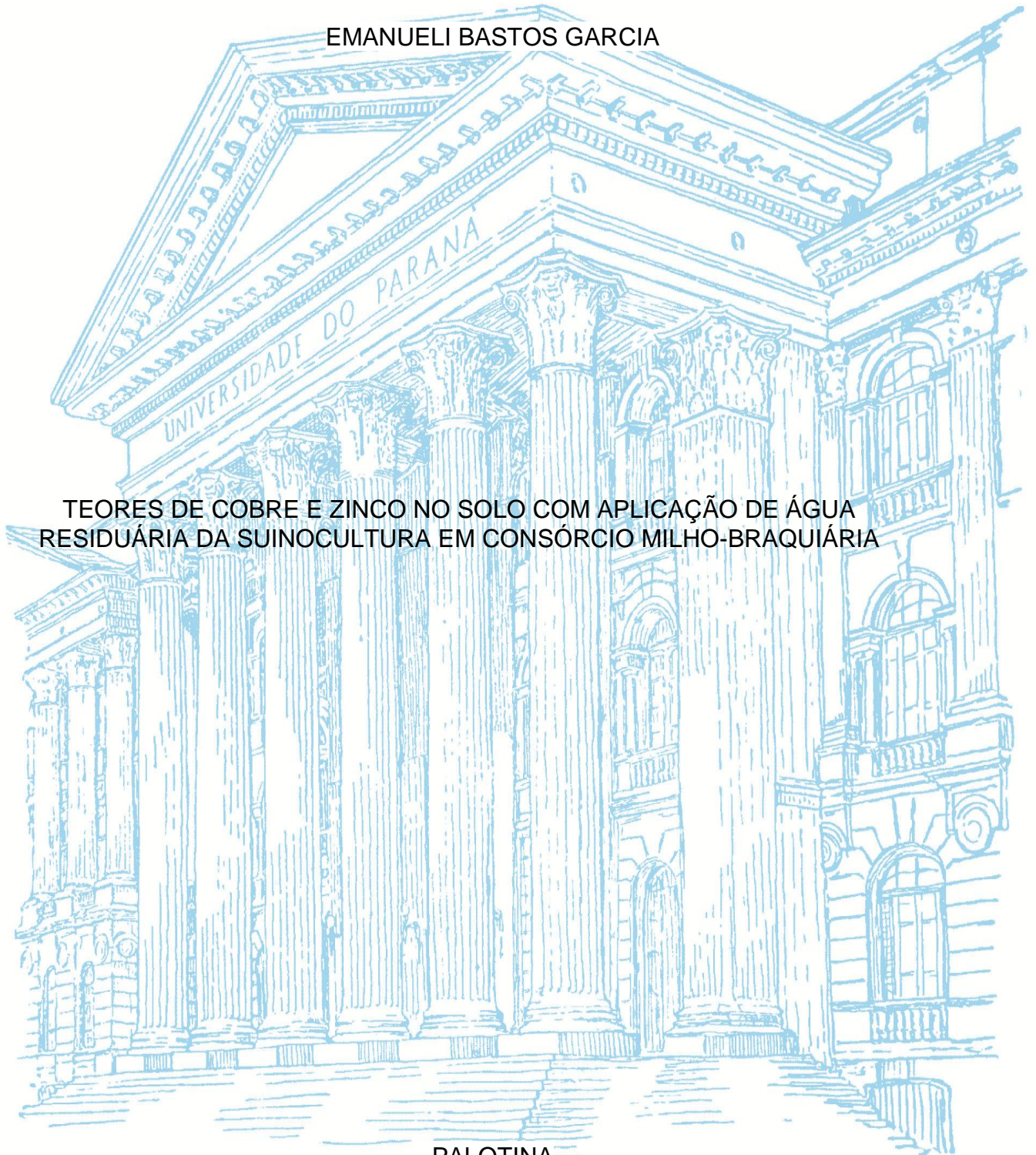


UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

EMANUELI BASTOS GARCIA

TEORES DE COBRE E ZINCO NO SOLO COM APLICAÇÃO DE ÁGUA
RESIDUÁRIA DA SUINOCULTURA EM CONSÓRCIO MILHO-BRAQUIÁRIA



PALOTINA
2015

EMANUELI BASTOS GARCIA

TEORES DE COBRE E ZINCO NO SOLO COM APLICAÇÃO DE ÁGUA
RESIDUÁRIA DA SUINOCULTURA EM CONSÓRCIO MILHO-BRAQUIÁRIA

Trabalho de conclusão de curso apresentado a
Universidade Federal do Paraná, como parte das
exigências para obtenção de título de Engenheira
agrônoma.

Orientador: Prof. Dr. Jonathan Dieter

PALOTINA
2015

TERMO DE APROVAÇÃO

EMANUELI BASTOS GARCIA

TEORES DE COBRE E ZINCO NO SOLO COM APLICAÇÃO DE ÁGUA
RESIDUÁRIA DA SUINOCULTURA EM CONSÓRCIO MILHO E
BRAQUIÁRIA

Trabalho apresentado como requisito parcial à obtenção do grau de
Engenheira Agrônoma no curso de Agronomia, pela seguinte banca
examinadora:



Prof. Dr. Jonathan Dieter
Orientador – Departamento de Engenharia e Exatas
Universidade Federal do Paraná- Setor Palotina – UFPR



Prof. Dr. Elisandro Pires Frigo
Docente – Departamento de Engenharia e Exatas
Universidade Federal do Paraná- Setor Palotina – UFPR



Prof. Dr. Wilson Luís Kunz
Docente – Departamento de Ciências Agrônomicas
Universidade Federal do Paraná- Setor Palotina – UFPR

Palotina, 15 de dezembro de 2015

Dedico este trabalho a meus avôs, Gercindo e Antônio, que durante essa caminhada fizeram uma longa viagem para se tornarem os anjos mais amados do céu e continuar torcendo por mim ao lado de Deus.

AGRADECIMENTO

Primeiramente a Deus por estar presente em todos os momentos da minha vida, trazendo força e alegria na realização de meus sonhos.

A meus pais por ser a razão da minha existência, pelo amor e confiança a mim depositados durante toda essa caminhada.

A meu orientador pela dedicação e amizade durante a realização dessa pesquisa e especialmente por todos os anos de orientação durante a graduação.

Aos meus professores por transmitirem seus conhecimentos e experiências, me apoiando e incentivando em todas as dificuldades.

A meu irmão e toda minha família pelo apoio e paciência em todos esses anos.

Aos meus colegas de projeto pela ajuda, incentivo e amizade durante a realização de todas as etapas desde trabalho.

Aos meus amigos pelo carinho e por estarem sempre ao meu lado em todas as experiências vividas nestes anos.

A meu namorado por estar sempre presente, pela ajuda, incentivo e principalmente por me entender.

E a todos que de alguma forma contribuíram para esta conquista e acreditaram em mim, meu muito obrigada!

“Você nunca sabe que resultados virão da sua ação. Mas se você não fizer nada, não existirão resultados.”

Mahatma Gandhi

RESUMO

Os metais pesados em elevadas concentrações no solo podem gerar sérios problemas ambientais devido a um acúmulo excessivo desses elementos ao longo dos anos, neste contexto estão sendo alvo de estudo pelo mundo. Tendo em vista as relações entre os metais pesados em solos cultivados com a aplicação de dejetos animais gerados pela atividade criatória e as concentrações de Cobre (Cu^{+2}) e Zinco (Zn^{+2}) nas rações de suínos, o objetivo deste trabalho foi avaliar os teores de metais pesados no solo com a aplicação de água residuária da suinocultura (ARS) em consórcio milho e braquiária. O experimento foi conduzido sob o delineamento experimental de parcelas subdivididas, em que foram utilizados cinco níveis de adubação, sendo eles em quatro doses de ARS (0, 25, 50 e $100 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$) e adubação mineral (NPK), e duas formas de cultivo (consórcio milho-braquiária e cultivo solteiro de milho). Os dados obtidos foram submetidos à análise de variância com comparação de médias pelo teste Tukey ao nível de 5% de significância. Os resultados mostram que os teores de Cu^{2+} e Zn^{2+} no solo foram significativamente influenciados pelos fatores consórcio e adubação. Ocorrendo interação entre os níveis dos fatores que tendem a interferir nos teores dos dois elementos no solo. De maneira que, as concentrações de Zn^{2+} tendem a decrescer com o aumento da profundidade e o Cu^{2+} a apresentar um acréscimo em seus teores à medida que percola no perfil do solo.

Palavras-chave: ARS. Metais pesados. Consórcio milho-braquiária.

ABSTRACT

The heavy metals in high concentrations in soil can generate serious environment problems due excessive accumulation of these elements over the years, in this context they are aim of study all around the globe. Given the links between heavy metals in soils with the application of animal manure generated by stock breeding activity and concentrations from Copper (Cu^{2+}) and Zinc (Zn^{2+}) in pig's feed, the aim of this study was to evaluate the heavy metal content in the soil with the application of swine wastewater (ARS) in consortium corn and pasture. The experiment was conducted under the slit-plot experimental design in which they were used five levels of fertilization, namely in four ARS doses (0, 25, 50 and $100 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$) and mineral fertilizer (NPK), and two kinds of farming (corn consortium signal grass and corn cropping). The data was submitted to analysis of variance with comparison of means by Tukey test at 5% significance. The results demonstrate that the levels of Cu^{+2} and Zn^{+2} in the soil were significantly influenced in associated cropping and fertilizing factors. Interaction occurs between factors levels that interfere in soil elements levels. Then the Zn^{+2} concentrations tends to decrease with depth and Cu^{+2} level increases to present an increase in measurement that percolates in the soil profile.

Key words: ARS. Heavy Metals. Consortium Corn and Pasture.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO REFERENCIADA	9
2. OBJETIVOS	11
2.1 OBJETIVO GERAL	11
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	11
3. METODOLOGIA	12
3.1 LOCALIZAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA	12
3.2 DELINIAMENTO EXPERIMENTAL	12
3.3 TRATAMENTO	12
3.4 CONDUÇÃO DO EXPERIMENTO	13
3.4.1 Preparo do solo	13
3.4.2 Coleta e aplicação da água residuária da suinocultura	13
3.4.3 Cultivar	14
3.4.4 Semeadura	14
3.5 AMOSTRAGEM DE SOLO	15
3.6 ANÁLISE DO SOLO	15
3.7 TRATAMENTO ESTATÍSTICO	16
4. RESULTADOS E DISCUSSÕES	18
5. CONCLUSÃO	26
REFERÊNCIAS	27
ANEXO	30

1. INTRODUÇÃO REFERENCIADA

Devido aos problemas ambientais oriundos das elevadas concentrações de metais pesados no solo, estes estão sendo alvo de diversas pesquisas pelo mundo. Tais elementos podem ter origem do intemperismo do material de origem, porém o processo antrópico é representado como o principal contaminante do solo, pela adição de agroquímicos, resíduos de animais e humanos e pela atividade industrial e mineração. Pouco se conhece sobre as relações entre os metais pesados com a aplicação de dejetos animal gerado pela atividade criatória que é de grande importância no Brasil, principalmente na região sul (BASSO *et al.*, 2012).

O crescente número de animais por empreendimento tem levado a uma elevada produção de dejetos e conseqüentemente, maiores doses aplicadas deliberadamente ao solo em áreas cultivadas, o que vem resultando num aumento de áreas com excedentes de nutrientes (BISSANI, 2014). Os dejetos suínos, ao contrário dos fertilizantes químicos, mostram-se numa composição variável e desbalanceada de nutrientes em relação ao demandado pelas culturas (BENEDET, 2014). Uma vez que as concentrações de Cobre (Cu^{2+}) e Zinco (Zn^{2+}) são elevadas nas rações de suínos, objetivando prevenir doenças e melhorar a digestão, também são elevadas no dejetos líquido produzido esperando ao longo dos anos um acúmulo excessivo desses elementos no solo (SOARES E BARROS *et al.*, 2013).

O Cobre e o Zinco geralmente se encontram no solo na forma disponível para as plantas de Cu^{2+} e Zn^{2+} (Krauskopf, 1972). São considerados micronutrientes para as plantas, mas também são metais pesados e por serem altamente reativos e não estarem em sua forma pura na natureza podem apresentar baixa disponibilidade às plantas. De acordo com Benedet (2014), também são classificados como elementos traços sendo sua biodisponibilidade e mobilidade dependentes da capacidade do solo em adsorvê-los, da sua concentração na solução, do tipo de associação com outras espécies iônicas solúveis, da condição geoquímica da solução e da força iônica (BENEDET, 2014).

O Cobre em solos com elevada concentração de matéria orgânica (MO) pode se tornar escasso para a planta devido à formação de complexos muito estáveis com a MO (MARTINS, 2005). O pH elevado no solo também causar

escassez do elemento em sua forma disponível para as planta (KABATA-PENDIAS & PENDIAS, 2001).

Segundo Wang & Harrell (2005) o acúmulo de metais pesados na interface da solução do solo concorre pelo sitio de adsorção das partículas minerais e orgânicas. Uma vez aplicados ao solo torna-se improvável sua completa remoção e apesar de serem essenciais para as plantas podem se tornar tóxicos (BASSO *et al.*, 2012), além da possível contaminação da cadeia alimentar por meio de plantas fitotxicadas ou pela contaminação da água, por escoamento superficial ou subsuperficial desses elementos atingindo mananciais (CHANG *et al.* 1987).

Quando em concentrações tóxicas no solo Cu^{2+} e Zn^{2+} podem causar diferentes respostas as plantas como encontrado por Silva *et al.* (2014) em seus estudos com plantas de arroz e soja, observando que a fitotoxicidade inibiu o crescimento das plantas que, conseqüente, apresentaram deficiência de Fe na parte aérea. O Zinco é o micronutriente mais essencial para a cultura do milho. Porém cultivando milho em solo contaminado com Zn^{2+} , Cunha *et al.* (2012) obteve resultados comprovando que em altas concentrações o elemento causa fitotoxidez a cultura que passa a apresenta folhas com clorose internerval e marginal, seguida de necrose nas margens e ápice foliar.

Já o Cobre quando em altas concentrações pode causar toxidez as plantas, animais e ao homem. Nas plantas pode gerar manchas aquosas nas folhas que posteriormente evoluem para necrose, diminuição do crescimento e ramificação, assim como desfolhamento e, principalmente, diminuição do sistema radicular. A ingestão excessiva por animais pode levar ao acúmulo de cobre nos tecidos especialmente no fígado causando intoxicação. O mesmo acontece no homem causando lesões no fígado, além de problemas hepáticos e renais, irritação das mucosas e do sistema nervoso podendo evoluir para depressão (MANTOVANI, 2009).

Em razão do potencial que os metais pesados possuem em tornarem-se tóxicos quando em altas concentrações e pela escassez de estudos com analogia as concentrações dos metais pesados pelo uso de água residuária da suinocultura (ARS), este trabalho tem por objetivo avaliar os teores de Cu^{2+} e Zn^{2+} no solo com aplicação de ARS e a influência do consorcio milho e braquiária nos teores de metais pesados no solo.

2. OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

O presente trabalho teve como objetivo avaliar os teores de metais pesados no solo com aplicação de água residuária da suinocultura em consorcio milho-braquiária.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- avaliar os teores de Cu^{2+} no solo;
- avaliar os teores de Zn^{2+} no solo;
- verificar a influência do consorcio milho-braquiária sobre os teores de metais pesados no solo.

3. METODOLOGIA

3.1 LOCALIZAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA

O experimento foi conduzido no distrito de Vila Nova, no município de Toledo-PR, com localização geográfica 24W 33' 56", 53S 48' 20" e altitude de 516 metros. O clima é do tipo subtropical úmido (Cfa), com precipitação média anual de 1600-1800 mm, verões quentes, geadas pouco frequentes e tendência de concentração das chuvas nos meses de verão, contudo, sem estação seca definida. O município apresenta temperatura média de 21 a 22° C e a umidade relativa do ar média é de 75 a 80% (IAPAR, 2014). O solo da área é classificado como Latossolo vermelho eutroferrico (EMBRABA, 2013).

3.2 DELINEAMENTO EXPERIMENTAL

O delineamento estatístico utilizado foi o de parcelas subdivididas. Considerando como fator A o sistema de cultivo, consórcio de milho com braquiária (*Brachiaria ruziziensis*) e milho (*Zea mays*) solteiro. E como fator B, doses de adubação de ARS e fertilizante químico (NPK). As parcelas foram arranjadas em Delineamento Inteiramente Casualizado (DIC), constituído de 30 parcelas com dimensões de 3m x 3,6m, totalizando 10,8m². Conforme croqui apresentado em anexo neste trabalho.

3.3 TRATAMENTO

Foram avaliados dois fatores, sendo eles: consórcio ou não de milho com braquiária e doses de adubação (orgânica e mineral). O fator consórcio (A) foi empregado em dois níveis, milho consorciado com braquiária e milho solteiro ou sem

braquiária. Outro fator avaliado foi à adubação (B) esta em cinco níveis, quatro doses de água residuária da suinocultura (0, 25, 50 e 100 m³ ha⁻¹) sem aplicação de adubo mineral e uma dose de adubação mineral (NPK) seguindo recomendação.

3.4 CONDUÇÃO DO EXPERIMENTO

3.4.1 Preparo do solo

A gleba utilizada para a implantação do experimento possui alta aptidão para agricultura e vinha sendo empregada para a produção de grãos sob o manejo de plantio direto com sucessão da cultura de soja e milho safrinha.

3.4.2 Coleta e aplicação da água residuária da suinocultura

A ARS foi coletada da saída da lagoa de estabilização da granja de terminação, também localizada no distrito de Vila Nova. As doses de ARS foram aplicadas de forma manual com auxílio de regadores, sendo as quantidades aplicadas nas parcelas de 0, 27, 54 e 108 L para as doses de 0, 25, 50 e 100 m³ ha⁻¹, respectivamente. Durante a aplicação tomou-se os devidos cuidados para que toda a água aplicada infiltrasse no solo sem ocorrer escoamento superficial. A ARS foi caracterizada quanto aos seus aspectos químicos e biológicos, segundo metodologia de APHA (1995), cujos resultados e interpretações quanto ao nível de concentração (baixo, médio e alto) são apresentados na tabela 1.

TABELA 1 - CARACTERIZAÇÃO DA ARS APLICADA

Parâmetros	Unidade	Resultados*
Nitrogênio	g/L	9,13
Fósforo	g/L	0,59
Potássio	g/L	3,2
Cálcio	g/L	10,24
Magnésio	g/L	2,78
Enxofre	g/L	6,51
Carbono	g/L	5,11
Matéria Orgânica	g/L	8,78
Cobre	mg/L	19,16
Zinco	mg/L	30,44
Manganês	mg/L	607,2
Boro	mg/L	8,91
PH		7,1

*análise inicial da ARS realizada pela laborsolo;

3.4.3 Cultivar

Na instalação do experimento foi utilizada a cultivar de milho precoce Dow AgroSciences 2B587PW com tecnologia PowerCore™ no controle das principais lagartas da cultura do milho, apresentando níveis de germinação de 85% e cultivar de *Bráquiaria ruziziensis* variedade *ruziziensis*.

3.4.4 Semeadura

Realizou-se semeadura mecanizada do milho com densidade de 5,8 plantas m^{-1} , espaçamento de 0,9 m entre linhas e 4 cm de profundidade, obtendo um estande final de 64.400 plantas ha^{-1} . O plantio da braquiária nas parcelas consorciadas foi feito a lanço uma semana após a semeadura do milho entre as linhas de plantio usando 3 kg de sementes/ha em profundidade de 1 cm.

3.5 AMOSTRAGEM DE SOLO

A amostragem foi realizada em duas etapas, uma na entressafra antes da aplicação dos tratamentos e semeadura das culturas e outra após a colheita, com propósito de comparação. Com auxílio de trado de corte foram coletadas, em cada etapa, 30 subamostras nas profundidades de 0-10, 10-20 e 20-30 centímetros.

Após a coleta as amostras foram secas a sombra em local ventilado e armazenadas em condições ideais no laboratório de recursos hídricos da Universidade Federal do Paraná setor Palotina onde permaneceram até a realização das análises.

3.6 ANÁLISE DO SOLO

Para determinação de Cu^{+2} e Zn^{+2} no solo foi utilizado o extrator Mehlich-1 de acordo com a metodologia da EMBRAPA (SILVA, 2009) a qual recomenda a extração na relação 1:5 (solo:extrator) para micronutrientes. As amostras de solo foram previamente moídas com auxílio de liquidificador e peneiradas em peneira 2 mm obtendo uma quantidade considerável de Terra fina seca ao ar (TFSA). Posteriormente armazenadas no laboratório, foram pesadas em balança analítica 5 g de cada amostra de TFSA e transferidas para copos plásticos de 150 mL, adicionando em seguida 25 mL da solução de Mehlich-1 anteriormente preparada.

No preparo da solução duplo ácida de Mehlich-1, seguindo a metodologia para Análises de laboratório da UNIOESTE (LANA *et al.*, 2010), primeiramente preparou-se a solução de HCl 1 mol L⁻¹, transferindo 83 mL de HCl concentrado (37%) para frasco de 1000 mL e completando o volume com água destilada. Logo em seguida foi preparada a solução de H₂SO₄ 1 mol L⁻¹, transferindo 27,7 mL de H₂SO₄ concentrado (96%) para frasco de 1000 mL e completando o volume com água destilada. Por fim, para o preparo da solução de Mehlich-1 (H₂SO₄ 0,025 mol L⁻¹ + HCL 0,25 mol L⁻¹) foram adicionados a um balão de 1000 mL, 25 mL da solução de H₂SO₄ 1 mol L⁻¹ mais 50 mL da solução de HCl 1 mol L⁻¹ e completando o volume com água destilada.

Os copos contendo solo mais solução extratora foram colocados em mesa agitadora onde permaneceram por 5 minutos em agitação em velocidade de 120 rpm e em seguida decantando por uma noite. Após a decantação, a suspensão foi pipetada para copos plásticos de 50 mL e filtrada em papel filtro qualitativo, transferindo o filtrado para tubos de ensaio de vidro com tampas de plástico. As amostras foram armazenadas em geladeira e posteriormente levadas em caixas de isopor até a Universidade do Oeste do Paraná (UNIOESTE) na cidade de Cascavel para análise de espectrometria de absorção atômica. Os resultados obtidos foram representados conforme os níveis de interpretação de micronutrientes no solo extraídos com extrator Mehlich-1.

Uma amostra de solo inicial da camada de 0-20 cm também foi encaminhada para caracterização química e biológica do solo e são representados na tabela 2.

TABELA 2 - CARACTERIZAÇÃO INICIAL DO SOLO NA CAMADA DE 0-20 CM

Parâmetros	Unidade	Resultados*	Interpretação
pH CaCl ₂		4.50	
Ferro	mg/dm ³	25.95	Médio
Manganês	mg/dm ³	268.10	Alto
Cálcio	Cmol _c /dm ³	2.95	Médio
Magnésio	Cmol _c /dm ³	1.13	Alto
Potássio	Cmol _c /dm ³	0.32	Alto
Alumínio	Cmol _c /dm ³	0.58	Médio
H + Alumínio	Cmol _c /dm ³	7.76	Alto
Soma de bases	Cmol _c /dm ³	4.40	Médio
C T C pH 7.0	Cmol _c /dm ³	12.16	Alto
Carbono	g/dm ³	16.00	Alto
M. Orgânica	g/dm ³	27.52	Alto
Sat. Alumínio	%	11.65	Médio
Sat. Bases	%	36.18	Baixo

*análise inicial do solo realizada pela laborsolo;

3.7 TRATAMENTO ESTATÍSTICO

Para a análise dos dados obtidos, realizou-se uma análise descritiva dos dados, com verificação da normalidade dos erros e os resultados submetidos à

análise de variância com comparação de médias pelo teste Tukey ao nível de 5% de significância.

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Teores de Cobre (Cu^{2+}) no solo

Na tabela 3 são apresentados os resultados dos teores médios de Cu^{2+} inicial no solo antes da condução do experimento, para as profundidades de 0-10, 10-20 e 20-30 cm.

TABELA 3 - TEORES INICIAIS DE COBRE NO SOLO

Camadas (cm)	Resultados (mg ha^{-1})	Disponibilidade
0-10	1,9438	Média
10-20	2,2035	Média
20-30	2,4451	Alto

Os resultados da análise inicial do solo onde o experimento foi implantado mostra que as camadas de 0-10 e 10-20 cm apresentavam média disponibilidade de Cu^{2+} no solo, já para a camada de 20-30 cm os teor é considerado alto (COELHO, 2006).

Na tabela 4 são apresentados os valores da análise de variância (ANOVA) quanto os teores de Cu^{2+} nas camadas de 0-10, 10-20 e 20-30 cm de profundidade em relação ao consorcio milho e braquiária (fator A) e os níveis de adubação (fator B). Também é apresentada a interações entre os fatores.

Nota-se que os teores de Cu^{2+} no solo foram significativamente influenciados pelos fatores consórcio e adubação. Sendo a interação entre os fatores significativa a 5% de probabilidade pelo teste F nas profundidades de 0-10 e 20-30 cm, esta pode ser melhor observada com o desdobramento da interação na tabela 4.

É possível analisar que o consorcio milho-braquiária apresentou diferença significativa em relação ao milho solteiro em todas as profundidades, sendo muito significativa nas camadas superficiais de 0-10 e 10-20 cm em nível de 5% de significância pelo teste F. Observando em todas as profundidades que os teores de Cu^{2+} foram maiores nas parcelas consorciadas com braquiária (tabela 5).

TABELA 4 - ANÁLISE DE VARIÂNCIA PARA OS TEORES DE Cu^{2+}

FV	GL	SQ	QM	F
0-10 cm				
Consórcio – (A)	1	2.99890	2.99890	41.8040 **
Resíduo – (A)	4	0.28695	0.07174	
Parcelas	5	3.28585		
Adubações – (B)	4	2.32945	0.58236	4.5311 *
AxB	4	2.08114	0.52028	4.0481 *
Resíduo – (B)	16	2.05642	0.12853	
Total	29	9.75286		
10-20 cm				
Consórcio – (A)	1	3.90479	3.90479	71.0169 **
Resíduo – (A)	4	0.21994	0.05498	
Parcelas	5	4.12473		
Adubações – (B)	4	2.19892	0.54973	3.4930 *
AxB	4	1.71862	0.42966	2.7300 ns
Resíduo – (B)	16	2.51809	0.15738	
Total	29	10.56036		
20-30 cm				
Consórcio – (A)	1	2.53892	2.53892	8.3963 *
Resíduo – (A)	4	1.20954	0.30238	
Parcelas	5	3.74845		
Adubações – (B)	4	2.26162	0.56541	2.7965 ns
AxB	4	2.98049	0.74512	3.6854 *
Resíduo – (B)	16	3.23495	0.74512	
Total	29	12.22551		

ns: não significativo a 5 % de probabilidade; *: significativo a 5 % de probabilidade; 0-10 cm: Dados não normais (p-valor 0,005) pelo Teste de Shapiro-Wilk, CV (A)= 46.91%, CV (B)= 58.94 %; 10-20 cm: Dados não normais (p-valor 0.005) pelo Teste de Shapiro-Wilk, CV (A)= 13.21%, CV (B)= 22.34; 20-30 cm: Dados normais (p-valor 0.084) pelo Teste de Shapiro-Wilk, CV (A)= 29.87%, CV (B)= 24.42%;

O fator adubação apresentou diferença estatística entre os níveis nas camadas de 0-10 e 10-20 cm. Os menores teores na camada de 0-10 cm foram encontrados nas subparcelas com cultivo de milho solteiro, para doses de 0, 25 e 100 $\text{m}^3 \text{h}^{-1}$ não apresentando diferença estatística a 5% de probabilidade pelo teste Tukey. Já na camada de 10-20 cm, onde não ocorreu interação entre adubação e consorcio, o teor de Cu^{2+} foi menor no nível de 0 $\text{m}^3 \text{ha}^{-1}$, porém não apresenta diferença significativa das dosagens de ARS de 25, 50 e 100 $\text{m}^3 \text{ha}^{-1}$.

Com o aumento da profundidade nas parcelas consorciadas observa-se uma crescente concentração no teor de Cu^{2+} . Apesar dos teores de Cu ter baixa mobilidade no solo, os resultados podem ser explicados pela provável influência dos

resíduos orgânicos encontrados na superfície do solo na imobilização do elemento, como foi observado por Sherer *et al.* (2010) em solo de mata.

TABELA 5 - DESDOBRAMENTO DA INTERAÇÃO ENTRE CONSÓRCIO X ADUBAÇÃO PARA Cu^{2+} NO SOLO (mg ha^{-1})

Consórcio (A)	Adubações (B)					Média
	0 ¹	25 ¹	50 ¹	100 ¹	NPK	
0-10						
Sem Braquiária	0.7480 bB	0.8103 bB	1.7566 aA	1.2935 bAB	2.1270 aA	1,3470
Com Braquiária	1.8562 aA	1.9679 aA	2.0102 aA	2.1381 aA	1.9247 aA	1.9794
Média	1,3021	1.3891	1.8833	1.7157	2.0258	
10-20						
Sem Braquiária	1.0328	1.0811	1.5512	1.0892	2.3202	1.4149 b
Com Braquiária	2.0122	2.1310	1.9468	2.3253	2.2669	2.1364 a
Média	1.5225 b	1.6060 ab	1.7490 ab	1.7072 ab	2.2935 a	
20-30						
Sem Braquiária	1.7294aAB	0.7359 bB	1.6337aAB	1.2200 bB	2.4320 aA	1.5501
Com Braquiária	1.9176 aA	2.3686 aA	1.9468 aA	2.1461 aA	2.2810 aA	2.1320
Média	1.8234	1.5522	1.7902	1.6830	2.3564	

¹= $\text{m}^3 \text{ha}^{-1}$ de ARS; Médias seguidas pela mesma letra minúscula na linha e maiúscula na coluna não diferem entre si pelo teste de tukey ao nível de 5 % de probabilidade; 0-10 cm: dms (a) = 0.58; dms (b) 0.90; 10-20cm: dms (a) =0.24; dms (b)= 0.70; 20-30cm: dms (a) = 0.80; dms (b) =1.12;

Na camada de 0-10 cm das parcelas consorciadas, os teores de Cu^{2+} no solo foram crescentes à medida que se aumentou as concentrações de ARS nos níveis de adubação. Teores crescentes também foram observados conforme o aumento da profundidade do perfil de solo, para a dose de NPK tanto nas parcelas consorciadas como nas cultivadas com milho solteiro. O mesmo foi observado na dose de $25 \text{ m}^3 \text{ha}^{-1}$ nas parcelas com cultivo consorciado.

Apesar de ocorrer percolação crescente no solo, também foi observada uma grande variação deste elemento dentre as camadas do perfil do solo, essa variação ocorre pela alta afinidade deste elemento por compostos orgânicos solúveis em solução, não interagindo com os colóides do solo e circulando pelos macroporos que possuem parede protetora, impossibilitam a interação (GRÄBER *et al.*, 2005).

Nota-se que não houve diferença estatística entre os níveis de adubação nas parcelas com consórcio entre milho e braquiária. O que pode ser explicado pela

alta concentração de matéria orgânica dissolvida no dejetos e no solo pelo volume de palhada remanescente do consórcio (HSU & LO, 2000).

Na camada de 0-10 cm, onde ocorreu interação entre os fatores A e B, é possível notar que os níveis de adubação de 0 e 25 m³ ha⁻¹ apresentam diferença significativa dos demais níveis, exibindo teores menores do elemento. Sendo os teores de Cu²⁺ menos elevados nas parcelas não consorciadas com braquiária. Menores teores de Cu²⁺ nas parcelas não consorciadas, também foram observados na camada de 20-30 cm, onde houve interação entre os fatores. Neste caso, foram os níveis de 25 e 100 m³ ha⁻¹ que apresentam diferença significativa para o fator consórcio.

Teores baixos quanto a disponibilidade de Cu²⁺ no solo foram encontrados nas parcelas com cultivo de milho solteiro na camada de 0-10 cm e que não receberam adubação (0 m³ ha⁻¹) e na camada de 20-30 com dose de adubação de 25 m³ ha⁻¹ (COELHO, 2006). Dentro da condição de alto teor de Cu²⁺ no solo, se enquadram os teores da camada de 20-30 cm das parcelas não consorciadas e que receberam aplicação do nível de adubação de 100 m³ ha⁻¹, teores estes com potencial de se tornarem tóxicos no solo ao longo de sucessivas aplicações da dosagem. Os demais valores permaneceram dentro dos níveis de média disponibilidade de Cu²⁺ no solo.

Também foi observado que os teores Cu²⁺ em todas as profundidades, exceto para camada de 0-10 cm consorciada, encontram-se abaixo dos teores iniciais. E que os teores encontrados independente do tipo de cultivo, apesar de apresentarem variações no decorrer do perfil do solo, continuaram a acompanhar o acréscimo nos teores do elemento com o aumento da profundidade, assim como na análise inicial do solo.

Teores de Zinco (Zn^{2+}) no solo

Na tabela 6 são apresentados os resultados dos teores médios de Zn^{2+} inicial no solo, para as profundidades de 0-10, 10-20 e 20-30 cm. Os resultados da análise inicial do solo mostram que antes da implantação do experimento os teores de Zn^{2+} na camada de 0-10 cm se encontravam com disponibilidade média no solo. Já nas profundidades de 10-20 e 20-30 cm a disponibilidade do elemento no solo é considerada baixa (COELHO, 2006).

TABELA 6 - TEORES INICIAIS DE ZINCO NO SOLO

Profundidade (cm)	Resultados ($mg\ ha^{-1}$)	Disponibilidade
0-10	1,6187	Alto
10-20	0,7482	Baixo
20-30	0,4173	Baixo

Na tabela 6 são apresentados os valores da análise de variância (ANOVA) quanto aos teores de Zn^{2+} nas camadas de 0-10, 10-20 e 20-30 cm de profundidade, em relação ao consórcio (fator A) e aos níveis de adubação (fator B). Também são apresentadas as interações entre os fatores.

Observa-se que os teores de Zn^{2+} no solo foram significativamente influenciados pelos fatores consórcio e adubação. Sendo a interação entre os fatores muito significativa, a 5% de probabilidade pelo teste F, para a profundidade de 0-10 cm.

TABELA 7 - ANÁLISE DE VARIÂNCIA PARA OS TEORES DE Zn²⁺

FV	GL	SQ	QM	F
0-10				
Consórcio – (A)	1	20.4722	20.4722	35.2377 **
Resíduo – (A)	4	2.3239	0.5809	
Parcelas	5	22.7961		
Adubações – (B)	4	8.8443	20.4722	9.4075 **
AxB	4	6.6014	0.5809	7.0217 **
Resíduo – (B)	16	3.7605		
Total	29	42.0025		
10-20				
Consórcio – (A)	1	5.3790	5.3790	13.7734 *
Resíduo – (A)	4	1.5621	0.3905	
Parcelas	5	6.9412		
Adubações – (B)	4	0.8526	0.2131	1.7508 ns
AxB	4	0.6307	0.1576	1.2952 ns
Resíduo – (B)	16	1.9479	0.1217	
Total	29	10.3724		
20-30				
Consórcio – (A)	1	0.1436	0.1436	0.5194 ns
Resíduo – (A)	4	1.1059	0.2764	
Parcelas	5	1.2495		
Adubações – (B)	4	2.0612	0.5153	1.1809 ns
AxB	4	2.2841	0.5710	1.3086 ns
Resíduo – (B)	16	6.9821	0.4363	
Total	29	12.5771		

ns: não significativo a 5 % de probabilidade; *: significativo a 5 % de probabilidade; 0-10cm: Dados não normais (p-valor 0.021) pelo Teste de Shapiro-Wilk, CV (A)= 38.55%, CV (B)= 24.52%; 10-20cm: Dados normais (p-valor 0.051) pelo Teste de Shapiro-Wilk, CV (A)= 56.77%, CV (B)= 31.70%; 20-30 cm: Dados não normais (p-valor 0.015) pelo Teste de Shapiro-Wilk, CV (A)= 46.91%, CV (B)= 58.94%;

O consórcio com braquiária apresentou diferença significativa em relação ao cultivo de milho solteiro nas profundidades de 0-10 e 10-20 cm, sendo muito significativa na camada superficial do perfil do solo de 0-10 cm pelo teste F a 5% de probabilidade. Observando maiores teores de Zn²⁺ nas parcelas sem consórcio com braquiária (tabela 8). Esses teores podem ser explicados pelo alto acúmulo de zinco nas plantas de braquiária, aproximadamente 20 mg kg⁻¹ (CECCON, 2013).

Já quanto à adubação esta expressou diferença estatística entre as doses aplicadas apenas na profundidade de 0-10 cm, sendo o menor teor encontrado no nível 50 m³ há⁻¹ sem consórcio com braquiária, porém só apresentou diferença pelo teste Tukey a 5% significância da dosagem de NPK.

TABELA 8 - DESDOBRAMENTO DA INTERAÇÃO ENTRE CONSÓRCIO X ADUBAÇÃO PARA Zn²⁺ NO SOLO (mg ha⁻¹)

Consórcio (A)	Adubações (B)					Média
	0 ¹	25 ¹	50 ¹	100 ¹	NPK	
0-10						
Sem Braquiária	2.4920 aB	3.1310aAB	3.1589 aAB	4.0802aA	1.1552aC	2.8034
Com Braquiária	1.2415 bA	0.9294 bA	0.7560 bA	1.6585bB	1.1710aA	1.1513
Média	1.8667	2.0302	1.9574	2.8693	1.1631	
10-20						
Sem Braquiária	1.6253	1.4811	1.4660	1.9777	1.0714	1.5243 a
Com Braquiária	0.5577	0.5613	0.6478	0.8568	0.7635	0.6774 b
Média	1.0914 a	1.0212 a	1.0569 a	1.4172 a	0.9174 a	
20-30						
Sem Braquiária	1.4716	0.9603	1.3422	0.9732	0.5111	1.0516 a
Com Braquiária	0.8756	1.9806	1.2584	0.8719	0.9637	1.1900 a
Média	1.1736 a	1.4704 a	1.3003 a	0.9225 a	0.7374 a	

¹= m³ ha⁻¹ de ARS; Médias seguidas pela mesma letra minúscula na linha e maiúscula na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5 % de probabilidade; 0-10cm :dms (A) =0.9490; dms (B) =0.9490; 10-20 cm:dms (A) = 0.9490; dms (B)= 0.61822; 20-30 cm: dms (A) =0.53356; dms (B) =1.17044;

Quanto à interação observada na camada de 0-10 cm, nota-se para o fator B que à medida que as concentrações de ARS aumentam é crescente os teores de Zn²⁺ em cultivo de milho solteiro. Já quanto ao fator A este apresentou diferença significativa a 5% de probabilidade pelo teste Tukey, nos doses de 0 m³ ha⁻¹ e NPK. O que mostra que a as doses de ARS não influenciaram nos teores de Zn²⁺ no cultivo de milho solteiro e consorciado.

À medida que a profundidade do perfil do solo aumentou de 0-10, 10-20 a 20-30 cm foi notado um decréscimo nos teores de Zn²⁺ no solo no cultivo de milho solteiro para todos os níveis de adubação. Isso se explica devido à característica do Zn adicionados ao solo via dejetos de suínos apresentam pouca mobilidade, acumulando-se em maiores quantidades nas camadas superficiais, sem maiores riscos ambientais por lixiviação (SHERER *et al.*, 2010).

Deficiência de Zn²⁺ segundo Coelho (2010), foi observada na profundidade se 10-20 cm não consorciada para todos os níveis de adubação. Assim, como na profundidade de 20-30 cm em parcelas não consorciadas para as doses de 25 e 100 m³ ha⁻¹ e NPK. E nas parcelas consorciadas que receberam a doses de 0 e 100

$\text{m}^3 \text{ha}^{-1}$ de ARS. Essa deficiência pode ter ocorrido em função da alta concentração e extração de Zn pelas plantas de braquiária (CECCON, 2013).

Teores altos de Zn^{2+} foram encontrados na profundidade de 0-10 cm nas parcelas de milho solteiro que receberam doses de 25, 50 e $100 \text{ m}^3 \text{ha}^{-1}$ de ARS (COELHO, 2010). Tais teores em condições de aplicação prolongada possuem potencial de se tornarem tóxicos no solo.

Também foi observado que os teores Zn^{2+} em todas as profundidades, exceto para as camadas de 0-10 e 10-20 cm consorciada, encontram-se acima dos teores iniciais. E que os teores encontrados nas parcelas de milho solteiro continuaram a acompanhar o decréscimo nos teores de Zn^{2+} com o aumento da profundidade, assim como na análise inicial do solo. O mesmo não ocorreu para nas subparcelas consorciadas onde houve variação nos teores do elemento ao decorrer do perfil do solo.

5. CONCLUSÃO

Os resultados obtidos permitem concluir que:

- Os teores de Cu^{2+} e Zn^{2+} no solo são dependentes da interação entre os fatores consorcio e adubação nas profundidades de 0-10 cm e de 20-30 cm para Cu^{2+} ;
- Os teores de Cu^{2+} tendem a elevar com o aumento da profundidade em cultivo consorciado e apresentar variação entre as camadas do perfil do solo;
- Os teores de Zn^{2+} tendem a diminuir com o aumento da profundidade no perfil do solo em cultivo de milho solteiro.
- Dose de $100 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ de ARS em cultivo de milho solteiro possui potencial de toxidez de Cu^{2+} no solo;
- Doses de 25, 50 e $100 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ de ARS em cultivo de milho solteiro possui potencial de toxidez de Zn^{2+} no solo.

REFERÊNCIAS

BASSO, C. J. *et al.* **Teores totais de metais pesados no solo após aplicação de dejetos líquido de suínos**. Ciência Rural, Santa Maria, v.42, n.4, p.653-659, abr, 2012.

BENEDET, L. **Biodisponibilidade de cobre e zinco e alterações bioquímicas e fisiológicas em plantas de milho (*Zea mays* L.) em solo adubado com dejetos suínos**. Universidade Federal de Santa Catarina, Centro de Ciências Agrárias. 128 p. Florianópolis, SC. 2014.

BISSANI, C. A.; SEGANFREDO, M. A.; SACCOL de SÁ, E. L. **Cobre e suas formas predominantes no solo em áreas com uso de dejetos animais**. X Reunião Sul-Brasileira de Ciência do Solo, Fatos e Mitos em Ciência do Solo. Pelotas, RS. 2014.

CECCON, G. **Consórcio Milho-braquiária**. Embrapa agropecuária oeste. 1 ed. 175 p. Brasília, DF. 2013.

CHANG, A. C.; PAGE, A. L.; WARNEKE, J. E.; GRGUREVIC, E. **Sequential extraction on soil heavy metals following a sludge application**. *Journal of Environmental Quality*, v.13, p.33-38. 1987.

COELHO, A. M. **Nutrição e Adubação do Milho**. Circular técnica Embrapa. ISSN 1679-1150. Sete Lagoas, MG. 2006.

CONAMA, Conselho Nacional do Meio Ambiente. **Resolução n.420**. págs. 81-84 de 28 de dezembro de 2009. Disponível em:
<<http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=620>> Acesso em: 16 de abr. 2015.

CUNHA, K. P. V. *et al.* **Disponibilidade, acúmulo e toxidez de cádmio e zinco em milho cultivado em solo contaminado**. Rev. Bras. Ciênc. Solo. vol.32, n.3, pp. 1319-1328. 2008.

EMBRAPA, Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes**. 2 ed. rev. Ampl. 627 p. Embrapa Inovação Tecnológica. Brasília, DF. 2009.

EMBRAPA, Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 3 ed. 353 p. Embrapa solos. Brasília, DF. 2013.

GRÄBER, I. et al. **Accumulation of Copper and Zinc in Danish Agricultural Soils in Intensive Pig Production Areas**. Danish Journal of Geography, v. 105, n. 2, p. 15- 22. 2005.

HSU, J. H.; LO, S. L. Effect of composting on characterization and leaching of copper, manganese, and zinc from swine manure. Environmental Pollution, v. 114, n. 1, p. 119–127, 2000.

IAPAR, Instituto Agrônômico do Paraná. **Cartas Climáticas do Paraná**. Agrometeorologia. 2014. Disponível em: <<http://www.iapar.br/modules/conteudo/conteudo.php?conteudo=677>> Acesso em: 29 de abr. 2015.

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

KRAUSKOPF, K. B. Geochemistry of micronutrientes. In: MORVEDT, J.J. **Micronutrients in agriculture**. Madiso: Soil Science Society of América. p. 7-40. 1972.

LANA, M. C.; RUBENS, F.; FRANDOLOSO, J. F.; RICHART, A.; FONTANIVA, S. **Análises química de solo e tecido vegetal: Práticas de laboratório**. Unioeste. Marechal Cândido do Rondon, PR. 2010.

MANTOVANI, A. **Composição química de solos contaminados por cobre: formas, sorção e efeitos no desenvolvimento de espécies vegetais**. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, RS. 2009.

SCHERER, E. E.; NESI, C. N.; MASSOTTI, Z. **Atributos químicos do solo influenciados por sucessivas aplicações de dejetos suínos em áreas agrícolas de Santa Catarina**. Revista Brasileira de Ciência do Solo. vol.34, n.4, pp. 1375-1383. 2010.

SILVA, F. C. **Manual de analyses químicas de solos, plantas e fertilizantes**. Embrapa Informação Tecnológica. 2. ed. 627 p. Brasília, DF. 2009.

SILVA, M. L. S.; VITTI, G. C; TREVIZAM, A. R.; **Heavy metal toxicity in rice and soybean plants cultivated in contaminated soil**. Rev. Ceres. vol.61, n.2, pp. 248-254. 2014.

SOARES E BARROS, L. S.; AMARAL, L. G.; LUCAS JUNIOR, J. **Poder poluente de águas residuárias de suinocultura após utilização de um tratamento integrado.** Braz. J. Vet. Res. Anim. Sci. vol.40, pp. 126-135. 2013.

WANG, J. J.; HARRELL, D. L. Effect of ammonium, potassium, and sodium cations and phosphate, nitrate and chloride anions on zinc sorption and lability in selected acid and calcareous soils. **Soil Science Society America Journal**, v. 69, n. 04, p. 1036-1046, 2005.

ANEXO

	Milho
	Milho + braquiária

Parcelas	Doses m ³ /ha	
1	1	25
2	2	0
3	3	100
4	4	50
5	5	0
6	6	50
7	7	100
8	8	25
9	9	100
10	10	25
11	11	0
12	12	50
13	13	NPK
14	14	NPK
15	15	NPK
16	16	NPK
17	17	NPK
18	18	NPK
19	19	100
20	20	25
21	21	100
22	22	25
23	23	50
24	24	25
25	25	50
26	26	0
27	27	0
28	28	100
29	29	50
30	30	0