas, sendo adicionados 2 mL de peróxido de hidrogênio (pureza 30%) e 7 mL de ácido nítrico. Posteriormente os tubos foram fechados e submetidos ao forno micro-ondas, por 20 minutos, sendo 5 minutos de rampa de aquecimento até temperatura constante de 180°C, de forma intermitente por mais 15 minutos. As amostras permaneceram dentro do equipamento por mais 30 minutos na potência zero, permitindo seu resfriamento parcial. Após isso, em capela de exaustão, os tubos atingiram temperatura ambiente, sendo aberto, o extrato foi filtrado em papel filtro quantitativo. As amostras foram devidamente identificadas e armazenadas em frascos de polietileno. A quantificação dos teores pseudototais de Cu, Zn, Pb, Cr, Ni, Ba e Cd foi obtida por espectrometria de emissão óptica com plasma induzido (ICP-OES), marca VARIAN, modelo Agilent 720 – ES.

Imediatamente antes da implantação da cultura do milho, foram coletadas amostras de solo na camada superficial (0 – 5 cm), para quantificação dos teores pseudototais de Cu, Zn, Pb, Cr, Ni, Ba e Cd no solo, conforme método EPA

3051A (USEPA, 2007).

A determinação dos teores de Cu, Zn, Pb, Cr, Ni, Ba e Cd foi obtida por espectrometria de emissão óptica com plasma induzido (ICP-OES), marca VARIAN, modelo Agilent 720 – ES.

Os dados foram submetidos à homogeneidade da variância pelo teste de Bartlett, análise da normalidade dos dados pelo teste de Lilliefors e os efeitos das doses foram avaliados por análise de regressão, a 5% por meio do programa Assistat (Versão 7.7).

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1 TEORES PSEUDOTOTAIS DE ELEMENTOS POTENCIALMENTE TÓXICOS EM LATOSSOLO VERMELHO

Mesmo após seis anos de aplicações de cama de aviário, totalizando 72 Mg ha<sup>-1</sup> (base úmida) na maior dose, não foram observados efeitos sobre os teores de Cd, Ni, Pb, Cr e Cu, na camada de 0-5 cm de solo (Tabela 5).

**Tabela 5** – Teores pseudototais (média de quatro doses de cama de aviário) de Cd, Ni, Pb, Cr e Cu, na camada de 0-5 cm de solo, após seis anos de aplicação de cama de aviário.

Cd	Ni	Pb	Cr	Cu
----- mg kg <sup>-1</sup> -----				
0,67	7,60	18,49	42,69	52,56

Estes valores são inferiores aos níveis de referência definidos pela Resolução 420, de 28 de dezembro de 2009 pelo CONAMA (CONAMA, 2009) (Tabela 1), no entanto chama a atenção que, embora não tendo apresentado efeito das doses de cama de aviário, os teores de Cu no solo estão muito próximos a concentração de valor limite de determinada substância no solo, para que o solo seja capaz de manter as suas principais funções, a qual, conforme o CONAMA, é de 60 mg kg<sup>-1</sup>.

Na maior parte dos casos os teores desses elementos nos solos não representam riscos para o ambiente, por se manterem em concentrações abaixo das consideradas críticas. As atividades antropogênicas, como o uso de insumos agrícolas, entre eles a cama de aviário, podem aumentar as suas concentrações nos solos, porém, até o presente momento, o solo em questão não apresenta risco, muito embora se tenha que continuar monitorando os teores no solo.

A movimentação desses elementos no perfil do solo não depende unicamente das propriedades físico-químicas do íon metálico, mas também das características específicas de cada tipo de solo (ALLEONI et al., 2005; MERLINO et al., 2010). Assim sendo, a dinâmica dos elementos potencialmente tóxicos no solo, além de complexa, é influenciada pelos teores de MO, pelo pH e pela composição

mineralógica, incluindo o teor de argila. No solo em questão, o elevado teor de MO, a textura muito argilosa e a mineralogia caulinítica e oxídica podem ter favorecido a complexação dos metais. Através da adsorção específica (quimiossorção), ligando-se por grupos funcionais de superfície, sem a interposição de moléculas de H<sub>2</sub>O, formando assim complexos de esfera interna, onde os cátions metálicos não são trocáveis (MEURER, 2012).

MELO et al. (2016), comparando diversos métodos de extração ácida de metais pesados, destacam que para solos com elevada quantidade de caulinita, o método EPA 3051A dissolve as partículas com menor cristalização. Assim sendo, os teores quantificados neste estudo são “pseudototais”, pois o método utilizado não possui a capacidade ácida de quebrar a estrutura onde os elementos químicos estão aprisionados.

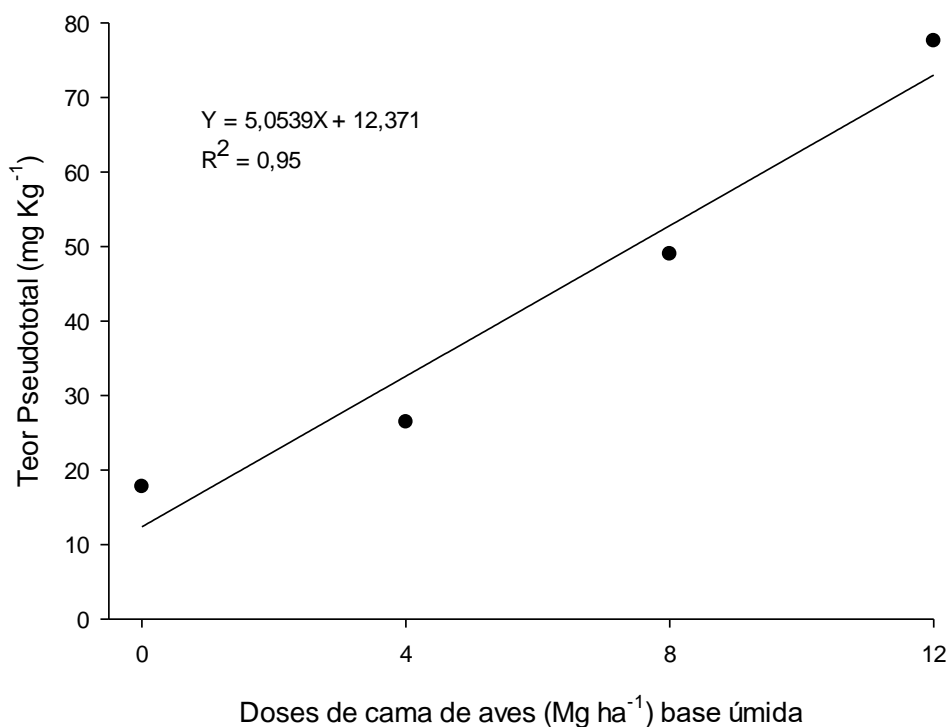
No entanto, nesse teor pseudototal estão incluídos tanto os íons metálicos que são facilmente trocáveis na relação fase sólida/solução, quanto aqueles retidos fortemente pela fase sólida do solo e que, por consequência, terão pouca movimentação no solo, bem como não estarão disponíveis para absorção pelas plantas e organismos. Desta forma, esses valores devem ser avaliados com cuidado como medida para quantificar a contaminação do solo e os riscos à saúde humana, sendo um indicador que apresenta limitações em termos de disponibilidade dos elementos no solo (ALVAREZ et al., 2006).

Em relação aos teores pseudototais de Zn, observou-se aumento linear dos mesmos com as doses de cama de aviário (Figura 1).

A aplicação anual de 12 Mg ha<sup>-1</sup>, durante seis anos, totalizando 72 Mg ha<sup>-1</sup>, aumentou o teor de Zn no solo em cerca de seis vezes, em relação a testemunha. Conforme a equação de regressão, os teores variaram de 12,37 à 74,22 mg kg<sup>-1</sup> e para cada Mg ha<sup>-1</sup> de cama de aviário aplicada corresponde um aumento de 5,05 mg de Zn kg<sup>-1</sup>.

A literatura é mais abundante para quantificação de macronutrientes no solo a partir da aplicação de cama de aviário, sendo menos comum resultados com micronutrientes como o Zn. No entanto, valores semelhantes de Zn no solo (26,34 a 70,12 mg Kg<sup>-1</sup>) a este trabalho foram encontrados por ANDRADE (2011) ao trabalhar com experimento de longa duração utilizando lodo de esgoto, com doses variando

entre 0 a 207,5 t ha<sup>-1</sup> em 13 anos consecutivos de aplicações em Latossolo Vermelho distrófico, textura média, do estado de São Paulo.



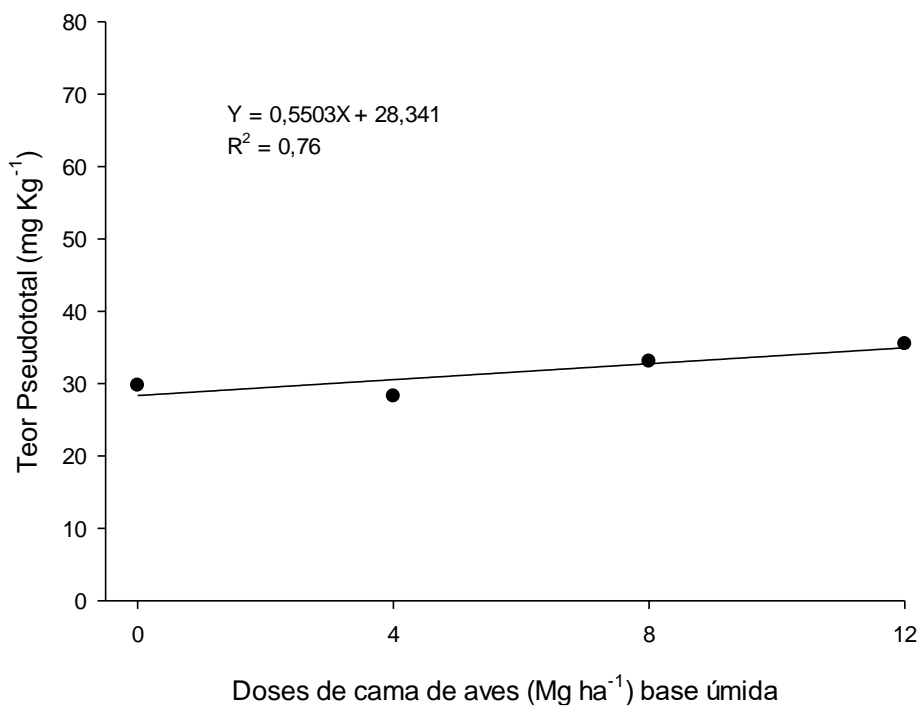
**Figura 1** – Teores pseudototais de Zn, na camada de 0-5 cm de solo, após seis anos de aplicação de níveis crescentes de cama de aviário.

Usando outro composto, após 17 aplicações sucessivas de dejetos líquidos de suínos, nas doses de 0, 20, 40 e 80 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup>, Girotto et al. (2010) observaram aumentos nos teores pseudototais de Zn no solo até 10 cm de profundidade, os quais variaram entre 23,72 mg kg<sup>-1</sup> (testemunha) a 43,16 mg kg<sup>-1</sup> (maior dose), num Argissolo Vermelho distrófico arênico. Esses autores também avaliaram as formas de Zn no solo submetido ao uso dos dejetos e destacaram que o Zn é especialmente armazenado no solo em formas biodisponíveis, principalmente na forma mineral, o que pode vir a ser uma preocupação caso seja absorvido pelas plantas em altas quantidades.

A composição química da cama de aviário apresenta alto teor de Zn (Tabela 4), o que pode explicar o aumento expressivo desse elemento no solo. No entanto, em que pese os altos valores, estes ainda encontram-se muito inferiores aos

limites preconizados pelo CONAMA (Tabela 1), não sendo motivo de preocupação de uma possível contaminação química do solo.

Os teores de Ba variaram entre 28,34 a 34,95 mg kg<sup>-1</sup>, entre o tratamento testemunha e a maior dose (Figura 2). Esse elemento possui baixa mobilidade no solo, visto que é facilmente precipitado na forma de carbonato e sulfato, sorvido em óxidos e hidróxidos, encontrado em maiores concentrações na parte superficial do solo (MERLINO et al., 2010; ANDRADE, 2011).



**Figura 2**– Teores pseudototais de Ba, na camada de 0-5 cm de solo, após seis anos de aplicação de níveis crescentes de cama de aviário.

Valores semelhantes foram encontrados por Andrade (2011) e Merlino et al. (2010) em experimento de longa duração, utilizando como material orgânico base o lodo de esgoto. São escassos estudos de longa duração com aplicação de cama de aviário em solos brasileiros. A avaliação de elementos potencialmente tóxicos em condições de campo é relevante, principalmente, na busca do efeito dinâmico desses elementos químicos que foram incorporados ao solo via aplicações sucessivas de

cama de aviário. São esses experimentos que fornecem subsídios na manutenção da qualidade dos solos.

A exemplo dos outros elementos, os teores de Ba no solo, após seis anos de aplicações sucessivas de cama de aviário, estão abaixo dos valores de referência preconizados pelo CONAMA (Tabela 1).

É notório que os teores pseudototais dos elementos químicos estudados neste trabalho, quando comparados com os valores norteadores, tanto para prevenção quanto para o limite de investigação agrícola da Resolução 420 CONAMA (CONAMA, 2009), apresentam-se abaixo dos teores pré-determinados. Assim sendo, mesmo após seis anos de aplicação de cama de aviário, o solo se encontra livre de contaminação por elementos potencialmente tóxicos.

No entanto, faz-se necessário avaliações em outras profundidades, além da camada superficial, para verificar se existe acúmulo de algum desses ou de outros elementos potencialmente tóxicos e que possa propiciar condições de fitotoxicidade às plantas, além de riscos à saúde humana e/ou animal.

#### 4.2 TEORES PSEUDOTOTAIS DE ELEMENTOS POTENCIALMENTE TÓXICOS EM PLANTAS DE AVEIA

O protocolo deste experimento completou seis anos. Desta forma, na maior dose de cama de aviário já foram aplicados 72 Mg ha<sup>-1</sup> (base úmida) ao longo desses anos. No entanto, não observou-se efeitos significativos para os teores pseudototais de Cu, Ni, Pb, Zn, Cd e Ba (Tabela 6) em plantas de aveia.

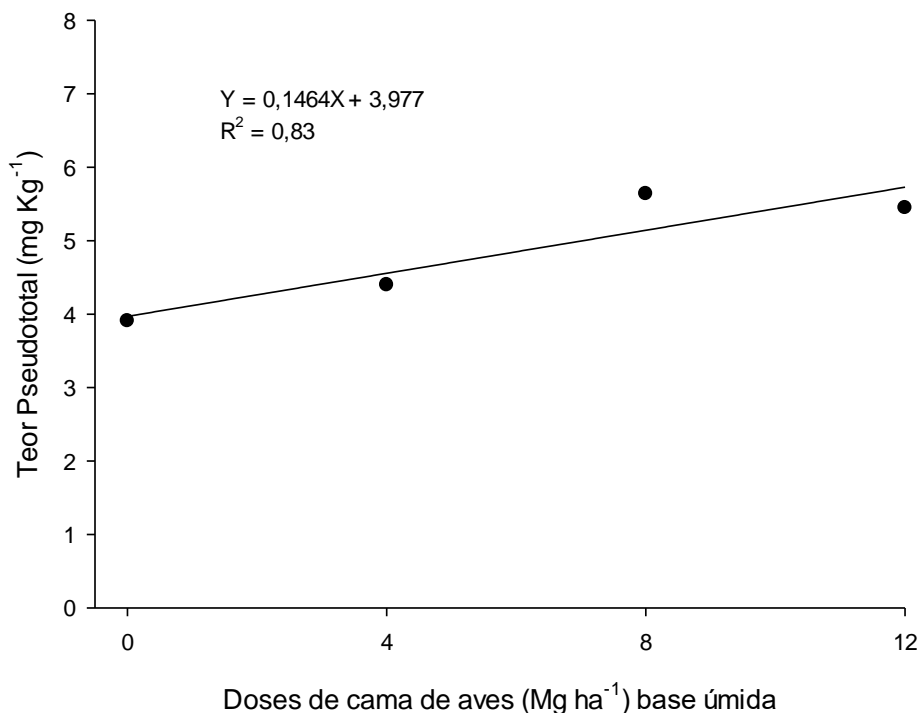
**Tabela 6** – Teores pseudototais (média de quatro doses de cama de aviário) de Cu, Ni, Pb, Zn, Cd e Ba, em plantas de aveia (colmo e folhas), após seis anos de aplicação de cama de aviário.

<b>Cu</b>	<b>Ni</b>	<b>Pb</b>	<b>Zn</b>	<b>Cd</b>	<b>Ba</b>
----- mg kg <sup>-1</sup> -----					
9,30	1,34	0,29	24,83	0,07	11,60

A dinâmica dos elementos potencialmente tóxicos no solo, além de complexa, é influenciada pelos teores de MO, pelo pH e pela composição

mineralógica. No solo em questão, o elevado teor de MO, a textura muito argilosa e a mineralogia caulinitica e oxídica podem ter favorecido a complexação dos metais. Desse modo, a maioria dos elementos possui uma concentração muito pequena fitodisponível, ou seja, que efetivamente serão absorvidos e acumulados nas plantas.

Porém, as concentrações de Cr em plantas de aveia aumentaram linearmente com as doses de cama de aviário, cujos teores variaram de 3,97 a 5,73 mg Kg<sup>-1</sup>, conforme a equação de regressão (Figura 3). Para cada Mg ha<sup>-1</sup> de cama de aviário aplicada corresponde um aumento de 0,14 mg kg<sup>-1</sup> de Cr em plantas de aveia. Esse fato demonstra um efeito significativo na absorção desse elemento em relação às aplicações de cama de aviário.



**Figura 3** – Teores Pseudototais de Cr em função de diferentes doses de cama de aves, em plantas de aveia (colmo e folhas), após seis anos de aplicação.

Os valores de Cr em plantas de aveia (folha+colmo), mesmo no tratamento testemunha, sem aplicação de cama de aviário, estão muito acima dos preconizados pela ANVISA, que é de 0,1 mg kg<sup>-1</sup> para qualquer alimento. A grande preocupação é que a aplicação de cama de aviário, durante seis anos, aumentou ainda mais esses valores já considerados altos.



FAVERSANI (2015) ao trabalhar com diferentes fontes orgânicas e mineral em Argissolo Vermelho distrófico arênico, encontrou valor médio de 0,55 mg Cr Kg<sup>-1</sup> em plantas de aveia preta, assim como FREITAG et al. (2010) que obtiveram teores de 0,77 mg Cr Kg<sup>-1</sup> ao utilizar lodo de esgoto em Latossolo vermelho distrófico, valores consideravelmente inferiores aos encontrados neste trabalho.

Em que pese todos os outros elementos analisados não tenham aumentado com a aplicação da cama de aviário, basta um deles encontrar-se em níveis inadequados para causar algum tipo de problema em relação ao consumo deste alimento por humanos ou animais. É importante ficar atento com variações nos teores de Cr em plantas de aveia adubadas com cama de aviário, uma vez que McBride (1994) destaca que teores de Cr em plantas entre 5-30 mg kg<sup>-1</sup> são considerados tóxicos. Neste trabalho os valores de Cr já ultrapassaram 5 mg kg<sup>-1</sup> de Cr em plantas de aveia adubadas anualmente com 12 Mg ha<sup>-1</sup> de cama de aviário (Figura 3).

#### 4.3 TEORES PSEUDOTOTAIS DE ELEMENTOS POTENCIALMENTE TÓXICOS EM GRÃOS DE MILHO

O grão de milho é o principal componente das rações utilizadas na avicultura brasileira. A silagem de grãos de milho também é muito utilizada na bovinocultura de leite e de corte. Na alimentação humana, o milho pode ser usado de várias formas, sendo um produto muito versátil na culinária brasileira. Em geral, a concentração de elementos potencialmente tóxicos nos grãos é menor em relação as partes vegetativas das plantas (BERTON, 2000).

Na análise conjunta do experimento, observou-se não haver efeito significativo da aplicação de níveis crescentes de cama de aviário, durante seis anos consecutivos, sobre os teores de Cu, Ni, Zn e Cr (Tabela 7), em grãos de milho. Elementos como Ba, Cd e Pb também foram avaliados, porém não foram detectados nos grãos de milho.

**Tabela 7** – Teores pseudototais (média de quatro doses de cama de aviário) de Cu, Ni, Zn e Cr, em grãos de milho, após seis anos de aplicação de cama de aviário.

Cu	Ni	Zn	Cr
----- mg kg <sup>-1</sup> -----			
1,78	0,72	19,72	0,16

O acúmulo desses elementos varia em função da espécie vegetal, bem como em relação às distintas partes da planta. Para Zn, sabugos e folhas de milho foram fontes de maior acúmulo do elemento; para Ni e Cu, sabugos, grãos e raízes acumularam maiores quantidades; enquanto que para Cr os sabugos e os grãos foram órgãos de acúmulo preferencial (PIERRISNARD, 1996).

YADA (2014) apresentou resultados semelhantes ao trabalhar com lodo de esgoto por 16 anos em Latossolo Vermelho distrófico, com teores médios de 19,39 mg Kg<sup>-1</sup> para o Zn, 1,43 mg Kg<sup>-1</sup> para o Cu, porém para o Ni os valores foram superiores, sendo em média de 1,19 mg Kg<sup>-1</sup>. REIS (2014), ao conduzir pesquisas em Latossolo Vermelho eutroférico que recebeu por 15 anos aplicações de lodo de esgoto, apresentou resultados similares para o teor de Cr que foi de 0,18 mg Kg<sup>-1</sup>.

Para Cu, Ni e Zn os valores médios encontrados estão dentro dos limites de tolerância para elementos inorgânicos, preditos como aceitáveis para comercialização e consumo humano (ANVISA, 1965) (Tabela 2). Contudo, o Cr, elemento de maior preocupação, devido a sua toxicidade, já está com valor médio superior ao permitido pela legislação, inviabilizando assim, esse produto para uso em alimentos.

Não foram encontrados trabalhos que quantifiquem os teores de elementos potencialmente tóxicos em distintos órgãos da planta a partir da aplicação de cama de aviário. O fato dos valores encontrados em grãos de milho estar abaixo do limite crítico permitido pela legislação, para a maior parte dos elementos analisados, corrobora com os resultados encontrados por Rangel et al. (2006), que trabalharam com doses crescentes de lodo de esgoto e, após três aplicações sucessivas, também concluíram que os valores nos grãos de milho, para Zn, Ni, Pb e Cu, estão dentro de uma faixa aceitável para consumo humano.

## 5 CONCLUSÕES

A aplicação de cama de aviário ao solo, durante seis anos, promoveu aumentos nos teores pseudototais de Zn e Ba, porém estes encontram-se abaixo dos valores de referência, não sendo constatada contaminação química do solo. Os demais elementos avaliados, Cd, Ni, Pb, Cr e Cu não foram influenciados pelas doses de cama de aviário.

A aplicação de cama de aviário, durante seis anos, aumentou linearmente os teores de Cr em plantas de aveia, porém para os elementos Cu, Ni, Pb, Zn, Cd e Ba não houve efeito significativo.

Embora as aplicações anuais sucessivas de cama de aviário não tenham causado acúmulo de elementos potencialmente tóxico nos grãos de milho, os teores de Cr estão acima dos permitidos para consumo humano, inviabilizando este como produto alimentício.

## REFERÊNCIAS

ABDEL-HALEEM, A.S.; SCROON, A.; EL-BAHI, S.M.; ZOHNY, E. Heavy metals and rare earth elements in phosphate fertilizer components using instrumental nêutron activation analysis. *Applied Radiation and Isotopes*, v.55, p.569-573, 2001.

ACCIOLY, A.M.A.; SIQUEIRA, J.O. Contaminação química e biorremediação do solo. In: *Tópicos Especiais em Ciência do Solo – Volume 1*. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2000. p.299-352.

ADRIANO, D.C. Trace elements in the terrestrial environment. New York, Springer-Vrlag, 1986. 147p.

AIRES, A.M.A. Biodigestão anaeróbia da cama de aviários de corte com ou sem separação das frações sólida e líquida. 2009. 134f. Dissertação (Mestrado em Zootecnia) – Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Jaboticabal, 2009.

ALBUQUERQUE R.; MARCHETTI, L. K.; FAGUNDES A. C. A.; BITTENCOURT L. C.; TRINDADE NETO M. A. LIMA F. R. Efeito de diferentes densidades populacionais e do sexo sobre o desempenho e uniformidade em frangos de corte. In: *Brazilian Journal of Veterinary Research Animal Science*. São Paulo, v. 43, n. 5, p. 581-587, 2006.

ALLEONI, L.R.F.; IGLESIAS, C.S.M.; MELLO, S.C.; CAMARGO, O.A.; CASAGRANDE, J.C.; LAVORENTI, N.A. Atributos do solo relacionados à adsorção de cádmio e cobre em solos tropicais. *Acta Scientiarum Agronomy*, v. 27, n. 4, p. 729-737. (2005).

ALLOWAY, B.J.; AYRES, D. C. Chemical principles of environmental pollution 2 ed. London: Chapman & Hall, 1997. 395p.

ALVAREZ, J.M.; LOPEZ-VALDIVIA, L.M.; NOVILLO, J.; OBRADOR, A. & RICO, M.I. Comparison of EDTA and sequential extraction tests for phytoavailability prediction of manganese and zinc in agricultural alkaline soils. *Geoderma*, v.132, p.450–463, 2006.

ANDRADE, M. G. Elementos-traço As, Ba, Cd, Cr, Cu, Hg, Mo, Ni, Pb, Se e Zn em latossolos e plantas de milho após treze aplicações anuais de lodo de esgoto. 2011. Tese (Doutorado em Agronomia/Ciência do Solo) – Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, Jaboticabal.

AVILA, V.S., OLIVEIRA, U., FIGUEIREDO, E.A.O., COSTA, C.A.F., ABREU, V.M.N., ROSA, P.S. Avaliação de materiais alternativos em substituição à maravalha como cama de aviário. *Revista Brasileira de Zootecnia*. v.37, n.2, p.273-277, 2008.

AVILA-CAMPOS, Mário Júlio; Metais Pesados e Seus Efeitos; [www.mundodoquimico.hpg.com.br](http://www.mundodoquimico.hpg.com.br); 2008.

BERGMANN, W. Nutritional disorders of plants: developments, visual and analytical diagnosis. New York: Gustav Fischer Verlag Jena, 1992. 7 BERGMANN, W. Nutritional disorders of plants: developments, visual and analytical diagnosis. New York: Gustav Fischer Verlag Jena, 1992. 741 p.41 p.

BERTON, R. S. Fertilizantes e poluição. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE FERTILIDADE DO SOLO E NUTRIÇÃO DE PLANTAS, 20., 1992, Piracicaba. Anais... Campinas: Fundação Cargill, 1992. 425 p.

BROADLEY, M.R.; WHITE, P.J.; HAMMOND, J.P.; ZELKO, I.; LUX, A. Zinc in plants. *New Phytologist* v.173, n.4, p.677-702, 2007.

CAMPOS, M.L.; PIERANGELI, M. A. P.; GUILHERME, I. R. G.; MARQUES J. J.; CURI, N. Baseline concentration of heavy metals in Brazilian latosols. *Communications in soil science and plant analysis*, v.32, p.547-557, 2003.

CONAMA - Conselho Nacional do Meio Ambiente. Resolução Nº 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. *Diário Oficial da República Federativa do Brasil*, Brasília, DF, 31 de dezembro de 2009. <<http://www.mma.gov.br/port/conama/res/res09/res42009.pdf>>. Acesso: 21/04/2017.

CORRÊA, J.C.; MIELE, M. A cama de aves e os aspectos agrônômicos, ambientais e econômicos. In: PALHARES, J.C.P.; KUNZ, A. (Ed.). *Manejo ambiental na avicultura*, 2011. Concórdia: Embrapa Suínos e Aves, 2011. p. 125-152. (Embrapa Suínos e Aves. Documentos, 149).

DE SANTANA MENEZES, F. J. Avaliação da concentração dos metais pesados na água do lago de sobradinho – BA. 2014. 96 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal do Vale do São Francisco, Campus Juazeiro – BA.

IBGE, INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Normas de apresentação tabular. Rio de Janeiro, 1993. 60 p. Disponível em: <<http://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/monografias/GEBIS - RJ/normastabular.pdf>>. Acesso em: 17 dez. 2017.

FARIDULLAH, M. I. *et al.* Characterization of trace elements in chicken and duck litter ash. *Waste Management*, v. 29, n. 1, p. 265-271, 2009.

FAVERSANI, J. C. Metais pesados em solo e plantas em área com histórico de

aplicações de fontes orgânicas e mineral de nutrientes. 2015. 37. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria – RS.

FREITAG, E. E.; BÜLL, L. T. ; CORRÊA, J. C. ; BACKES, C. ; MIGGIOLARO, A. E. ; CRUSCIOL, C. A. C. Teor de metais pesados na cultura da aveia preta em função da aplicação superficial de resíduos urbanos e industriais, no Sistema Plantio Direto. In: FERTBio 2010, 2010, Guarapari, ES. FERTBio 2010. Viçosa, MG: SBCS, 2010.

GIROTTI, E.; CERETTA, C.A.; BRUNETTO, G.; SANTOS, D.R.; SILVA, L.S.; LOURENZI, C.R.; LORENSINI, F.; VIEIRA, R.C.B.; SCHMATZ, R. Acúmulo e formas de cobre e zinco no solo após aplicações sucessivas de dejetos líquidos de suínos. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.34, p.955-965, 2010.

GONZALES, E.; CAFÉ, M. B.; LEANDRO, N. S. M. Boas práticas no uso de medicamentos pela indústria avícola. In: PALERMO, J.; SPINOSA, H. S.; GÓRNIK, S. L. (Ed.). *Farmacologia Aplicada à Avicultura*, cap. 18, p. 265-285. São Paulo: Roca, 2005.

GIMBERT, F.; VIJVER, M. G.; COUERDASSIER, M.; SCHEIFLER, R.; PEIJNENBURG, W. J. M.; BADOR, P-M; VAUFLEURY, A. How Subcellular Partitioning Can Help to Understand Heavy Metal Accumulation and Elimination Kinetics in Snails; *Environmental Toxicology & Chemistry*; Vol. 27 (6): 1284-1292; June; 2008.

HE, Z. L.; YANG, X. E.; STOFFELLA, P. J. Trace elements in agroecosystems and impacts on the environment. *Journal of Trace Elements in Medicine and Biology*, v.19, n. 2-3, p.125–140, 2005.

HIGARASHI, Martha M. et al . Concentração de macronutrientes e metais pesados em maravalha de unidade de suínos em cama sobreposta. *Rev. bras. eng. agríc. ambient.*, Campina Grande , v. 12, n. 3, p. 311-317, June 2008 . Available from <[http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1415-43662008000300013&lng=en&nrm=iso](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1415-43662008000300013&lng=en&nrm=iso)>. access on 13 Aug. 2018. <http://dx.doi.org/10.1590/S1415-43662008000300013>.

IPARDES. [http://www.ipardes.gov.br/biblioteca/docs/bol\\_39\\_1\\_c.pdf](http://www.ipardes.gov.br/biblioteca/docs/bol_39_1_c.pdf). Acesso em 28/02/2018.

KABATA-PENDIAS, A.; PENDIAS, H. 3 ed. Trace elements in soils and plants. Boca Raton: CRC Press, 2001. 413p.

KABATA-PENDIAS, A. & PENDIAS, H. Trace elements in soils and plants. Flórida: CRC Press, 1992. 365p.

LANA, G. R. Q. Avicultura. Ed. Rural. Recife: UFRPE, 2000.

LIMA, E. S. A. Dinâmica do Bário em solos que receberam Baritina. 2011. Dissertação (Mestrado em Agronomia/Ciência do Solo) – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, RJ.

MALEKI, A.; ZARASVAND, M. A. Heavy metals in selected edible vegetables and estimation of their daily intake in Sanandaj, Iran. *The Southeast Asian Journal of Tropical Medicine and Public Health*, v. 39, n. 2, p. 335-340, 2008.

MARCATO, S. M. Efeito da Restrição alimentar sobre a excreção dos minerais nos dejetos produzidos pelos suínos. 1997. 64 P (Dissertação Mestrado)- Universidade Federal de Pelotas , Pelotas , 1997.

MATIAZZO-PREZOTTO, M.E. Comportamento de cobre, cádmio, cromo, níquel e zinco adicionados a solos de clima tropical em diferentes valores de pH. Piracicaba; Tese (Livre Docência) – Universidade de São Paulo. Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz. 1994.

MELO, V. F; BATISTA, A. H; GILKES, R. J; RATE, ANDREW W. Relationship between heavy metals and minerals extracted from soil clay by standard and novel acid extraction procedures. *Environmental Monitoring and Assessment (Print) JCR*, v. 188, p. 668, 2016.

MERLINO, Luciana Cristina Souza et al . Bário, cádmio, cromo e chumbo em plantas de milho e em latossolo após onze aplicações anuais de lodo de esgoto. *Rev. Bras. Ciênc. Solo*, Viçosa , v. 34, n. 6, p. 2031-2039, Dec. 2010 . Available from <[http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S010006832010000600027&lng=en&nrm=iso](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S010006832010000600027&lng=en&nrm=iso)>. access on 23 July 2018. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-06832010000600027>.

MEURER, E. J. Fundamentos de Química do Solo. 5. ed. Porto Alegre: Evangraf, 2012.

MINDELL, E.; MUNDIS, H. Vitaminas: guia prático das propriedades e aplicações. Trad. R. J. Schneider. São Paulo: Melhoramentos. Viver com saúde. 1996.

OLIVEIRA, T.S. Metais pesados como indicadores de materiais de origem de solos. 1996. 128f. Tese (Doutorado) - Universidade Federal de Viçosa.

OLIVEIRA, V.H. CONCENTRAÇÃO DE BASE E RISCO ECOTOXICOLÓGICO DE CÁDMIO EM SOLOS. 2013. 111f. Tese (Doutorado) – Instituto Agrônomo de Campinas/SP.

PIERRISNARD, F. Impact de l' amedment dès boues residuaires de la ville de Marseille sur de sols a vocation agricole: comportement du Cd, Cr, Cu, Ni, Pb e Zn, deshydrocarbures et des composes polares. Marseille, Université de Marseille, 1996. 408p. (Tese de Doutorado).

PRADO, R. M. Nutrição de plantas. São Paulo: Editora UNESP, 2008. 407 p.

RANGEL, O.J.P.; SILVA, C.A.; BETTIOL, W.; DYNIA, J.F. 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.

REIS, H.P.O; RODRIGUES, E.A.; LEITÃO, R.A. Avaliação de diferentes tipos de cama na criação de frangos de corte. II Seminário Iniciação Científica – IFTM, Campus Uberaba, MG. 20 de outubro de 2009.

REIS, Iolanda Maria Soares. Cádmiu, cobre e cromo em solo e plantas de milho após quinze anos de aplicações anuais de lodo de esgoto. 2014. iv, 58 p. Tese (doutorado) - Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, 2014.

SCHWAB, A. P.; HE, Y.; BANKS, M. K. The influence of organic ligands on the retention of lead in soil. Chemosphere, Amsterdam, v.61, p.856–866, 2005.

TERRON PU. 1992. Tratado de fitotecnia general. 2ed. Madrid. 895p.

UDOM B. E.; MBAGWU, J. S. C.; ADESODUN, J. K.; AGBIM, N. N. Distribution of zinc, copper, cadmium and lead in a tropical Ultisol after long-term disposal of sewage sludge. Environmental International, v.30, p.467–470, 2004.

UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY- USEPA. acid Digestion of Sediments, Sludges, and Soils. p. 1-12. 2007.

VIRGA, Rossana Helena Pitta; GERALDO, Luiz Paulo; SANTOS, Fabiana Henrique dos. Avaliação de contaminação por metais pesados em amostras de siris azuis. Ciênc. Tecnol. Aliment., Campinas , v. 27, n. 4, p. 779-785, dez. 2007 . Disponível em <[http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0101-20612007000400017&lng=pt&nrm=iso](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0101-20612007000400017&lng=pt&nrm=iso)>. acessos em 21 jul. 2018. <http://dx.doi.org/10.1590/S0101-20612007000400017>.

WILLIAMS, J.H. Use of sewage on agricultural land and the effects of metals on crops. Water Pollut Control , v. 74, p. 635-44, 1975.

YADA, Marcela Midori. Metais pesados, atributos químicos e bioquímicos em latossolos e plantas de milho após aplicação de lodo de esgoto por dezesseis anos consecutivos. 2014. ix, 88 p. Tese (doutorado) - Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias de Jaboticabal, 2014. Disponível em: <<http://hdl.handle.net/11449/121929>>.