

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

HENRIQUE MARIANI KLEIN

**TEORES DE COBRE E ZINCO NO ESCOAMENTO SUPERFICIAL E NO SOLO
SUBMETIDO À APLICAÇÃO DE ÁGUA RESIDUÁRIA DA SUINOCULTURA E
ADUBAÇÃO MINERAL EM DIFERENTES DECLIVIDADES**

PALOTINA

2017

HENRIQUE MARIANI KLEIN

**TEORES DE COBRE E ZINCO NO SOLO E NO ESCOAMENTO SUPERFICIAL
SUBMETIDO À APLICAÇÃO DE ÁGUA RESIDUÁRIA DA SUINOCULTURA E
ADUBAÇÃO MINERAL EM DIFERENTES DECLIVIDADES**

Trabalho apresentado como requisito parcial à obtenção
do título de Engenheiro Agrônomo da Universidade
Federal do Paraná – Setor Palotina.

Orientador: Prof. Dr. Jonathan Dieter
Co-orientadora: Camila Jussara Schmidt

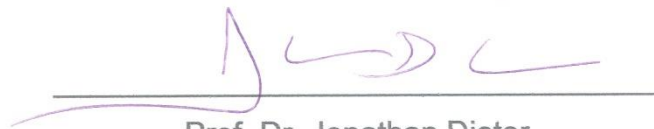
PALOTINA
2017

TERMO DE APROVAÇÃO

HENRIQUE MARIANI KLEIN

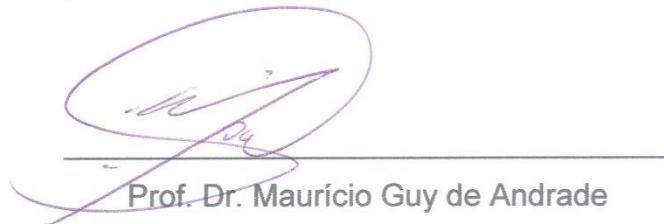
TEORES DE COBRE E ZINCO NO ESCOAMENTO SUPERFICIAL E NO SOLO
SUBMETIDO À APLICAÇÃO DE ÁGUA RESIDUÁRIA DA SUINOCULTURA E
ADUBAÇÃO MINERAL EM DIFERENTES DECLIVIDADES

Trabalho de conclusão de curso aprovado como requisito parcial à obtenção
do título de Engenheiro Agrônomo, Curso de Agronomia no Setor Palotina da
Universidade Federal do Paraná, pela seguinte banca examinadora:



Prof. Dr. Jonathan Dieter

Orientador – Departamento de Engenharia e Exatas - UFPR Setor Palotina



Prof. Dr. Mauricio Guy de Andrade

Departamento de Engenharia e Exatas - UFPR Setor Palotina



Eng. Agrônoma Camila Jussara Schmidt

Palotina, 15 de dezembro 2017

Aos meus pais Aldemar e Eliane, à
minha irmã Estela que foram meus
guias e meu norte.

DEDICO

AGRADECIMENTOS

Primeiramente a Deus, por tudo que fez por mim e pela minha família, pela saúde e pela vida, e por me amparar em minhas horas mais difíceis.

Aos meus pais, aos meus avós e familiares, pelo apoio, pela insistência, pela cobrança e pela motivação que me deram durante a vida acadêmica, e principalmente agradeço minha irmã, que tanto me incentivou a continuar.

A UFPR – Setor Palotina, especialmente ao Curso de Graduação em Agronomia, por terem dado a oportunidade de ter uma boa formação acadêmica.

Ao meu orientador Prof. Jonathan Dieter, pelo acompanhamento, orientação, ajuda e amizade, que sempre estiveram presentes em toda vida acadêmica.

Aos meus amigos e companheiros de turma e de Curso, em especial a Camila Jussara Schmidt, pela ajuda e pela companhia, por me motivarem sempre e pelo apoio durante a graduação.

A minha namorada Karine Lemes Büchner, pela ajuda que me deu, principalmente na reta final, pelo incentivo e pela cobrança, e muito mais por ter me ajudado nos momentos que eu mais precisava.

A todas as pessoas que de certa forma ajudaram, e que se preocuparam comigo, a todos o meu muito obrigado.

*“Ninguém é tão grande que não possa aprender,
nem tão pequeno que não possa ensinar”*

Esopo

RESUMO

A aplicação de fertilizantes minerais e água residuária da suinocultura (ARS) pode elevar os níveis de cobre e zinco no solo, e conseqüentemente, ocorre o acúmulo destes metais nas camadas superficiais, além de aumentar as chances de haver escoamento superficial destes elementos. Desta forma, o objetivo do trabalho foi avaliar a retenção de cobre e zinco no escoamento superficial e no solo com a aplicação de adubação orgânica e mineral, sob condição de diferentes declividades (*i*) e intensidades pluviométricas (*ip*). O trabalho teve como base a aplicação de quantidades de ARS (0; 75; 150; 225; 300 m³.ha⁻¹) e também de fertilização mineral (ADM) (0; 25; 50; 75 e 100% da dose recomendada para o milho), sobre um total de 28 lísímetros, com 0,7m² cada, também diferentes declividades (4; 9; 14; 19 e 24%), e por último a simulação de precipitação variando entre 45 e 105 mm.h⁻¹. O delineamento experimental utilizado foi o composto central rotacional (DCCR), em esquema fatorial completo 2⁴, com dezesseis ensaios fatoriais, quatro centrais e oito axiais, totalizando vinte e oito ensaios. Para a determinação das concentrações no escoamento superficial e o acúmulo de cobre e zinco, foram previamente analisadas as características do solo encontrado nos lísímetros. Posteriormente, foram determinadas as quantidades de cobre e zinco retidas no solo mediante análise de solo. Observou-se que a retenção do cobre foi maior em relação ao zinco, principalmente em locais com menor declividade. Porém em intensidades pluviométricas maiores, esta retenção não apresentou diferença significativa entre ambos os elementos. Avaliou-se também a concentração de Cu²⁺ e Zn²⁺ no solo antes da aplicação dos tratamentos e após a colheita da cultura. Observou-se que dentre os fatores independentes estudados, a ARS e *i* foram significativos sobre a concentração de Zn²⁺ arrastada junto à solução escoada. Observou-se o efeito acumulativo no solo de Cu²⁺ e Zn²⁺.

Palavras-chave: concentrações; fertilização; metais pesados; poluição; retenção.

ABSTRACT

The application of mineral fertilizer and swine wastewater can increase the value of copper and zinc on the soil, and in consequence can happen an agglomeration of these metals on the surface layer. The point of this paper was evaluate the retention of copper and zinc on soils with the application of organic and mineral fertilizer, with distinct declivities and rainfall intensities. This paper had as a starter point the application of SWW (0; 75; 150; 225; 300 m³.ha⁻¹) and also mineral fertilizer (0%; 25%; 50%; 75% and 100% of the recommended doses to soybean) above a total of 28 lysimeters, with 0,7m² each, and also different declivities (4%; 9%; 14%; 19% and 24%) and finally, a rain simulation varying between 45 and 105 mm.h⁻¹. The experimental delimitation used was the DCCR, with sixteen factorial practicer, four central and eight axial, completing twenty-eight practicers. To determinate the concentration in the run-off and the accumulation of copper and zinc, the character of the soil at lysimeters were primarily analyzed. Posteriorly the quantity of copper and zinc was determined by an analysis of the soil. Was observed that the retention of copper was bigger than the zinc, mainly in less declive locals. Although, in high rainfall intensities, the retention didn't showed significant difference between the elements. The concentration of copper and zinc in the soil was also evaluated before the application of the treatments and after harvesting. It was observed that among the independent factors studied, ARS and *i* were significant on the concentration of the zinc. It was observed a cumulative effect on the soil of copper and zinc.

Key-words: concentrations; fertilization; heavy-metals; pollution; retention.

ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA 1 - DIAGRAMA DE PARETO DO Zn^{2+} PARA A CULTURA DO MILHO NOS PERÍODOS APA (A) E APC (B)	30
FIGURA 2 – SUPERFÍCIE DE RESPOSTA DE MODELO AJUSTADO QUE PREDIZEM O TRANSPORTE DE Zn^{2+}	31
FIGURA 3 – COBRE (Cu^{2+}) NO SOLO EM FUNÇÃO DOS FATORES INDEPENDENTES ARS (A), ADM (B), IP (C) E I (D).	33
FIGURA 4 - ZINCO (Zn^{2+}) NO SOLO EM FUNÇÃO DOS FATORES INDEPENDENTES ARS (A), ADM (B), IP (C) E I (D).	34

ÍNDICE DE TABELAS

TABELA 1 – EFETIVO DE SUÍNOS E PARTICIPAÇÕES RELATIVA E ACUMULADA NO EFETIVO TOTAL, SEGUNDO AS UNIDADES DA FEDERAÇÃO E OS 15 MUNICÍPIOS COM OS MAIORES EFETIVOS, EM ORDEM DECRESCENTE – 2016	14
TABELA 2 – MATRIZ DO PLANEJAMENTO DEFININDO OS NÍVEIS ESTABELECIDOS E SEUS VALORES CORRESPONDENTES PARA OS QUATRO FATORES ESTUDADOS	24
TABELA 3 – ENSAIOS E APLICAÇÕES DOS TRATAMENTOS SEGUNDO CADA LISÍMETRO	25
TABELA 4 – CARACTERÍSTICAS FÍSICO-QUÍMICAS DA ARS APLICADA AO SOLO	27
TABELA 5 – DINÂMICA INDIVIDUAL DE REALIZAÇÃO DOS ENSAIOS DE CAMPO DESCRITOS NA TABELA 2	28
TABELA 6 – PROPRIEDADES QUÍMICAS DO SOLO NA CAMADA DE 0 A 20 CM ANTES DA REALIZAÇÃO DO EXPERIMENTO	28
TABELA 7 – MODELO AJUSTADO PARA PREDIZER O TRANSPORTE DE Zn^{2+} , NA SOLUÇÃO ESCOADA NA SUPERFÍCIE DURANTE O PERÍODO APA	31

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO REFERENCIADA	13
1.1 SUINOCULTURA; PRODUÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DOS DEJETOS SUÍNOS; USO DA ÁGUA RESIDUÁRIA DA SUINOCULTURA NA AGRICULTURA.	13
1.2 ALTERAÇÕES NAS CARACTERÍSTICAS FÍSICAS E QUÍMICAS DO SOLO, POLUIÇÃO E COMPORTAMENTO DO COBRE E ZINCO NO SOLO	17
1.3 RETENÇÃO DE Cu^{2+} E Zn^{2+} NO SOLO, FITOTOXICIDADE E FATOR NUTRICIONAL NAS PLANTAS	18
1.4 COBRE E ZINCO NO ESCOAMENTO SUPERFICIAL.....	21
2. OBJETIVO	23
2.1 OBJETIVO GERAL	23
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	23
3. METODOLOGIA	24
3.1 LOCALIZAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA	24
3.2 DELINEAMENTO EXPERIMENTAL	24
3.3 TRATAMENTOS.....	25
3.3.1 Aplicação da adubação mineral	26
3.3.2 Aplicação e caracterização físico-química da ARS	26
3.3.3 Simulação de chuva	27
3.4 REALIZAÇÃO DOS ENSAIOS.....	27
3.5 ANÁLISE LABORATORIAL	29
3.6 ANÁLISE ESTATÍSTICA.....	29
4. RESULTADOS E DISCUSSÕES	30
4.1 COBRE E ZINCO NO ESCOAMENTO SUPERFICIAL.....	30
4.1.1 Zinco	30
4.1.2 Cobre	32
4.2 COBRE E ZINCO NO SOLO.....	33
5. CONCLUSÕES	37
REFERÊNCIAS	38

1. INTRODUÇÃO REFERENCIADA

1.1 SUINOCULTURA; PRODUÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DOS DEJETOS SUÍNOS; USO DA ÁGUA RESIDUÁRIA DA SUINOCULTURA NA AGRICULTURA.

O aumento da população em todo mundo atingiu níveis exponenciais nas últimas décadas, o que, conseqüentemente, levou a um aumento no consumo de alimentos, que tiveram que ser produzidos em maiores proporções, sendo um deles a proteína de origem animal, utilizando-se o princípio de confinamento em sistemas intensivos, tendo como destaque a carne suína. Este fator favoreceu também a produção agrícola, principalmente de soja e milho, principais componentes das rações destinadas aos animais. Estes animais, por sua vez em confinamento, produzem uma quantidade significativa de dejetos, que podem ser tratados e reutilizados como fertilizantes em lavouras, tendo um aproveitamento maior de nutrientes (MATTIAS, 2006).

A carne suína é a carne mais consumida no mundo, e chega a responder por quase 50% do consumo total de proteína de origem animal. Também é responsável por cerca de 50% da produção, sendo considerada a principal fonte de proteína animal, tendo notável participação no mercado, com grandes valorizações nos últimos anos (BORTOLI, 2015). Hoje, o quarto maior rebanho de suínos se encontra no Brasil, atrás apenas da China, da União Europeia e dos Estados Unidos (USDA, 2016). O rebanho vem crescendo a cada ano, seja pelo maior número de matrizes, ou pelo aumento no número de suínos em terminação. Estudos realizados pelo IBGE divulgaram que desde 2005 houve um crescimento dessa atividade, até os dias atuais (REZENDE, 2013). Segundo Broetto *et al.* (2012) a produção suinícola no Brasil se concentra principalmente na região Sul do país.

O maior rebanho efetivo de suínos do Brasil se encontra no estado do Paraná, como pode ser observado na Tabela 1, seguido de Santa Catarina, Rio Grande do Sul, Minas Gerais e Mato Grosso. Estes estados, ainda conforme a Tabela, correspondem por quase 70% de todo rebanho efetivo do país. Toledo-PR é o município com maior destaque no efetivo de suínos, com mais de 1.200.000 cabeças.

TABELA 1 – EFETIVO DE SUÍNOS E PARTICIPAÇÕES RELATIVA E ACUMULADA NO EFETIVO TOTAL, SEGUNDO AS UNIDADES DA FEDERAÇÃO E OS 15 MUNICÍPIOS COM OS MAIORES EFETIVOS, EM ORDEM DECRESCENTE – 2016

Unidades da Federação	Efetivo de suínos em 31.12 (cabeças)	Participações no efetivo total (%)	
		Relativa	Acumulada
Brasil	39 950 320	100,0	
Paraná	7 131 132	17,8	17,8
Santa Catarina	6 887 376	17,2	35,1
Rio Grande do Sul	5 927 862	14,8	49,9
Minas Gerais	5 103 547	12,8	62,7
Mato Grosso	2 538 530	6,4	69,1
Goiás	1 988 478	5,0	74,0
São Paulo	1 367 491	3,4	77,5
Ceará	1 301 939	3,3	80,7
Mato Grosso do Sul	1 267 038	3,2	83,9
Maranhão	1 241 502	3,1	87,0
Bahia	1 126 310	2,8	89,8
Piauí	793 301	2,0	91,8
Pará	636 859	1,6	93,4
Pernambuco	630 065	1,6	95,0
Tocantins	308 422	0,8	95,7
Rio Grande do Norte	273 518	0,7	96,4
Espírito Santo	230 748	0,6	97,0
Rondônia	224 176	0,6	97,6
Paraíba	179 258	0,4	98,0
Distrito Federal	168 394	0,4	98,4
Alagoas	149 075	0,4	98,8
Acre	139 150	0,3	99,2
Sergipe	138 877	0,3	99,5
Amazonas	65 507	0,2	99,7
Rio de Janeiro	64 492	0,2	99,8
Amapá	35 193	0,1	99,9
Roraima	32 080	0,1	100,0
15 municípios com os maiores efetivos			
Toledo - PR	1 182 705	3,0	3,0
Rio Verde - GO	765 000	1,9	4,9
Uberlândia - MG	656 700	1,6	6,5
Marechal Cândido Rondon - PR	520 929	1,3	7,8
Sorriso - MT	452 606	1,1	9,0
Tapurah - MT	419 129	1,0	10,0
Braço do Norte - SC	320 000	0,8	10,8
Concórdia - SC	318 920	0,8	11,6
Jequeri - MG	272 285	0,7	12,3
Nova Mutum - MT	259 238	0,6	12,9
Urucânia - MG	253 792	0,6	13,6
Nova Santa Rosa - PR	235 000	0,6	14,2
Videira - SC	228 773	0,6	14,7
São Gabriel do Oeste - MS	228 265	0,6	15,3
Seara - SC	225 900	0,6	15,9

Fonte: IBGE (2016)

Nos municípios da Região Oeste do Paraná, a produção de suínos tem grande expressividade, e por esse motivo, a produção de dejetos oriundos dessa atividade se torna um problema cada vez mais preocupante, já que, em grande parte das propriedades se faz a aplicação indevida destes dejetos sobre o solo. A má aplicação dos dejetos sobre o solo pode gerar problemas de fertilidade, acúmulo de metais pesados e ainda degradação ambiental (PRIOR, 2008).

A criação de suínos se dá principalmente em sistema de criação intensivo, o que tem ocasionado a produção de uma quantidade considerável de dejetos, seja em grandes ou pequenas propriedades. Nas pequenas propriedades, essa quantidade de dejetos sofre com o problema do tratamento e destinação adequada.

Grandes desequilíbrios ecológicos vêm sendo causados, devido à grande quantidade de dejetos produzidos e principalmente ao lançamento direto destes dejetos sobre o solo, sem antes passar por um tratamento prévio a fim de equilibrar a quantidade de nutrientes presentes na ARS. Os problemas ambientais de maior impacto acontecem principalmente nas regiões onde há concentração de suínos, e também devido à composição do resíduo, carregado principalmente com nitrogênio, fósforo, e metais pesados como o cobre e o zinco (GIROTTO, 2007).

De acordo com Bipers (2002), a quantidade de dejetos produzida pelos suínos pode ser calculada com base na fase produtiva, sofrendo diversas variações de acordo com as práticas empregadas, das instalações e da ambiência. Suínos na fase de engorda produzem cerca de 4,9 kg de esterco mais urina por dia, podendo até alcançar sete litros de dejetos líquidos. Já na fase de gestação, esta quantidade aumenta para 11 kg, chegando a dezesseis litros de dejetos líquidos por dia. Na fase de lactação, esta quantidade aumenta ainda mais, podendo chegar a 18 kg, e 27 litros de dejetos líquidos, aqui também são considerados os leitões. Na fase de creche, as quantidades são menores, alcançando no máximo um kg de esterco mais urina, até um litro e meio de dejetos líquidos.

Tendo em vista as grandes quantidades produzidas, este problema vem ganhando maior atenção tendo em vista os problemas oriundos da produção e má aplicação dos dejetos. Empresas da área e grandes produtores vêm investindo na área, a fim de minimizar os problemas e otimizar o uso dos nutrientes presentes nos dejetos (SMANHOTTO, 2008).

Dentre os nutrientes presentes nos dejetos e com potencial poluidor temos o nitrogênio, o fósforo, o potássio, o cálcio, o alto teor de matéria orgânica, o sódio, e

metais pesados como o cobre e zinco. Este potencial poluidor se deve principalmente à concentração elevada destes nutrientes presentes nos dejetos. Estas altas concentrações apresentam riscos ecológicos, principalmente quando seu uso é feito sem o devido tratamento a fim de equilibrar a quantidade destes nutrientes (GOMES FILHO, 2001).

Segundo Prior (2008), a caracterização da ARS depende da composição da ração, da alimentação, da fase produtiva, do manejo e também do tratamento previamente empregado para minimizar os impactos da aplicação da ARS.

Aplicações sucessivas de dejetos em um mesmo talhão pode gerar um grande problema ambiental, que é a presença de elementos-traço, como o zinco e o cobre. Estes elementos são micronutrientes, mas em grandes quantidades geram problemas ambientais, por exemplo, a retenção de cobre e zinco no solo causam fitotoxicidade às plantas (BENEDET, 2014).

As altas concentrações de elementos como o cobre e o zinco nas rações se deve por causa da adição dos mesmos, para garantir que os suínos façam a absorção destes elementos, o que melhora a eficiência alimentar. Esta adição na ração é o principal fator que contribui para as elevadas concentrações destes elementos nos dejetos. Também as sucessivas aplicações dos dejetos sobre uma mesma área levam ao acúmulo de cobre e zinco nas camadas superficiais e subsuperficiais do solo. O que pode ser nocivo às plantas, portanto solo com altas concentrações destes elementos são solos contaminados (GIROTTI, 2007).

De acordo com Rufino (2006), o cobre e o zinco desempenham inúmeras funções no metabolismo dos animais, o que ocorre também nos suínos, porém as quantidades metabolizadas são muito pequenas. Em números, de cada 100mg de cobre ingerido pelos suínos, cerca de 75 a 80 mg são eliminadas pelas fezes, ou seja, uma quantidade expressiva, o que explica as grandes concentrações nos dejetos. No caso do zinco as quantidades que são metabolizadas são ainda menores, variando de quatro a oito mg para cada 100mg do elemento. Estas grandes quantidades que são adicionadas às rações e não são metabolizadas geram grande preocupação no meio produtivo.

A distribuição dos dejetos em áreas afastadas das propriedades se torna uma prática bastante onerosa, além disto, a aplicação em áreas com declividade dificulta a parte operacional, além de propiciar a ocorrência de escoamento superficial destes dejetos, atingindo mais facilmente cursos de água. Estes pontos

levaram os produtores ao uso dos dejetos em apenas algumas áreas específicas (GIROTTO, 2007). Este uso em áreas agricultáveis é a principal forma de descarte ou reuso dos dejetos oriundos da atividade suinícola. Isto se deve a quantidade considerável de nutrientes disponíveis às plantas no dejetos, proporcionando economias na fertilização química, e também no uso da água. Mas para que este uso descontrolado não afete o meio ambiente, alguns parâmetros têm de ser estabelecidos, a fim de proteger o solo e os cursos de água. A condição atual do solo a ser aplicado também deve ser considerada, assim como o clima, o manejo empregado na área, o uso de fertilizantes minerais, e a cultura a ser implantada naquela determinada área e a região em que a propriedade se encontra (SMANHOTTO, 2008).

A aplicação da ARS vem sendo utilizada como uma alternativa de adubação em diversas culturas, proporcionando em partes uma melhor condição de fertilidade do solo, devido ao aporte de nutrientes e de matéria orgânica, o que gera economia, além de reduzir o uso de outras fontes de água. Esta é uma prática bastante utilizada na Região Sul do Brasil, principalmente no Paraná e em Santa Catarina (PRIOR, 2008).

O uso da ARS na agricultura faz com que haja mineralização dos nutrientes, que são absorvidos pelas plantas, assim como os fertilizantes de origem mineral. Porém diferentes dos fertilizantes minerais, a sua composição é bastante distinta, o que geralmente leva a um desequilíbrio de fertilidade no solo e também nutricional nas plantas (SMANHOTTO, 2008).

1.2 ALTERAÇÕES NAS CARACTERÍSTICAS FÍSICAS E QUÍMICAS DO SOLO, POLUIÇÃO E COMPORTAMENTO DO COBRE E ZINCO NO SOLO

Dentre as principais alterações nas características do solo está a disponibilização de nutrientes. Esta alteração nas características do solo é dependente das características anteriores do solo, devido às interações que ocorrem entre os componentes do solo e os componentes da ARS. Por exemplo, em solo com menor pH, as quantidades de nutrientes disponibilizados, como o nitrogênio e o fósforo, podem ser menores com relação a outros tipos de solo. Já no caso do cobre e do zinco, ocorre uma maior solubilização dos íons, o que leva a uma contaminação do solo, podendo ser até tóxicos, dependendo do manejo e fertilização (SFREDO,

2008). De acordo com Santana (2014), outro problema é a lixiviação destes elementos, que acabam por contaminar a água presente no subsolo, com isto é possível que futuramente estes nutrientes em excesso retornem à superfície, por meio da evapotranspiração, o que ocorre com maior facilidade nos períodos com maiores temperaturas, quando as culturas estão estabelecidas (SILVA, 2013).

Segundo Meneghetti (2010), no caso de lavouras com aplicações maiores que a dosagem recomendada, é possível que haja o acúmulo de cobre e zinco, ainda mais quando a aplicada em conjunto com fertilizantes químicos. Outro ponto a ser considerado é que o acúmulo destes elementos nas camadas superficiais do solo tende a provocar o aumento nas quantidades lixiviadas dos mesmos, desta forma, quanto maior o volume aplicado, maior a lixiviação. O acúmulo, porém, sofre maior influência das características do solo, e não tanto da quantidade de dejetos aplicados (SANTANA, 2014).

Giroto (2007) afirma que o cobre possui uma alta complexidade em relação a sua dinâmica no solo, sendo influenciado por diversos fatores. Um deles é a composição química do solo, fazendo com que este fique adsorvido às porções do solo ou percole no perfil do mesmo. Outros pontos são a composição física e mineralógica do solo, além da acidez do solo e a presença de carbono orgânico. O cobre fica retido no solo principalmente pela sua grande afinidade pela matéria orgânica presente nele. Já no caso do zinco, a maior influência se dá pela acidez do solo e pela quantidade de cálcio que se aplica (BORGES & COUTINHO, 2004).

Para Santana (2014), em solos com maiores teores de matéria orgânica, o cobre tem maior probabilidade de ficar retido ao solo, diferente do zinco, que possui menor afinidade pelos grupos funcionais da matéria orgânica. Sendo assim, em solos com sistema de plantio direto, o cobre tende a ficar mais retido nas partículas do solo. Já em solos arenosos, onde a porção coloidal do solo é menor, assim como os níveis de matéria orgânica, a tendência é que haja uma maior retenção do zinco em relação ao cobre.

1.3 RETENÇÃO DE Cu^{2+} E Zn^{2+} NO SOLO, FITOTOXICIDADE E FATOR NUTRICIONAL NAS PLANTAS

A retenção de cobre e zinco, além de outros metais nos solos agrícolas, vem se tornando um problema na agricultura atual. Existem diversas formas pela qual

estes metais pesados podem ser incorporados ao solo, seja pela aplicação de fertilizantes, químico ou orgânico, pelo uso de agrotóxicos, fertilizantes foliares, além da deposição atmosférica (SILVEIRA *et al.*, 2008).

Alguns elementos são encontrados no solo naturalmente e desempenham um papel fundamental no crescimento, desenvolvimento e nutrição das plantas, porém se estes forem aplicados em grandes quantidades, aumentando de maneira significativa sua concentração no solo, podem apresentar toxicidade às plantas, ocasionando inúmeros problemas no seu desenvolvimento. Estes elementos são denominados elementos-traço, e o maior exemplo destes são o cobre e o zinco (MATTIAS, 2003).

A aplicação de dejetos suínos no solo aporta quantidades de cobre e zinco, os quais se distribuem no solo igualmente as formas que já estão presentes nas porções coloidais, porém o seu poder de ficar adsorvidos no solo é menor, devido à baixa energia (BENEDET, 2014).

Ainda de acordo com Benedet (2014), a forma de absorção pelas plantas do cobre e do zinco é dada quando estão na sua forma catiônica, ou seja, Cu^{2+} e Zn^{2+} . Devido à baixa concentração necessária para o desenvolvimento das plantas, estes são considerados micronutrientes, porém desempenha papel fundamental nos processos enzimáticos. Também são tidos como metais pesados, devido ao seu peso molecular e ao seu elevado poder de reação no solo, porém como não se apresentam na sua forma catiônica na natureza, podem estar pouco disponíveis às plantas. A composição do solo influencia na presença destes elementos, seja pela capacidade de adsorção, a sua concentração na solução do solo e os tipos de associações iônicas com outras porções presentes no solo, além do fator agrícola. Estes dificultam ou facilitam sua distribuição, mobilidade e a capacidade de absorção pelas plantas, tornando mais difícil a correção dos seus teores (BASSO, 2012).

Diversas culturas de grande importância são afetadas pelas altas concentrações de cobre e zinco no solo, podendo apresentar diferentes respostas devido à toxidez de um ou outro. Um exemplo é a cultura do milho em relação ao zinco. Este elemento é muito importante para esta cultura, porém quando os teores de zinco atingem níveis tóxicos, o milho pode apresentar folhas cloróticas, principalmente entre as nervuras, podendo evoluir para necrose. Já as altas concentrações de cobre no solo, inibe o crescimento de culturas como a soja,

também podendo ocasionar a deficiência de outros elementos em diversas partes da planta (SILVA, 2014).

Em relação ao fator nutricional, o cobre e o zinco são metabolizados em pequenas quantidades pelas plantas, porém não deixam de ser essenciais, pois está relacionado a diversas funções do seu metabolismo. No caso do cobre, este age como cofator enzimático, na respiração e na reprodução celular, além de estar envolvido na formação da resistência de estruturas de sustentação das plantas, mediante a lignificação. No caso do zinco, sua função principal é formar parte de enzimas e proteínas, além de garantir a sua estruturação de forma correta. Também está presente nas moléculas de DNA/RNA, sendo importante para a genética da planta (BENEDET, 2014).

Porém, estes elementos, quando encontrados no solo em suas formas solúveis e absorvíveis, possui grande potencial poluidor do solo e também toxidez às plantas. Quando a absorção ocorre em excesso, pode ocorrer a redução de matéria verde, clorose em folhas e pode afetar o sistema radicular. Alterações na fotossíntese, redução dos cloroplastos, falhas no transporte de elétrons e danos a diversas estruturas são consequências do excesso de cobre na parte aérea da planta, também podendo afetar a assimilação de nitrogênio, reduzindo a atividade enzimática, com maior força no sistema radicular da planta. O cobre além de sua toxidez, causa interferências na absorção de outros íons, como cálcio, magnésio, potássio, devido à competição deste elemento por sítios de ligação (MANTOVANI, 2009).

O excesso de zinco provoca atrofia em plantas em fase de crescimento, além de sintomas cloróticos em folhas, devido à redução da síntese de clorofila, além de afetar a quantidade de cloroplastos e também reduzir absorção de nutrientes essenciais, como o magnésio, o fósforo e o manganês.

Ambos os elementos (Cu e Zn) causam diversos estresses nos processos oxidativos das plantas, por formar componentes reativos ao oxigênio. Na normalidade, as plantas possuem sistemas contra estes componentes, porém quando há estresse, como no caso de superprodução destes componentes, o sistema imune da planta pode não superar o fator de estresse.

1.4 COBRE E ZINCO NO ESCOAMENTO SUPERFICIAL

O principal problema na conservação dos solos hoje no Brasil é a erosão causada pela água, sendo que algumas áreas no Sul já estão sofrendo desertificação em decorrência da falta de conservação. Com isto, ocorre o arraste de nutrientes, matéria orgânica, agroquímicos e também de microrganismos, o que implica aumento nos custos, devido à necessidade de reposição destes no solo, ou em alguns casos, as áreas são abandonadas, devido ao alto nível de degradação. Outro problema gerado pela degradação é a baixa qualidade e disponibilidade de água no solo (DAL BOSCO *et. al.*, 2008).

As variações no volume do escoamento superficial são determinadas pela intensidade e tempo de chuva, a infiltração e porosidade do solo, a rugosidade do terreno, além da cobertura vegetal, seja esta matéria verde ou em decomposição.

De acordo com Costa (2012), o escoamento superficial transporta primeiramente elementos de baixa densidade, sedimentos menores, sobretudo coloides minerais e orgânicos, que são liberados dos agregados do solo, seja pela chuva forte ou pelo escoamento de água na superfície, mostrando assim a seletividade quando ocorrem erosões. Os metais pesados também são arrastados pelo escoamento superficial e causam sérios problemas, já que estes não são degradados, volatilizados ou seus níveis não decaem, principalmente em rios ou nos cursos d'água, devido ao transporte destes elementos para estes lugares.

A fertilização de solos mediante o uso de dejetos da suinocultura, pode causar um aumento na concentração de cobre e zinco no solo, principalmente na sua forma solúvel e trocável. O transporte e a mobilidade destes elementos no solo se dão por fatores como a CTC e o pH do solo, também a textura e a presença de matéria orgânica, processos microbiológicos que alterem as características anteriores, podendo assim tornar os metais pesados móveis ou imóveis no solo. A complexação de cobre e zinco com ligantes orgânicos pode acarretar no transporte destes metais por escoamento superficial ou percolação no solo (KABATA-PENDIAS, 2010).

Maiores taxas de aplicação de ARS no solo implicam uma maior concentração de cobre no escoamento, dependendo da intensidade da chuva, principalmente em função do tempo de chuva, sendo que nas primeiras horas de

precipitação ocorrem as maiores perdas, já nos momentos finais, as perdas diminuem consideravelmente (DAL BOSCO, 2007).

Ainda segundo Dal Bosco *et. al.* (2008), um possível fator que influencia na retenção de cobre é a matéria orgânica, que facilita a adsorção deste metal, seja ele aplicado na adubação mineral ou orgânica. Já no caso do zinco, grande parte das perdas se dão via escoamento superficial devido às taxas de aplicação de ARS, mas pode ocorrer devido ao zinco contido naturalmente no solo.

Também aplicações exageradas de agroquímicos como fungicidas e pesticidas elevam os teores de metais pesados no solo (COSTA, 2012), seja nas camadas superficiais como águas subterrâneas e superficiais. Dados referentes a esse escoamento são escassos, porém a sua quantificação é de suma importância a fim de verificar os níveis de contaminação que podem afetar o desenvolvimento de plantas e também prejudicar a qualidade da água e o crescimento de algas. Alguns trabalhos mostraram que a nível de campo esta transferência de metais pesados por escoamento superficial é bastante significativa. As formas mais móveis dos metais pesados são as formas solúveis e trocáveis, em contrapartida, são as que estão mais disponíveis para as plantas (KABATA-PENDIAS, 2010)

2. OBJETIVO

2.1 OBJETIVO GERAL

O presente trabalho teve como objetivo avaliar os teores e retenção de cobre e zinco no solo, submetidos à aplicação de adubação mineral e água residuária da suinocultura, em diferentes declividades de solo.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Avaliar os teores de cobre (Cu^{2+}) retidos no solo e no escoamento superficial;
- Avaliar os teores de zinco (Zn^{2+}) retidos no solo e no escoamento superficial;
- Avaliar a influência da declividade no escoamento superficial e na retenção de metais pesados.

3. METODOLOGIA

3.1 LOCALIZAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA

O experimento foi conduzido no município de Palotina-PR, nos anos de 2012 a 2013, na Universidade Federal do Paraná – Setor Palotina, com localização geográfica 24° 17' 36"S e 53° 50' 26"W, e uma altitude média de 340 metros. O clima da região é considerado subtropical úmido (Cfa), e possui uma precipitação média anual de 1600 a 1800 mm. Palotina possui uma temperatura média de 21° C, uma umidade relativa de 76%. O município apresenta temperatura média de 22 a 23° C e a UR do ar média de 76% (IAPAR, 2014). O solo foi classificado como Latossolo Vermelho Eutroférico (Embrapa, 2013), com 67,5 % de argila, 16,9 % de silte e 15,9 % de areia.

3.2 DELINEAMENTO EXPERIMENTAL

O delineamento experimental utilizado foi o composto central rotacional (DCCR), com um planejamento fatorial completo 2^4 , sendo necessários um total de vinte e oito ensaios, com dezesseis ensaios fatoriais, quatro centrais e oito axiais. Na tabela 2 se encontra a matriz para o planejamento, que define os níveis estabelecidos e os valores correspondentes.

TABELA 2 – MATRIZ DO PLANEJAMENTO DEFININDO OS NÍVEIS ESTABELECIDOS E SEUS VALORES CORRESPONDENTES PARA OS QUATRO FATORES ESTUDADOS

Fatores	Níveis (codificados)				
	-2 (α)	-1	0	1	+2 (α)
ARS ($m^3 ha^{-1}$)	0	75	150	225	300
ADM (%)	0	25	50	75	100
Chuva simulada ($mm h^{-1}$)	45	60	75	90	105
Declividade (%)	4	9	14	19	24

α): Pontos axiais calculado por $\alpha = (2^n)^{1/4}$, com $n=4$.

ARS: Água Residuária da Suinocultura

ADM: Adubação Mineral recomendada para milho

3.3 TRATAMENTOS

Para estes ensaios foram utilizadas diferentes doses de ARS, que variaram entre 0 e 300 m³.ha⁻¹. Já os níveis de adubação mineral foram baseados segundo porcentagem de recomendação para a cultura do milho, variando entre 0 e 100% da dose recomendada. Também foi realizada a simulação pluviométrica, tendo como base uma precipitação de 60 mm.h⁻¹, mas houveram volumes entre 45 e 105 mm.h⁻¹. Já no caso da declividade, foram estipulados valores que condizem com as declividades encontradas na região. Tais valores podem ser entrados na Tabela 3.

TABELA 3 – ENSAIOS E APLICAÇÕES DOS TRATAMENTOS SEGUNDO CADA LISÍMETRO

Ensaio	Reais					Codificados			
	ARS m ³ ha ⁻¹	ADM %	Chuva simulada mm h ⁻¹	Declividade (%)		ARS	ADM	Chuva	Declividade
1	75	25	60	9		-1	-1	-1	-1
2	225	25	60	9		1	-1	-1	-1
3	75	75	60	9		-1	1	-1	-1
4	225	75	60	9		1	1	-1	-1
5	75	25	60	19		-1	-1	-1	1
6	225	25	60	19		1	-1	-1	1
7	75	75	60	19	Fatorial	-1	1	-1	1
8	225	75	60	19		1	1	-1	1
9	75	25	90	19		-1	-1	1	1
10	225	25	90	19		1	-1	1	1
11	75	75	90	19		-1	1	1	1
12	225	75	90	19		1	1	1	1
13	75	25	90	9		-1	-1	1	-1
14	225	25	90	9		1	-1	1	-1
15	75	75	90	9	-1	1	1	-1	
16	225	75	90	9	1	1	1	-1	
17	150	50	75	14	Central	0	0	0	0
18	150	50	75	14		0	0	0	0
19	150	50	75	14		0	0	0	0
20	150	50	75	14		0	0	0	0
21	0	50	75	14	Axial	-2	0	0	0
22	300	50	75	14		2	0	0	0
23	150	0	75	14		0	-2	0	0
24	150	100	75	14		0	2	0	0
25	150	50	45	14		0	0	-2	0
26	150	50	105	14		0	0	2	0
27	150	50	75	4		0	0	0	-2
28	150	50	75	24		0	0	0	2

Para que o experimento fosse realizado, foram utilizados lisímetros anteriormente utilizados para coleta de material lixiviado e de escoamento superficial. A área de solo de cada lisímetro é de 0.7 m², sendo que a declividade de cada lisímetro pode ser ajustada devido a uma barra de metal presente na parte baixa. Cada lisímetro continha no fundo uma camada de pedra brita que foi previamente lavada. Acima da camada de pedras foi colocada uma manta que impedisse a passagem de solutos para as britas. Posteriormente foi adicionada uma camada com 60 centímetros de solo, o qual foi coletado em uma área agrícola, conduzida sob sistema de plantio direto. Apesar dos lisímetros serem anteriormente destinados a coleta de material lixiviado e de escoamento superficial, apenas foram coletadas amostras do solo dentro dos lisímetros para análise de retenção de cobre e zinco.

3.3.1 Aplicação da adubação mineral

A aplicação da adubação mineral foi realizada anteriormente a aplicação da ARS, e em quantidades que correspondessem a 0, 25, 50, 75 e 100% da adubação mineral utilizada para a cultura do milho. Esta adubação foi incorporada mediante a abertura de sulcos na área dos lisímetros, a fim de atingir camadas mais profundas do solo, evitando assim o escoamento superficial desta fertilização.

3.3.2 Aplicação e caracterização físico-química da ARS

As diferentes aplicações de cada dose de ARS (0; 75; 150; 225; 300 m³.ha) presente na Tabela 4 foram realizadas de forma manual, sobre a superfície do solo, proporcional à área do lisímetro, fazendo-se uso de um regador, com o devido cuidado para que não ocorresse o escoamento superficial. Abaixo, na tabela 4, segue as características físico-químicas da ARS aplicada, a qual foi coletada de um biodigestor presente em uma UPL.

TABELA 4 – CARACTERÍSTICAS FÍSICO-QUÍMICAS DA ARS APLICADA AO SOLO

Parâmetros	Unidades	Valores	Parâmetros	Unidades	Valores
pH	-	7,8	Boro	mg.L ⁻¹	1
Condutividade elétrica	µs.cm ⁻¹	7300	Manganês	mg.L ⁻¹	1
Carbono orgânico total	mg.L ⁻¹	1325	Cobre	mg.L ⁻¹	5,6
Nitrogênio	mg.L ⁻¹	1107	Zinco	mg.L ⁻¹	46
Fósforo	mg.L ⁻¹	322	Ferro	mg.L ⁻¹	26,3
Magnésio	mg.L ⁻¹	152	Enxofre	mg.L ⁻¹	121
Cálcio	mg.L ⁻¹	511	Sólidos totais	mg.L ⁻¹	11600
Potássio	mg.L ⁻¹	592	Turbidez	UNT	2138
Sódio	mg.L ⁻¹	540			

3.3.3 Simulação de Chuva

A simulação de chuva foi realizada através de um simulador, em diferentes intensidades pluviométricas, com valores de 45, 60, 75, 90 e 105 mm.h⁻¹, conforme exposto na Tabela 3, a fim de provocar níveis de lixiviação e escoamento superficial, com o intuito de estar mais próximo a realidade presente no campo.

3.4 REALIZAÇÃO DOS ENSAIOS

Os ensaios em cada lisímetro foram realizados individualmente, e cada um iniciou-se com a etapa de pré-molhamento, para caracterizar um solo friável, mais próximo das características de campo, sendo que este pré-molhamento foi realizado manualmente. Em seguida, foram aplicadas as doses de adubação mineral, a fim de demonstrar um solo recém fertilizado, sofrendo com precipitações. Pouco antes da simulação da chuva, foram aplicadas as doses de ARS correspondentes a cada lisímetro, com o auxílio de um regador, sendo a quantidade aplicada proporcional a área do lisímetro a fim de aplicar a dose desejada. Após todo os ensaios serem realizados, e aguardado o tempo de secagem natural do solo, foram coletadas as amostras de solo e enviadas para análise, com o intuito de determinar os teores de cobre e zinco. Os tempos entre cada procedimento são mostrados na tabela abaixo.

TABELA 5 – DINÂMICA INDIVIDUAL DE REALIZAÇÃO DOS ENSAIOS DE CAMPO DESCRITOS NA TABELA 2

Ordem	Etapa	Descrição
1	Pré-molhamento	240 minutos antes do início da simulação da Ip, visando aumentar a umidade do solo e antecipar início do escoamento superficial, fez-se uma irrigação de lâmina igual a 40 mm de forma manual;
2	Semeadura e aplicação da ADM	Realizou-se a aplicação da dose de ADM juntamente com a semeadura da cultura do milho 40 minutos antes do início da simulação da Ip,
3	Aplicação das doses de ARS	A aplicação da ARS sobre o solo ocorreu 30 minutos antes do início da simulação da Ip.
4	Simulação da Ip	Após 30 minutos da aplicação da ARS, iniciou-se a simulação da Ip através do simulador InfiAsper/UFMS.
5	Coleta do escoamento superficial	A coleta do escoamento superficial ocorreu simultaneamente com a simulação da Ip em intervalo de tempo de 24 min, totalizando 72 min de escoamento.

Antes da condução dos ensaios, foi realizada a coleta de solo dos lisímetros, onde foi estabelecida uma amostra única, que foi enviada para análise, a fim de se conhecer as propriedades químicas do solo anterior às aplicações dos tratamentos e a realização dos ensaios. Na tabela 6 podem ser vistas algumas destas características, alteradas em cada lisímetro devido ao trabalho realizado.

TABELA 6 – PROPRIEDADES QUÍMICAS DO SOLO NA CAMADA DE 0 A 20 CM ANTES DA REALIZAÇÃO DO EXPERIMENTO

	pH	CE	MO	H ⁺ +Al ³⁺	Ca	Mg	K	SB	CTC
Parâmetro	H ₂ O	μs.cm ⁻¹	g.dm ⁻¹						
s		1	1	-----mmol.dm ⁻³ -----					
Médias	5.87 5	307	23.5	38	56.2	15	3.1	74.8	112.8
Parâmetro	V	Mn	Cu	Fe	Zn	B	N	P	S
s	%	-----mg.dm ⁻³ -----							
Médias	65	127	9.35	23	6.1	0.35	1505	55.3	4.5

CE: Condutividade Elétrica

MO: Matéria Orgânica

SB: Saturação por Bases

CTC: Capacidade de Troca Catiônica

3.5 ANÁLISE LABORATORIAL

Para que fossem determinadas as quantidades de Cobre e Zinco presentes no solo foi utilizado o extrator Mehlich⁻¹. As amostras de solo foram trituradas e secas para se obter uma terra mais fina. As amostras foram analisadas pela técnica de espectrometria de absorção atômica. Os resultados mostraram os níveis de micronutrientes no solo após a aplicação dos tratamentos.

O material coletado do escoamento superficial, foi acidificado a pH 2 com ácido nítrico e congelado. Para a determinação das concentrações de Cu^{+2} e Zn^{+2} foi realizado o tratamento preliminar das amostras (abertura) segundo a norma ABNT 13809 de 1997. Após a abertura a concentração foi determinada pelo método da espectrometria de absorção atômica.

3.6 ANÁLISE ESTATÍSTICA

Uma vez obtidos os dados, estes foram submetidos a uma análise estatística, a fim de verificar quais interações e fatores foram significativos devido aos diferentes tratamentos, e quais resultados diferiram estatisticamente. Os resultados foram comparados pelo teste Tukey, com um nível de 5% de significância, e todas as análises estatísticas foram realizadas pelo software STATISTICA for Windows versão 7.

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

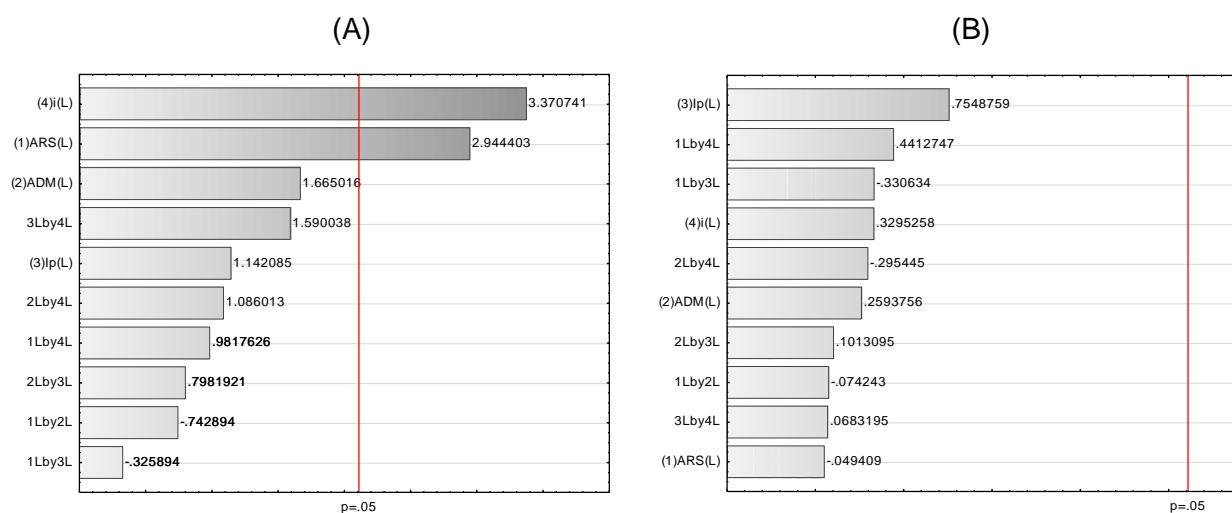
4.1 COBRE E ZINCO NO ESCOAMENTO SUPERFICIAL

4.1.1 Zinco

Pode-se observar na figura abaixo os diagramas de Pareto para o Zn^{2+} nos períodos avaliados, após as aplicações das adubações e após a colheita. Verificou-se que no período após a aplicação das adubações (APA) (Figura 1A) que a concentração de Zn^{2+} na solução escoada da superfície foi influenciada significativamente pelos fatores ARS e i , a 5% de significância. No período após a colheita (APC) não se verificou fatores independentes significativos a 5% (Figura

FIGURA 1 - DIAGRAMA DE PARETO DO Zn^{2+} PARA A CULTURA DO MILHO NOS PERÍODOS APA (A) E APC (B)

1B).



(1) ARS (2) ADM (3) ip (4) i (L) Linear (yb): interação entre fatores

Para Zn^{2+} os dados mostram que dentre os fatores independentes, a ARS e a i tiveram efeito significativo, em que as maiores concentrações de Zn^{2+} encontram-se no período APA, se comparadas às amostras coletadas após a colheita, promovendo assim um maior arraste do elemento para camadas mais profundas do solo. Já para o período APC nenhum dos fatores avaliados demonstrou efeito estatisticamente significativo. A diferença entre os fatores nos períodos APA e APC, pode ser explicada pelo fato da declividade aliada ao tamanho das partículas

proporcionar maiores perdas no período após a aplicação das adubações. Segundo Bertol (2010), partículas mais finas e menos densas, tem uma menor taxa de sedimentação, permanecendo na solução do solo por certo período. Uma maior declividade em solos sem cobertura proporciona uma maior energia para o escoamento, porém com o aumento do teor de matéria orgânica no solo no período após a colheita, houve uma maior taxa de infiltração, o que explicaria nenhum dos fatores sendo significativos neste período.

Na Tabela 7 é apresentado o modelo de regressão ajustado sobre a variável resposta Zn^{2+} , em função dos fatores independentes significativos observados na Figura 1, bem como os coeficientes de determinação e a relação F_{cal}/F_{tab} .

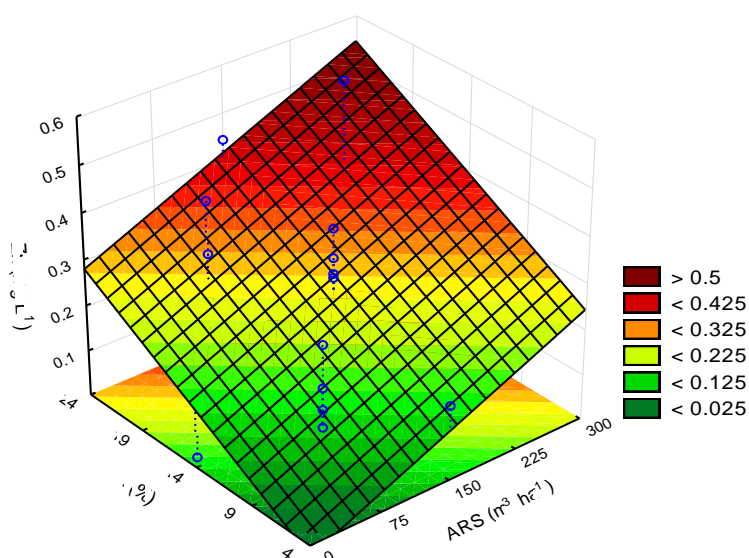
TABELA 7 – MODELO AJUSTADO PARA PREDIZER O TRANSPORTE DE Zn^{2+} , NA SOLUÇÃO ESCOADA NA SUPERFÍCIE DURANTE O PERÍODO APA

Equações	Modelos de regressão linear ¹	R ²	F _{cal} /F _{tab}
(Eq.1)	$Zn = 0,2601 + 0,066ARS + 0,075i$	0,42	2,69*

Eq.: Equação; 1: Variáveis de entrada codificadas; R²: coeficiente de determinação; $F_{tab(2;25;0,05)} = 3.39$; *: significativo pelo teste F a 5%; Zn: mg L⁻¹.

A utilização do planejamento fatorial possibilita a obtenção do gráfico de superfície de resposta. Assim, na Figura 2, é possível visualizar a superfície de resposta para o modelo de regressão linear múltipla significativo para descrever o arraste de Zn^{2+} na solução escoada ($F_{cal}/F_{tab} > 1$).

FIGURA 2 – SUPERFÍCIE DE RESPOSTA DE MODELO AJUSTADO QUE PREDIZEM O TRANSPORTE DE Zn^{2+} .



Segundo Rheunheimer et al. (2003), a especiação de metais pesados entre a fase sólida e a solução do solo é dependente da quantidade adicionada. Desta forma, os resultados das quantidades de Zn^{2+} obtidas estão de acordo com a literatura.

Estes resultados também estão de acordo com Dal Bosco *et. al.* (2008), onde as concentrações de Zn^{2+} foram maiores nas coletas iniciais, sendo que nas últimas as concentrações de zinco no material escoado diminuíram significativamente. Também houve concordância da influência da quantidade de ARS aplicada na quantidade escoada. Em relação à declividade, esta pode explicar as quantidades de Zn^{2+} escoadas nas primeiras coletas, sendo que em declividades maiores, as concentrações de zinco podem ser maiores nas primeiras amostras e menores nas últimas, e em declividades menores, esta variação não é significativa.

De acordo com Giroto (2007), o maior volume de aplicação de ARS, resultou em maiores perdas de zinco por escoamento superficial. Segundo Dal Bosco (2007), a perda de zinco por escoamento superficial ocorre naturalmente, e as concentrações no material escoado também se deve ao fato da presença de zinco na água.

Em comparação ao cobre, o zinco apresentou uma maior concentração no material escoado, o que também foi constatado por Giroto (2007), porém as formas em que ambos foram distribuídos foi bastante semelhante. Isso pode ser relacionado às frações negativas do solo e também ao teor de matéria orgânica do solo, os quais tem preferência pelo cobre.

4.1.2 Cobre

Em relação ao cobre, não foram obtidos resultados positivos, as leituras em sua maioria, na absorção atômica apresentaram valores negativos nas concentrações. Este fato pode ser justificado por erro no método empregado ou porque realmente não houve arraste de Cu^{2+} por escoamento superficial.

Porém alguns trabalhos mostram alguns resultados em relação ao cobre. Também segundo Dal Bosco (2007), o cobre teve maiores perdas nas primeiras coletas em todos os tratamentos e nas últimas coletas realizadas, houve uma menor concentração de cobre no material escoado. A ARS e a declividade são mais

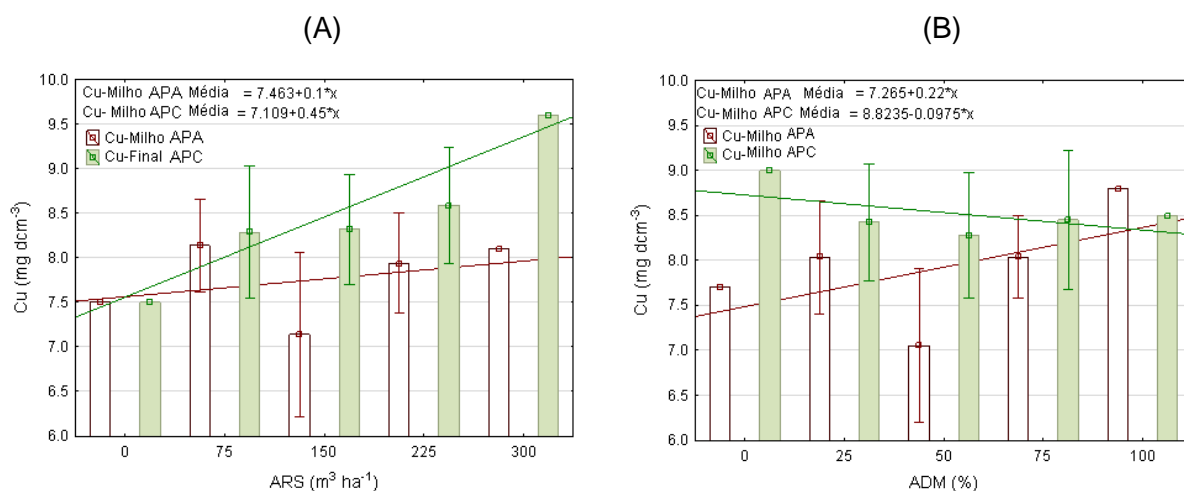
influentes nas primeiras coletas, isso se deve pelo fato de que a ARS aplicada fica nas camadas superiores nos momentos iniciais.

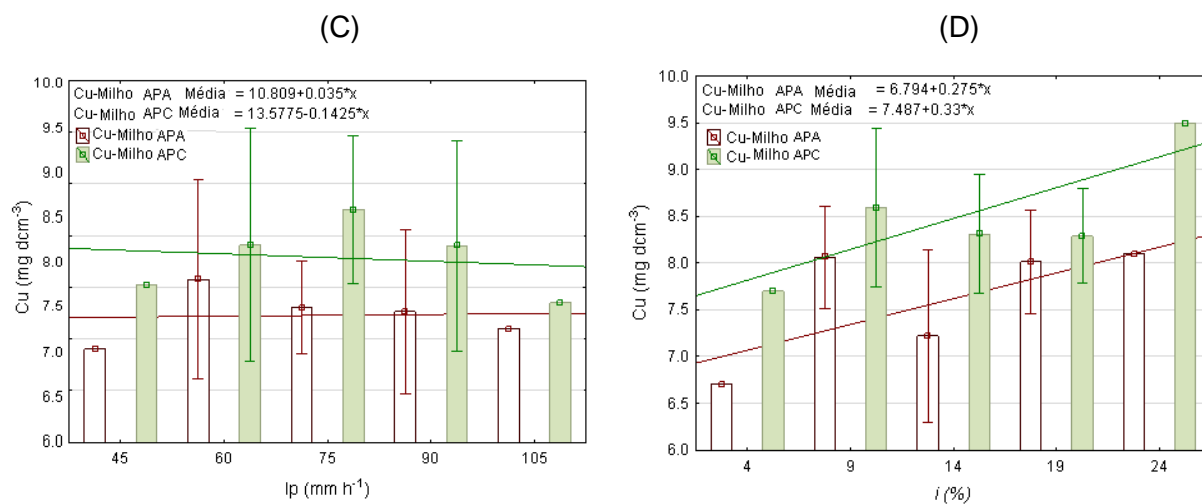
De acordo com Giroto (2007) ocorre um aumento de Cu^{2+} com sucessivas aplicações de dejetos líquidos. Porém o acúmulo de cobre no solo ocorre mais facilmente que o zinco, o que explicaria o fato de não ser constatada pouca ou nenhuma perda de cobre no material escoado. Ainda segundo Giroto (2007), as maiores perdas de cobre no material escoado se deram nas primeiras coletas após aplicação do dejetos, devido ao aumento da concentração do Cu^{2+} nas camadas superficiais, e com a precipitação, este cobre presente nas primeiras camadas, foi arrastado por escoamento, o que confirma os resultados obtidos no caso do Zinco. De acordo com Bertol (2005), as primeiras precipitações são as que tem maior efeito nas perdas de metais pesados pela enxurrada superficial. Também é mostrado que com o aumento de matéria orgânica no solo, essas perdas diminuem, devido ao fato de que o Cu^{2+} e o Zn^{2+} são facilmente adsorvidos a esta fração orgânica.

4.2 COBRE E ZINCO NO SOLO

Na Figura 3 são apresentadas as concentrações de Cu^{2+} no solo, na camada de 0 a 20 cm, nos períodos após a aplicação das adubações (APA) e no período após a colheita do milho (APC), no solo na camada de 0 a 20 cm.

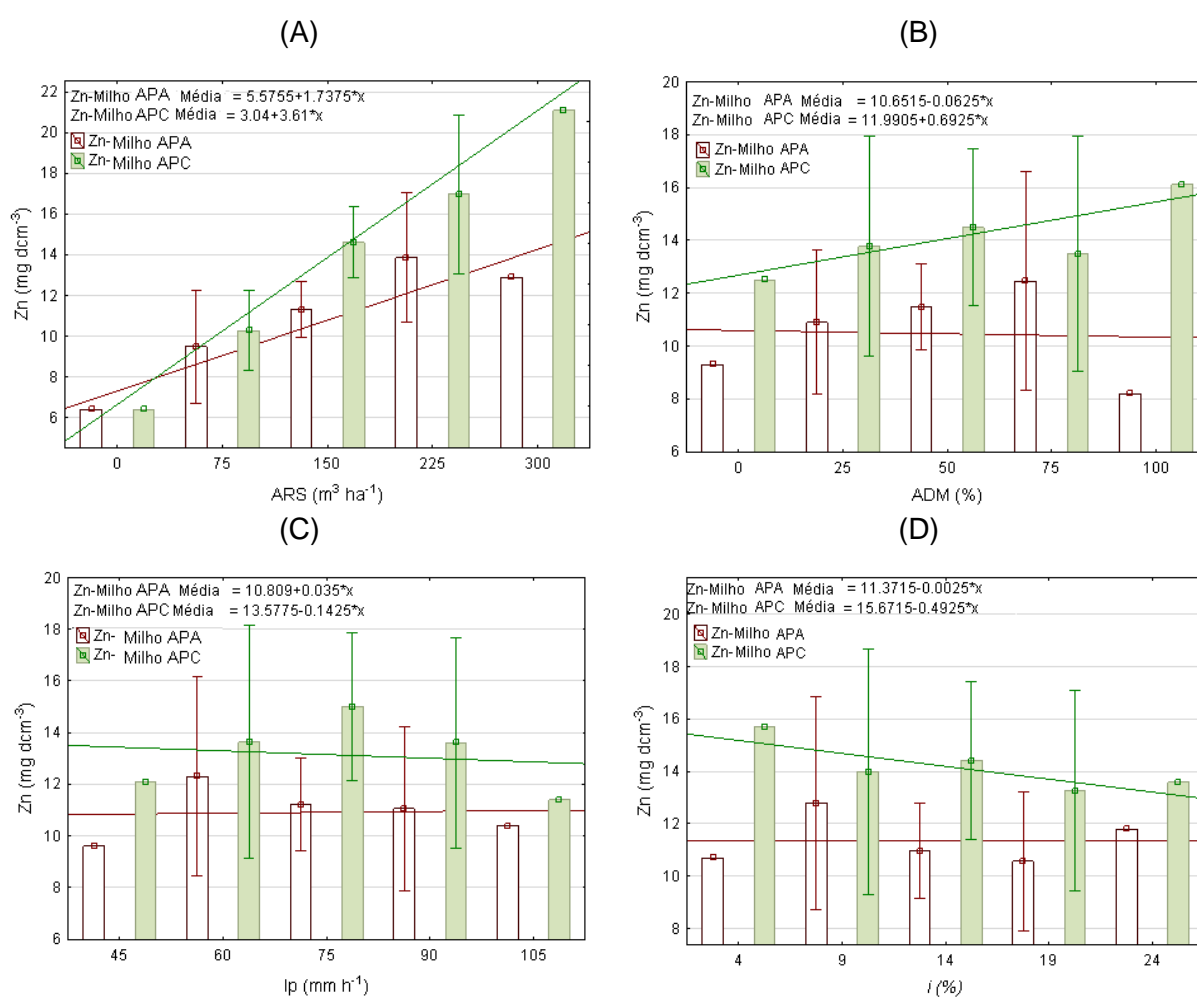
FIGURA 3 – COBRE (Cu^{2+}) NO SOLO EM FUNÇÃO DOS FATORES INDEPENDENTES ARS (A), ADM (B), ip (C) E i (D).





Na Figura 4 são apresentadas as concentrações de Zn²⁺ no solo na camada de 0 a 20 cm.

FIGURA 4 - ZINCO (Zn²⁺) NO SOLO EM FUNÇÃO DOS FATORES INDEPENDENTES ARS (A), ADM (B), ip (C) E i (D).



Observa-se na Figura 3, o parâmetro do efeito acumulativo de Cu^{2+} que a aplicação da ARS proporcionou no solo. Verifica-se na Figura 4 (A), quando comparadas as concentrações médias de Cu^{2+} entre os dois momentos avaliados, que as concentrações ao final do segundo ciclo, são maiores em todos os níveis de aplicação de ARS, exceto em $0 \text{ m}^3.\text{ha}^{-1}$ que permanece praticamente igual nos dois ciclos, assim como afirma Mc Bride (2014), que afirma que esterco considerados resíduos orgânicos, geralmente contém altas concentrações de Cu^{2+} e Zn^{2+} , e seu uso contínuo tem tendência a aumentar as quantidades totais desses elementos nos solos.

Outro resultado semelhante na literatura é exposto por Dal Bosco *et. al.* (2008), onde houve um aumento significativo nas concentrações de cobre. Outro ponto a considerar é que diferente do zinco, o cobre se concentrou em camadas mais profundas, o que explicaria as maiores perdas de zinco no escoamento, devido ao fato do cobre estar em maior concentração e adsorvido às porções orgânicas do solo ou ainda com óxidos de ferro e manganês, elementos bastante comuns no solo utilizado neste experimento.

Para Basso *et. al.* (2012), também ocorreu um menor acúmulo de zinco quando comparado ao cobre, mesmo em diferentes declividades. Esta diferença, porém, não ocorreu quando se trata da quantidade de ARS aplicada. Mesmo aplicando quantidades de zinco, Giroto (2007) constatou um maior acúmulo de cobre no solo, o que confirma os resultados obtidos. Este fator pode ser explicado pela absorção de zinco pelo milho, e também pelo zinco estar adsorvido às partículas mais moveis nas camadas superficiais do solo.

Na Figura 4 são apresentadas as concentrações médias de Zn^{2+} no solo em função dos fatores independentes. Para o Zn^{2+} no solo observa-se comportamento semelhante ao do Cu^{2+} . Verifica-se na Figura 4(A) o efeito acumulativo que a aplicação de ARS proporciona no solo. Verifica-se ainda que as duas regressões ajustadas sobre os resultados dos dois ciclos foram significativas estatisticamente significativas.

De acordo com Smanhotto (2010), o zinco também teve grandes quantidades acumuladas no solo, sendo mais significativas onde foi aplicada uma maior quantidade de ARS. Este aumento significativo nos teores de zinco no solo

tem um potencial poluidor maior em relação aos outros elementos, pois o zinco está em grandes quantidades nas rações empregadas na suinocultura (BASSO, 2012).

Segundo Giroto (2007), o zinco pode ser bastante móvel no solo em relação ao cobre, o que explica as menores contrações de zinco em relação ao aumento da intensidade pluviométrica e também em relação ao aumento da declividade. Mostrou-se então que o zinco é mais facilmente arrastado por escoamento, também ocorre um maior acúmulo nas camadas superficiais, como o que foi evidenciado por Dal Bosco *et. al.* (2008), também devido à movimentação reduzida do zinco dentro das camadas do solo.

Ainda segundo Dal Bosco *et. al.* (2008), o fato da baixa mobilidade do zinco, se deve a adsorção do elemento na fração orgânica do solo, mas mesmo com esta adsorção, em solos onde foram aplicadas quantidades grandes de ARS, ainda assim houve um aumento de zinco em camadas mais profundas do solo.

5. CONCLUSÕES

- o acúmulo e o escoamento superficial de metais pesados foram proporcionais as quantidades de ARS aplicadas ao solo, uma vez que, quanto maior a dose aplicada, maior o acúmulo e também maior o escoamento.
- em relação à declividade, o zinco foi mais responsivo, apresentando menores valores no solo com o aumento da declividade.
- em relação à intensidade de chuva, para ambos os elementos, o maior volume representou um maior arraste tanto de cobre como de zinco, já em volumes menores, houve maior acúmulo destes elementos no solo.
- tanto para o Cu^{2+} quanto para o Zn^{2+} , houve acúmulo destes elementos nas camadas superficiais do solo, assim como houve arraste por escoamento superficial de ambos.
- no caso do Zn^{2+} , houve uma maior quantidade do elemento no material escoado, diferente do Cu^{2+} , que apresentou valores menores no material escoado.
- já na retenção destes metais, as maiores concentrações se deram no Cu^{2+} , devido ao fato das interações entre estes elementos com a fração do solo.

REFERÊNCIAS

- BASSO, C. J *et al.* **Teores Totais de Metais Pesados no Solo Após Aplicação de Dejeito 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.** 2014. 128 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Programa de Pós-graduação em Agroecossistemas, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2014.
- BERTOL, O.J. **Contaminação da água de escoamento superficial e da água perolada pelo efeito de adubação mineral e adubação orgânica em sistema de semeadura direta.** 2005. 209 f. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2005.
- BERTOL, O. J.; RIZZI, N. E.; FAVARETTO, N.; LANA, M. do C. Phosphorus loss by surface runoff in no-till system under mineral and organic fertilization. **Scientia Agricola**, v. 67, p. 71-77, 2010.
- BIPERS: Coletânea de Tecnologia Sobre Dejetos Suínos.** Porto Alegre: Embrapa, v. 1, n. 14, ago. 2002.
- BORGES, M.R.; COUTINHO, E.L.M. **Metais pesados do solo após aplicação de bio sólido.** I - Fracionamento. *R. Bras. Ci. Solo*, 28:543-555, 2004.
- BORTOLI, E. da S. Pesquisa de *Yersinia enterocolitica* em suínos abatidos no Meio Oeste de Santa Catarina. UDESC, Lages, 79 p, 2015.
- BROETTO, T. *et al.* Impactos da Aplicação Continuada de Dejetos Líquidos de Suínos em Latossolos Sul-Rio-Grandenses. In: CONGRESSO LATINOAMERICANO LATINOAMERICANO DE LA CIENCIA DEL SUELO, 19, 2012, Mar del Plata. **Contribuições.** Porto Alegre: 2012.
- COSTA, A. L. da *et al.* Lixiviação de Nitrogênio e Fósforo em Solos Tratados com Lodo de Esgoto e Água Residuária de Suinocultura. **Revista de Ciências Agrárias**, Belém, v. 57, n. 4, p.396-406, out. 2014. Trimestral.
- COSTA, A. L. da. Lixiviação de nitrogênio, fósforo e tiametoxam em solos tratados com lodo de esgoto e água residuária de Suinocultura. Dissertação de Mestrado. UFLA, Lavras, p. 4-98, 2012.
- EMBRAPA, Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos.** 3 ed. 353 p. Embrapa solos. Brasília, DF. 2013.
- DAL BOSCO, T. C. *et al.* Aplicação de Água Residuária de Suinocultura em Solo Cultivado com Soja: Cobre e Zinco no Material Escoado e no Solo. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 28, n. 4, p.699-709, out. 2008. Trimestral.

DAL BOSCO, T. C. **Poluição Difusa Decorrente da Aplicação de Água Residuária da Suinocultura em Solo Cultivado com Soja sob Condições de Chuva Simulada**. 128 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, Centro de Ciências Exatas e Tecnológicas, Unioeste, Cascavel, 2007.

GIROTTI, E. **Cobre e Zinco no Solo sob Uso Intensivo de Dejeito Líquido de Suínos**. 2007. 121 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Programa de Pós-graduação em Ciência do Solo, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2007.

GOMES FILHO, R, R. et al. Remoção de carga orgânica e produtividade da aveia forrageira em cultivo hidropônico com águas residuárias da suinocultura. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 5, n. 1, p. 131-134. 2001.

IAPAR, Instituto Agrônomo do Paraná. **Cartas Climáticas do Paraná**. Agrometeorologia. 2014. Disponível em:
< <http://www.iapar.br/modules/conteudo/conteudo.php?conteudo=604>> Acesso em: 29 de abr. 2017.

IBGE, Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Rebanho efetivo de Suínos referente ao último trimestre de 2015. Tabela 16. Disponível em: ftp://ftp.ibge.gov.br/Producao_Pecuaria/Producao_da_Pecuaria_Municipal/2016/xls/tabelas_03_a_84_grandes_regioes_ufs.zip. Acesso em: dez. 2017

KABATA-PENDIAS, A. **Trace elements in soil and plants**. 4. ed. Florida CRC Press, 2010, 505p.

MANTOVANI, A. **Composição Química de Solos Contaminados por Cobre: Formas, Sorção e Efeito no Desenvolvimento de Espécies Vegetais**. 2009. 178 f. Tese (Doutorado) - Curso de Programa de Pós-graduação em Ciência do Solo, Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2009.

MATTIAS, J. A. *et al.* Cobre, Zinco e Manganês no Solo com Aplicação de dejetos de Suínos. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIAS DO SOLO, 29, 2003, Ribeirão Preto, **Anais...**, 2003. Ribeirão Preto: SBCS.

MATTIAS, J. L. **Metais Pesados em Solos sob Aplicação de Dejetos Líquidos de Suínos em Duas Microbacias Hidrográficas de Santa Catarina**. 2006. 164 f. Tese (Doutorado) - Curso de Programa de Pós-graduação em Ciência do Solo, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2006.

Mc BRIDE, M.B. 1989. **Surface chemistry of soil minerals**. In: Dixon, J. B. & Weed, S. B. (Eds) Minerals in soil environments. SSSA Book Series No 1. Soil Society of American, Madison, pp. 35 – 88 (Chapter 2).

MENEGHETTI, A. M. **Aspectos ambientais e agrônômicos da cultura do minimilho sob aplicação de água residuária de suinocultura tratada após lagoa de estabilização.** 2010. 241f. Tese (Doutorado e Engenharia Agrícola) – Programa de Pós-Graduação *Stricto Sensu* em Engenharia Agrícola, Universidade Estadual do Oeste do Paraná, 2010.

PRIOR, M. **Efeito da Água Residuária de Suinocultura no Solo e na Cultura do Milho.** 2008. 125 f. Tese (Doutorado) - Curso de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho", Botucatu, 2008.

REZENDE, V. de O. **Efeito da Fertirrigação com Água Residuária de Suinocultura nos Atributos Químicos do Solo e na Produção dos Capins Tifton 85 e Xaraés.** 2013. 60 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Programa de Pós-graduação em Agronomia, Universidade Federal de Viçosa, Rio Paranaíba, 2013.

RHEINHEIMER, D.S.; CONTE, E. & ANGHINONI, I. **Formas de acumulação de fósforo pela aplicação de fosfato em solo no sistema plantio direto.** Revista Brasileira de Ciência do Solo, 27:893-900, 2003.

RUFINO, L. M. Composição das fezes de suínos em terminação alimentados com ração sem microminerais e vitaminas, redução do fósforo inorgânico e adição de fitase, UFG, Goiânia, 47f, 2006.

SANTANA, J. V. **Lixiviação de cobre e Zinco em Solo Corrigido com Resíduo de Gesso da Construção Civil e Sob Aplicação de Água Residuária da Suinocultura.** 2014. 42 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Ambiental, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Campo Mourão, 2014.

SFREDO, G. J. Soja no Brasil: calagem, adubação e nutrição mineral. **Documentos**, Londrina, n. 305, 148 p., set. 2008: Embrapa Soja. Disponível em: <<http://www.cnpso.embrapa.br/download/Doc305.pdf>>. Acesso em: 20 dez. 2016.

SILVA, A. A. F. da. **Parâmetro quantitativo e qualitativo do percolado e do solo no cultivo do pinhão manso (*Jatropha curcas* L.) adubado com dejetos de suínos.** 2013. 79 f. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação *Stricti Sensu* em Energia na Agricultura, Universidade Estadual do Oeste do Paraná.

SILVA, M. L. de S.; VITTI, G. C.; TREVIZAM, A. R. Heavy Metal Toxicity in Rice and Soybean Plants Cultivated in Contaminated Soil. **Revista Ceres**, Viçosa, v. 61, n. 2, p.248-254, mar. 2014. Bimestral.

SILVEIRA, M. L. *et al.* Condicionadores Químicos de Solo e Retenção e Distribuição de Cádmiio, Zinco e Cobre em Latossolos Tratados com Biossólido. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, São Paulo, v. 1, n. 32, p.1087-1098, dez. 2008. Anual.

SMANHOTTO, A. **Aplicação de Água Residuária Tratada de Suinocultura em Solo Cultivado com Soja.** 2008. 123 f. Tese (Doutorado) - Curso de Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho", Botucatu, 2008.

UNITED STATES DEPARTMENT OF AGRICULTURE – USDA (2016). **Production, Supply and Distribution Online.** Disponível em: <https://www.fas.usda.gov/commodities/pork-and-hogs>. Acesso em: dez. 2016.