

RISCOS DE CONTAMINAÇÃO DO SOLO, ÁGUAS SUBSUPERFICIAIS E FITOXIDEZ ÀS CULTURAS POR COBRE E ZINCO APLICADOS VIA DEJETOS DE SUÍNOS

Juliano SIMIONI¹; Jucinei José COMIN²; Milton Antonio SEGANFREDO³ & Renato INGANG⁴

RESUMO - O presente estudo teve por objetivos avaliar a capacidade de suporte para cobre (Cu) e zinco (Zn) dos principais solos do Oeste de Santa Catarina submetidos à aplicação de dejetos de suínos para fertilização do solo. Não se verificou fitotoxidez de Cu e Zn sobre a produção de biomassa das plantas nos diferentes ciclos, independentemente das concentrações e fonte desses elementos. Os teores de Cu e Zn trocável aumentaram com os ciclos de cultivo e adição dos elementos nos tratamentos. Observou-se teores trocáveis maiores nos tratamentos com dejetos de suínos comparados àqueles equivalentes em Cu e Zn via fertilizante mineral. O Cambissolo manteve uma proporção maior de Cu trocável para teores observados/esperados e o Nitossolo para Zn trocável, respectivamente. Quanto ao acúmulo de Cu e Zn nos tecidos, a aveia absorveu as maiores concentrações, enquanto o milho acumulou as menores. O Latossolo proporcionou maior solubilidade de Cu e conseqüentemente acúmulo nos tecidos em relação aos demais solos. Para o Zn, os teores nos tecidos foram semelhantes independente do solo. Para o efeito de tratamentos, observou-se maior absorção de Cu e Zn com o fertilizante mineral em relação aos tratamentos correspondentes via dejetos de suínos. As concentrações de Cu e Zn nas águas percoladas foram baixas, indicando pequeno risco de contaminação do lençol freático em períodos curtos de aplicação de dejetos. No balanço de entradas e saídas de Cu e Zn, verificou-se que as retiradas são insignificantes, podendo conduzir para um processo importante de acúmulo no solo. Por outro lado, o risco de contaminação através das perdas ambientais e através dos produtos extraídos é reduzido.

¹ Eng^o Agr^o M Sc., USFC/CCA/Programa de Pós-graduação em Agroecossistemas, Av. Admar Gonzaga, 1476, Itacorubi, CP 476, 88034-001, Florianópolis, SC, Brasil.

² Prof. Adjunto, UFSC/CCA/Departamento de Engenharia Rural, Av. Admar Gonzaga, 1476, Itacorubi, CP 476, 88034-001, Florianópolis, SC, Brasil, 048 3315433, 048 3315427, e-mail: jcomin@cca.ufsc.br.

³ Pesquisador M Sc., CNPSA – EMBRAPA Suínos e Aves, Rod. BR 153 Km 110, Vila Tamanduá, 89700-000, Concórdia, SC, e-mail: milton@cnpsa.embrapa.br.

⁴ Prof. Adjunto, UFSC/CCA/Departamento de Zootecnia e Desenvolvimento Rural, Av. Admar Gonzaga, 1476, Itacorubi, CP 476, 88034-001, Florianópolis, SC, Brasil, 048 3315355, 048 3315350, e-mail: rirgang@cca.ufsc.br.

ABSTRACT - The objective of this study is to evaluate the loading capacity of copper (Cu) and zinc (Zn) applied in suine manure to common soils types of western Santa Catarina. No toxic symptoms were detected in plants grown under various rates of application and different manure sources. Copper and zinc levels increased in soil following multiple application cycles. Exchangeable Cu and Zn were higher in manure treatments than in treatments with mineral fertilizer. Higher exchangeable Cu was found in Inceptisols and higher Zn found in Alfisols. Among crops tested, oats absorbed most Cu and Zn, while maize absorbed the least in plant tissue. Higher Cu solubility in Oxisols resulted in higher tissue content of Cu in all crops planted on this soil. Crop tissue content of Zn did not vary between soil types. Manure treatments lead to lower plant tissue levels of Cu and Zn than mineral fertilizer treatments. Soil leachate contained low levels of Cu and Zn, with little risk potential for groundwater supplies during short-term periods of manure application. Export of Cu and Zn is much lower than inputs to the soil. The risk of off-site contamination is low, due to the low mobility of Cu and Zn in this system.

Palavras-chave – dejetos de suínos; capacidade de suporte do solo; acúmulo de Cu e Zn.

INTRODUÇÃO

Santa Catarina é o maior produtor de suínos do Brasil, contendo um rebanho superior a 5 milhões de animais com produção de carne que corresponde a mais de 30 % da produção nacional [1]. A suinocultura é a segunda atividade agropecuária em importância econômica no Estado, promovendo um movimento anual ao redor de R\$ 2,2 bilhões.

Apesar da importância econômica e social da suinocultura, a opção pela adoção de sistemas de produção baseados no confinamento de animais a partir da década de 70, contribuiu para gerar grandes quantidades de dejetos sem, no entanto, haver adequação dos sistemas de manejo, armazenamento e valorização dos dejetos. Assim, a suinocultura transformou-se numa grande fonte poluidora dos mananciais de água de Santa Catarina [2].

A contaminação dos recursos hídricos ocorre pelo escoamento de componentes dos dejetos usados para fertilizar lavouras ou pela sua disposição diretamente nos cursos de água. Considera-se como contaminantes a matéria orgânica e os nutrientes, estando em ordem de importância a lixiviação de N-nitratos (NO_3^-) e o carreamento de fósforo (P). O aumento dos teores de matéria orgânica e da concentração de nutrientes em águas, especialmente de P, é responsável pela eutrofização, de ocorrência comum em lagos ou reservatórios com águas paradas.

Nos solos, contaminação é consequência da aplicação de elevadas cargas de dejetos ou pela construção de lagoas para armazenamento de dejetos sem revestimento impermeabilizante em solos com elevada capacidade de infiltração e/ou com lençol freático próximo da superfície, o que

compromete também a qualidade das águas subterrâneas e superficiais [2]. Os principais problemas apontados na contaminação dos solos são a lixiviação de N-nitrato (NO_3^-) e o escoamento superficial que transporta P, metais pesados, resíduos de antibióticos e sais [3] e o risco de acúmulo de Cu e Zn [4].

Em busca de dar destino aos resíduos produzidos, o uso dos dejetos de suínos como fertilizante do solo tem sido uma prática recomendada para abordar o problema. A aplicação de dejetos no solo tem sido implementada em primeiro porque os resíduos possuem nutrientes que podem ser absorvidos pelas plantas na medida que ocorre a sua mineralização e em segundo, porque aportam matéria orgânica ao solo, melhorando a fertilidade, a estrutura, a porosidade, entre outros efeitos benéficos comprovadamente reconhecidos.

Apesar destes benefícios, muitos solos utilizados para agricultura nas regiões produtoras de suínos não têm capacidade para reciclar o montante de nutrientes excretado pelo rebanho de suínos existente [4]. Para reciclar a totalidade dos nutrientes excretados em cada propriedade na região Oeste de Santa Catarina seria necessário em torno de 15 ha de terras aptas para exploração agrícola – sendo que a área total das propriedades gira em torno de 47 ha – considerando o suprimento total das exigências em N para a cultura do milho [5].

Os estudos relacionados ao uso de dejetos de suínos como fertilizante do solo têm se concentrado em curvas de resposta para determinada cultura e, em geral, são obtidos a partir de experimentos de curta duração [6, 7, 8]. Pelo fato dos dejetos de suínos originarem um composto com vários nutrientes, as relações entre as concentrações de nutrientes e a necessidade das plantas muitas vezes são desbalanceadas, fazendo com que as cargas de alguns nutrientes sejam amplamente excedidas quando o critério de aplicação de dejetos se baseia no suprimento de um dado elemento. Tomando o P como exemplo, é comum a adição de três vezes a sua recomendação de adubação para o suprimento das exigências em N na cultura do milho [4].

Os resultados dos estudos supracitados, embora úteis, não permitem projetar com segurança as perspectivas de sustentabilidade dos sistemas que utilizam os dejetos de suíno como fertilizante do solo [9]. Em adição, é difícil para o agricultor equacionar a quantidade de dejetos a ser utilizada numa determinada área, conforme a concentração do nutriente mais abundante nos dejetos. Na prática, muitas vezes, o que acaba prevalecendo é a aplicação de dejetos na lavoura devido a necessidade de melhorar a capacidade de armazenamento das instalações.

Pelo exposto, vários estudos necessitam de aprofundamento para se trabalhar com segurança ambiental em médio/longo prazo, por exemplo, a capacidade de depuração dos dejetos de diferentes tipos de solo, o acúmulo de nutrientes no solo, as modificações no pH e na capacidade de troca de cátions do solo, os efeitos sobre a microbiota do solo e a qualidade da água no solo.

O objetivo do presente estudo foi avaliar a capacidade de suporte de diferentes solos para Cu e Zn e os riscos de contaminação do solo e de águas subsuperficiais e de fitotoxidez às culturas decorrentes da aplicação de dejetos de suínos para fertilização do solo.

MATERIAL E MÉTODOS

Localização e clima

O estudo foi desenvolvido junto ao Centro Nacional de Pesquisa de Suínos e Aves (CNPNSA/EMBRAPA) no quadro do projeto “Determinação de Indicadores da Qualidade do Solo, Água e Plantas na Utilização de Dejetos de Suínos como Fertilizante do Solo”, localizado no município de Concórdia, Oeste de Santa Catarina, na latitude 27°18’46”, longitude 51°59’16” e altitude de aproximadamente 500 m. O clima da região, segundo a classificação de Köppen, é mesotérmico úmido, sendo a precipitação pluviométrica bem distribuída durante o ano, com ocorrência de geadas, principalmente entre os meses de maio a julho.

Condições experimentais e Delineamento experimental

Os experimentos foram conduzidos em abrigo cercado com tela de malha fina, com vasos dispostos sobre bancadas de ferro. Acima dos mesmos foi colocada cobertura com filme transparente para evitar a entrada de água da chuva.

Para estudar os riscos de acúmulo de Cu e Zn nos solos via aplicação de dejetos foram realizados três ciclos de culturas com diferentes espécies. O delineamento experimental constituiu-se de um fatorial distribuído em 3 blocos com parcela subdividida da seguinte forma: 3 solos x 16 tratamentos x 3 repetições. (1 repetição por bloco) = 144 unidades experimentais.

Solos

A escolha dos solos baseou-se na sua maior predominância na região Oeste de Santa Catarina, uso intenso com culturas anuais, suinocultura inserida com maior densidade e processos de formação dos solos distintos. Os solos selecionados foram classificados como: CAMBISSOLO HÁPLICO Eutroférico, NITOSSOLO VERMELHO Eutroférico e LATOSSOLO VERMELHO Distroférico [10].

O preparo dos solos envolveu a calagem para pH 6,0 e retirada de partículas grosseiras como pedras e raízes e colocação nas unidades experimentais. Cada unidade experimental recebeu 6,1 Kg de solo (peso seco). Previamente à aplicação dos tratamentos, os solos foram analisados para conhecer suas características físico-químicas (Tabela 1).

Tabela 1. Resultados da análise química dos 3 solos utilizados no experimento no estado da coleta no campo.

Variáveis	Solos		
	Cambissolo	Nitossolo	Latossolo
pH Água	5,5	6,0	4,8
Índice SMP	6,2	6,0	5,2
P (mg.L ⁻¹)	2,0	6,0	1,0
K (mg.L ⁻¹)	72	366	58
MO %	4,4	3,7	3,7
Al (cmol _c .L ⁻¹)	0,0	0,0	1,7
Ca (cmol _c .L ⁻¹)	7,1	13,7	3,2
Mg (cmol _c .L ⁻¹)	1,4	3,0	1,0
Cu Total (mg.Kg ⁻¹)	329,87	202,58	217,03
Zn Total (mg.Kg ⁻¹)	215,60	229,57	184,80
Cu HCl 0,10 N (mg.Kg ⁻¹)	6,8	6,3	7,2
Zn HCl 0,10 N (mg.Kg ⁻¹)	7,1	7,3	1,7
Mn KCl 1,0 N (mg.Kg ⁻¹)	13	73	70

Análises realizadas pelo Laboratório da EPAGRI Chapecó e pelo LAFQ da Embrapa Suínos e Aves.

Tratamentos

Foram estabelecidos 16 tratamentos nos experimentos (Tabela 2). O tratamento 1 se refere ao controle, sem adição de nutrientes, os tratamentos 2 a 5, descritos como NPK mais combinações alto ou baixo Cu e Zn, constituíram-se na aplicação dos nutrientes via fonte mineral nas concentrações equivalentes àquelas existentes nos dejetos. Nos tratamentos 6 a 9 foram utilizados dejetos de suínos cuja composição de Cu e Zn foi variável, obedecendo as combinações alto ou

baixo Cu e Zn. Estas quatro combinações de dejetos foram obtidas através do fornecimento de quatro dietas diferentes, uma para cada lote de suínos. Nos tratamentos 10 a 16 foram utilizadas doses suplementares de Cu e/ou Zn via fonte mineral, com o intuito de provocar efeitos adversos sobre as plantas num espaço de tempo menor. Assim, esperava-se que estes tratamentos possibilitassem o estudo mais aprofundado do efeito exclusivo e conjugado do Cu e Zn sobre as espécies vegetais, e a manifestação do acúmulo de Cu e Zn no solo e conseqüente risco de contaminação da água e sintomas toxicidade nas plantas.

O critério adotado para aplicação dos tratamentos foi o atendimento das exigências em N das plantas, de acordo com as tabelas de recomendações de adubação e calagem [8]. Com o uso deste critério, nutrientes como o P e K, aplicadas via dejetos de suínos, excederam amplamente as quantidades recomendadas para cada cultura. Para homogeneizar as condições experimentais, os macronutrientes N, P e K foram adicionados em quantidades equivalentes para todos os tratamentos, mesmo que estivessem em excesso, propiciando que somente os teores de Cu e Zn fossem variáveis nos tratamentos.

Para o primeiro ciclo, a dosagem de nutrientes foi realizada de acordo com a análise do solo e as recomendações da cultura. Para os demais ciclos, seguiu-se o critério do valor de reposição ou a maior dosagem aplicada via dejetos. Na Tabela 3 são apresentadas as quantidades de nutrientes adicionados via fonte mineral e/ou orgânica em cada tratamento e ciclo de culturas realizados.

Dejetos utilizados nos experimentos

Considerando que o processo de acúmulo de Cu ou Zn nos solos pode ocorrer conjuntamente para os dois elementos, ou com maior intensidade para um destes dois elementos, optou-se por estudar a capacidade de suporte dos solos em Cu e Zn de forma combinada. Assim os dejetos foram obtidos com concentrações combinadas destes elementos.

Para a obtenção dos dejetos com as características desejadas, foram fornecidas dietas diferenciadas, evitando-se, dessa forma, criar condições artificiais, como a aplicação de doses de Cu ou Zn via fonte mineral num determinado dejetos. As quatro dietas elaboradas, variando nas concentrações de Cu e Zn (Tabela 4) foram fornecidas para quatro lotes de oito suínos cada, com peso médio inicial aproximado de 50 Kg. Após a coleta das fezes separadas da urina, obteve-se dejetos em forma líquida pela adição de três partes de água, e em seguida os dejetos foram deixados em tambores com superfície aberta por mais de 100 dias para estabilização.

Na seqüência, os dejetos foram desidratados a 55°C, triturados e armazenados para serem utilizados durante a execução dos experimentos. Na tabela 5 são apresentados os resultados da análise físico-química das quatro combinações de dejetos utilizadas no experimento.

Tabela 2. Tratamentos utilizados nos experimentos para determinação da capacidade de suporte em Cu e Zn nos solos do Oeste de Santa Catarina.

Trata-mentos	Descrição tratamento
1	Zero
2	NPK + alto Cu alto Zn (adubação mineral, equivalente aos dejetos)
3	NPK + alto Cu baixo Zn
4	NPK + baixo Cu alto Zn
5	NPK + baixo Cu baixo Zn
6	Dejetos alto Cu alto Zn (adubação orgânica)
7	Dejetos alto Cu baixo Zn
8	Dejetos baixo Cu alto Zn
9	Dejetos baixo Cu baixo Zn
10	Dejetos alto Cu alto Zn + suplementação de 10 mg Cu e 20 mg Zn Kg ⁻¹)
11	Dejetos alto Cu baixo Zn + suplementação de 10 mg Cu Kg ⁻¹)
12	Dejetos baixo Cu alto Zn + suplementação de 20 mg Zn Kg ⁻¹)
13	Dejetos baixo Cu baixo Zn + suplementação de 10 mg Cu Kg ⁻¹)
14	Dejetos baixo Cu baixo Zn + suplementação de 20 mg Cu Kg ⁻¹)
15	Dejetos baixo Cu baixo Zn + suplementação de 30 mg Zn Kg ⁻¹)
16	Dejetos baixo Cu baixo Zn + suplementação de 40 mg Zn Kg ⁻¹)

Ciclos e espécies de plantas cultivadas

Foram conduzidos 3 ciclos de culturas durante o ano de 2000: 1º ciclo: Aveia preta (*Avena strigosa*), com período de cultivo de 49 dias e com 13 plantas por vaso, 2º ciclo: Trigo (*Triticum aestivum*), cultivar Br 49, com período de cultivo de 45 dias e com 13 plantas por vaso e 3º ciclo: Milho (*Zea mays*), cultivares Br 106, Pioneer 30F33, XL 214, Agromen 2012, Premiun e TorK com 1 planta de cada cultivar em cada vaso.

Irrigações

O controle da irrigação foi, no primeiro e terceiro ciclos, em função do volume de água da precipitação pluviométrica no período e no segundo ciclo para a manutenção constante do teor de umidade de acordo com a capacidade de campo.

Tabela 3. Síntese das concentrações de Cu e Zn (mg Kg solo⁻¹) adicionadas para cada tratamento por ciclo e ao final de 3 ciclos de experimentação.

Tratamento	Ciclo 1 (aveia)		Ciclo 2 (trigo)		Ciclo 3 (milho)		Cu Total	Zn Total
	Cu	Zn	Cu	Zn	Cu	Zn		
1) zero	-	-	-	-	-	-	-	-
2) NPK + alto Cu alto Zn	1,36	3,77	2.71	5.21	7,25	14,60	11,32	23,58
3) NPK + alto Cu baixo Zn	1,36	0,48	2.71	0.86	7,25	2,42	11,32	3,76
4) NPK + baixo Cu alto Zn	0,09	3,77	0.125	5.21	0,35	14,60	0,56	23,58
5) NPK + baixo Cu baixo Zn	0,09	0,48	0.125	0.86	0,35	2,42	0,56	3,76
6) Dejetos alto Cu alto Zn	1,36	3,77	2.71	5.21	7,25	14,60	11,32	23,58
7) Dejetos alto Cu baixo Zn	1,36	0,48	2.71	0.86	7,25	2,42	11,32	3,76
8) Dejetos baixo Cu alto Zn	0,09	3,77	0.125	5.21	0,35	14,60	0,56	23,58
9) Dejetos baixo Cu baixo Zn	0,09	0,48	0.125	0.86	0,35	2,42	0,56	3,76
10) Dejetos alto Cu alto Zn + suplem.	11,36	23,77	12.71	25.21	17,25	34,60	41,32	83,58
11) Dejetos alto Cu baixo Zn + suplem.	11,36	0,48	12.71	0.86	17,25	2,42	41,32	3,76
12) Dejetos baixo Cu alto Zn + suplem.	0,09	23,77	2.71	25.21	0,35	34,60	0,56	83,58
13) Dejetos baixo Cu baixo Zn + suplem.	10,09	0,48	10.125	0.86	10,35	2,42	30,56	3,76
14) Dejetos baixo Cu baixo Zn + suplem.	20,09	0,048	20.125	0.86	20,35	2,42	60,56	3,76
15) Dejetos baixo Cu baixo Zn + suplem.	0,09	20,48	0.125	20.86	0,35	22,42	0,56	63,76
16) Dejetos baixo Cu baixo Zn + suplem.	0,09	40,48	0.125	40.86	0,35	42,42	0,56	123,76

Tabela 4. Composição físico-química das quatro diferentes dietas fornecidas aos suínos para obtenção das quatro combinações de Cu e Zn nos dejetos utilizadas nos experimentos.

Amostra	MS	N	P	Ca	Mg	K	Mn	Cu	Zn
	(%)				(mg.Kg ⁻¹)				
Dieta 1	87,60	1,63	0,33	0,44	0,13	106,40	37,05	117,65	540,10
Dieta 2	87,25	1,67	0,40	0,34	0,12	99,20	27,80	92,60	53,95
Dieta 3	87,45	1,58	0,34	0,46	0,13	97,80	36,00	3,14	611,55
Dieta 4	87,40	1,63	0,34	0,44	0,13	101,10	33,30	1,67	66,00

Prot. 129/00 - Laboratório de Análises Físico-químicas (EMBRAPA Suínos e Aves)

Tabela 5. Composição físico-química dos quatro dejetos utilizados nos experimentos.

Amostra	MS	N	P	K	Ca	Mg	Cu	Zn
	(%)						(mg.Kg ⁻¹)	
Dejeto 1	92,45	2,59	2,29	1,44	2,20	1,02	2635,33	5461,40
Dejeto 2	92,00	2,23	2,53	1,30	2,42	0,90	2906,68	904,19
Dejeto 3	92,12	2,50	2,53	1,18	2,04	0,67	149,54	6256,53
Dejeto 4	90,79	2,49	2,64	1,33	2,29	1,46	99,18	1034,52

Prot. 403/00 - Laboratório de Análises Físico-químicas (EMBRAPA Suínos e Aves)

Colheita e obtenção de amostras para análises

A colheita foi realizada ao final de cada ciclo. As plantas foram levadas para uma estufa com circulação de ar a 50°C durante 72 horas. A coleta de amostras de solos foi realizada na ocasião da montagem do ciclo de experimento seguinte. Posteriormente, realizou-se a aplicação dos tratamentos e reposição de solo. Para cada tratamento, foi adotado um vaso correspondente para reposição de solo nos vasos após a retirada das amostras. Os vasos correspondentes receberam os mesmos tratamentos, porém, com uma correção para equilibrar a concentração de nutrientes pela reposição de solo em estado natural. O solo foi seco em estufa a 55°C e em seguida retirou-se as raízes e pedras antes da sua moagem.

Para os tecidos vegetais, após a determinação da produção de biomassa vegetal, realizou-se a pesagem em balança analítica e triturou-se as plantas.

Quando houve a percolação de águas de irrigação, as mesmas foram coletadas em frascos plásticos descartáveis de 2 litros. Até o final de cada ciclo, as águas receberam uma dosagem de clorofórmio como agente anti-microbiano e permaneceram em câmara fria. Após o término das coletas das águas, procedeu-se a mistura de todos os coletados, determinou-se o montante percolado

e levou-se as mesmas para concentração em estufa antes das dosagens por absorção atômica. As variáveis⁵ analisadas foram teores de Cu e Zn totais e trocáveis no solo, de macro e micronutrientes nas plantas e de Cu e Zn nas águas percoladas.

Procedimentos Estatísticos

Os dados obtidos foram submetidos à análise de variância e testes de comparação de médias. O modelo utilizado para as análises foi delineamento com parcela subdividida utilizando-se o pacote estatístico SAS - Statistic Analytical Standard.

RESULTADOS

Teores de Cu e Zn no solo e nos tecidos vegetais em função dos solos

O comportamento das variáveis Cu e Zn total e trocável no solo e Cu Zn nos tecidos vegetais, em função dos diferentes tipos de solo está apresentado na Tabela 6. Os dados de Cu e Zn trocável sugere que o teor natural (total) no solo foi o principal responsável pelo maior teor trocável observado. Com relação ao comportamento do Cu nos tecidos, verificou-se uma diminuição na seguinte ordem: Latossolo > Cambissolo > Nitossolo, o que se explica pela natureza química do Latossolo que apresenta menor CTC, aumentando a proporção de nutrientes disponíveis às plantas e teores no solo. Outro aspecto verificado para o Cu nos tecidos, foi a inexistência de relação direta com os teores naturais (totais), evidenciando mais uma vez, que existe comportamentos diferentes na capacidade dos solos em adsorver estes elementos, que por sua vez, controla sua disponibilidade às plantas.

Para os teores de Zn nos tecidos, os mesmos não diferiram para os três solos, sugerindo que o Latossolo apresentou comportamento semelhante ao observado para Cu, uma vez que os teores de Zn neste são amplamente menores e mesmo assim, as plantas absorveram quantidades de Zn equivalentes àquela do Nitossolo e Cambissolo.

⁵ A determinação dos teores trocáveis no solo foi realizada através do extrator HCl 0,1 N [11] e os teores totais através da técnica Água Régia - HCl:HNO₃ [12]. Os tecidos vegetais foram analisados de acordo com a técnica de digestão nitroperclórica por via úmida, descrita por [11] adaptada por [13]. Posteriormente foram feitas as diluições necessárias para leitura no aparelho de absorção atômica. As águas percoladas foram analisadas através de leitura direta no aparelho de absorção atômica.

Tabela 6. Efeito de solo sobre o comportamento das variáveis Cu e Zn total e trocável no solo e Cu e Zn nos tecidos vegetais.

Solo	Cu Total	Cu	Cu tecido	Zn Total	Zn	Zn Tecido
	Trocável			Trocável		
mg. Kg ⁻¹						
Cambissolo	292,21 a	15,55 a	9,58 b	227,23 a	26,47 b	64,28 a
Nitossolo	182,24 c	14,45 b	7,56 c	230,62 a	31,92 a	61,05 a
Latossolo	203,31 b	14,28 b	11,18 a	195,14 b	18,32 c	62,47 a

Médias seguidas da mesma letra dentro de coluna não diferem significativamente

(Teste de Tukey a 5%).

Teores de Cu e Zn no solo e nos tecidos em função de ciclos

Quanto ao efeito dos ciclos, como era esperado, houve aumento para Cu e Zn trocável à medida que os mesmos foram realizados e os tratamentos aplicados. Foi observado, porém, para Cu e Zn total, maiores teores no ciclo 1 em relação ao ciclo 2, o que teoricamente não deveria ocorrer.

Para os teores de Cu e Zn nas plantas, observou-se que a aveia possui capacidade de absorção superior que as demais espécies (Tabela 7). Mesmo sendo a primeira espécie cultivada – quando os teores de Cu e Zn no solo ainda eram menores – a espécie absorveu os maiores teores. O milho, por outro lado, foi a espécie que absorveu os menores teores desses elementos, o que pode sugerir a existência de algum mecanismo de resistência à entrada de Cu e Zn na planta [14] ou por fazer parte de sua própria fisiologia a absorção de concentrações de menores desses elementos.

Teores de Cu e Zn total, trocável no solo em função dos tratamentos

Um primeiro aspecto observado para os teores totais e trocáveis de Cu e Zn no solo, como era de se esperar, foi a sua acumulação no solo de acordo com as quantidades adicionadas em cada tratamento. A avaliação da capacidade de cada solo sobre a disponibilidade de Cu ou Zn foi realizada através da determinação da proporção de Cu e Zn adicionada em cada tratamento somada ao teor trocável natural, chegando-se assim a um “teor esperado”, e as concentrações trocáveis observadas em cada solo ao final do terceiro ciclo de experimentos (Figura 1). Pode-se verificar que a maioria do Cu adicionado permaneceu em formas trocáveis no solo. A análise da relação entre teores trocáveis esperados e trocáveis observados demonstra que nos tratamentos onde houve adição suplementar de Cu (T₁₀, T₁₁, T₁₃ e T₁₄), a relação esperado/observado foi superior a 1, indicando algum mecanismo de adsorção desse elemento no solo. Por outro lado, nos tratamentos

em que não houve a adição suplementar de Cu a relação foi inferior a 1, ou seja, foi observado teor de Cu trocável superior ao esperado. Este comportamento foi mais evidente no Cambissolo. Para Zn trocável, os resultados foram similares ao do Cu, porém com destaque para o Nitossolo.

Verificou-se aumento natural da disponibilidade de Cu e Zn no solo à medida que os ciclos de experimentação foram ocorrendo, mesmo na testemunha (T₁), sem adição via tratamentos. Tal aumento da disponibilidade pode ser causado pela maior taxa de mineralização, por exemplo, quando na manutenção de teores adequados de umidade no solo [15].

Tabela 7. Efeito dos ciclos sobre as variáveis Cu e Zn totais e trocáveis no solo e Cu e Zn nos tecidos das plantas.

Ciclo	Cu			Zn		
	Cu Total	Cu Trocável	Cu tecido	Zn Total	Zn Trocável	Zn Tecido
	mg. Kg ⁻¹					
I) Aveia	237,60 a	10,01 c	11,59 a	214,44 b	14,40 c	73,14 a
II) Trigo	212,85 c	13,51 b	9,28 b	206,29 c	23,40 b	60,95 b
III) Milho	227,92 b	20,76 a	7,44 c	232,27 a	38,92 a	53,72 c

Médias seguidas da mesma letra dentro de coluna não diferem significativamente (Teste de Tukey a 5%).

Teores de Cu e Zn nos tecidos vegetais em função dos solos e tratamentos

Para Cu nos tecidos, verificou-se que o T₁ (testemunha) apresentou teores elevados de Cu nos três solos, o que provavelmente está relacionado ao reduzido desenvolvimento das plantas deste tratamento, provocando o acúmulo de Cu nos tecidos. Destaca-se que os teores trocáveis determinados no solo natural são elevados, estando bem acima das concentrações recomendadas [9]. Também se observou que a absorção de Cu pelas plantas foi maior nos tratamentos com fertilização mineral (T₂, T₃, T₄ e T₅) e naqueles tratamentos que receberam doses suplementares de Cu via sulfato de cobre (T₁₀, T₁₁, T₁₃ e T₁₄) (Figura 2).

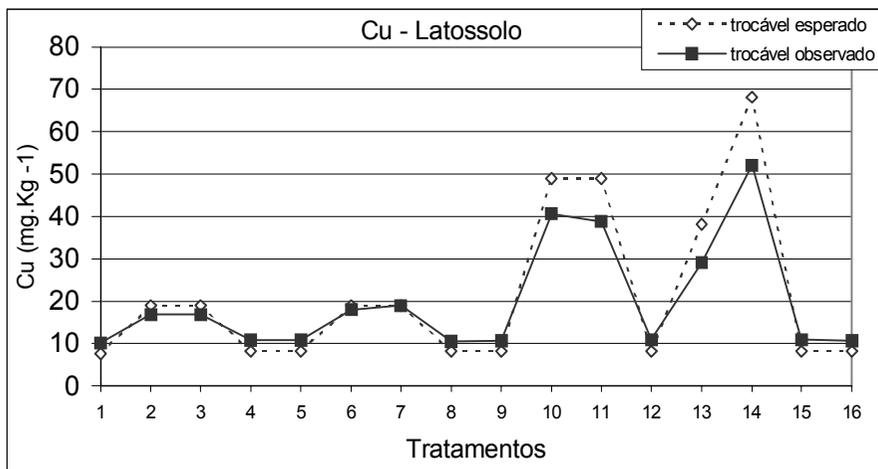
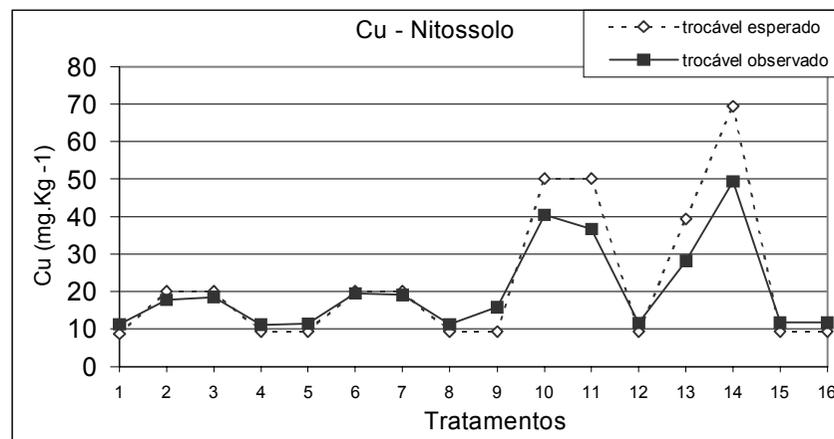
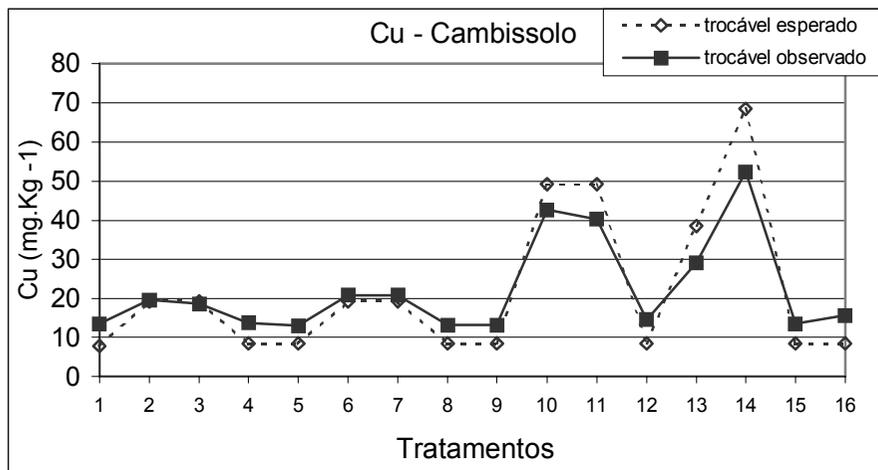


Figura 1. Relações entre concentrações de Cu trocável observadas e esperadas para os três solos utilizados nos 16 tratamentos.

A absorção de Cu pelas plantas nos diferentes solos foi menor para o Nitossolo, possivelmente pelas suas concentrações naturais serem menores e pelos seus atributos químicos que condicionam para uma maior capacidade de adsorção. Em todos os tratamentos, a absorção de Cu pelas plantas foi maior no Latossolo.

Comparando os teores observados com os dados de literatura, nota-se que as concentrações de Cu nos tecidos ficaram dentro de uma faixa normal [16]. Teores de 1 a 3,5 mg Kg⁻¹ são apresentados por [17], citados por [18], como concentração crítica de deficiência, estando a concentração crítica tolerável para a maioria das culturas entre 15 e 30 mg Kg⁻¹. No presente trabalho, as concentrações observadas ficaram acima da concentração crítica de deficiência, porém abaixo da concentração crítica tolerável. Para Zn nos tecidos vegetais verificou-se comportamento similar ao do Cu (dados não mostrados).

Embora o Latossolo apresente teores naturais sensivelmente menores do que o Cambissolo e o Nitossolo, os teores de Zn nos tecidos foram semelhantes para os três solos, demonstrando que suas propriedades químicas o tornam um solo mais vulnerável e com menor capacidade de retenção destes cátions. A maior disponibilidade dos nutrientes para as plantas e a vulnerabilidade para permitir a lixiviação de metais é controlada pelas propriedades de cada solo, tais como, os minerais de argila e óxidos de Fe, Al e Mn, preferencialmente amorfos, a fração orgânica através do fornecimento de sítios de troca e a formação de complexos com esses metais. Como o Latossolo é um solo mais intemperizado, composto basicamente de óxidos de Fe e Al já cristalizados, possui menor CTC do que os demais solos [19] permitindo maior disponibilidade às plantas e sendo mais vulnerável à perda de cátions através de lixiviação.

Os resultados obtidos até o presente evidenciam a existência de diferenças marcantes entre os solos quanto ao controle da disponibilidade de Cu e Zn para as plantas e, por conseguinte, na sua capacidade de suporte de metais pesados no solo, sem que ocorra toxicidade destes elementos no período de tempo do presente estudo aos componentes dos ecossistemas, quando do uso de dejetos de suínos como fertilizante do solo.

Teores de Cu e Zn em águas percoladas

Os teores de Cu e Zn encontrados nas águas percoladas estiveram abaixo dos limites de detecção do aparelho utilizado⁶. Com isso, os dados gerados apresentaram um coeficiente de variação elevado, não permitindo avaliações seguras dos efeitos dos fatores sobre o comportamento das variáveis Cu e Zn percolados. Como principal resultado, entretanto, pode-se verificar que no período da realização do presente estudo, os teores percolados de Cu e Zn dos três solos foram baixos. No entanto, não se pode prever com segurança por quanto tempo estes teores se manterão baixos. Pode-se esperar que à medida que o solo receba novos aportes desses cátions, as quantidades tenderão a aumentar até atingirem concentrações que venham a comprometer a qualidade dos recursos hídricos.

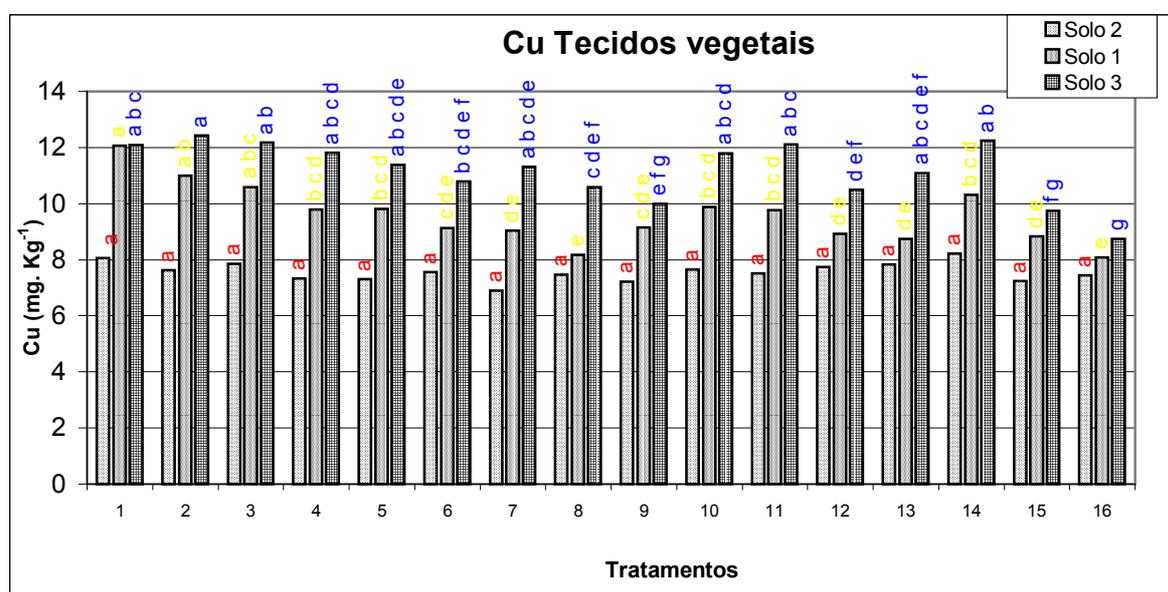


Figura 3. Teores de Cu nos tecidos vegetais nos solos – 1) Cambissolo, 2) Nitossolo e 3) Latossolo.

Valores seguidos pela mesma letra dentro de solo não diferem entre si pelo teste t (5%).

Balço de nutrientes nos solos

Para avaliar o processo de acúmulo de Cu e Zn no solo realizou-se um exercício de balanço de entradas e saídas no sistema. O estudo é uma simulação do processo que ocorre naturalmente no solo, ou seja, a aplicação de certa quantidade de um dado elemento via dejetos, e um percentual de retirada do sistema através da produção e de perdas ambientalmente aceitáveis. Para exemplificar o exposto, apresenta-se o balanço de entradas e saídas de Cu para os três solos ao final do terceiro ciclo de experimentação (Tabelas 8).

⁶ O aparelho de absorção atômica marca Varian modelo SpectrAA 220 tem sua faixa de leitura de 0,03 a 10 mg L⁻¹ para Cu, e de 0,01 a 2 mg L⁻¹ para Zn. Enquanto, os resultados médios observados para as águas percoladas, mesmo após o processo de concentração das amostras, apresentaram concentrações médias de 0,04 e 0,02 para Cu e Zn, respectivamente.

Observou-se para os três solos que em todos os tratamentos as retiradas de Cu e Zn do sistema, através das plantas e águas de percolação foram insignificantes diante das entradas e dos teores presentes nos solos, concordando com as informações da literatura [20]. Se por um lado, este dado indica baixo risco de contaminação de outros ecossistemas e a transferência através da cadeia alimentar para organismos como o homem, por outro, reforça a idéia da acumulação no solo e, conseqüentemente indica para os riscos de se atingir concentrações que comprometam a funcionalidade dos ecossistemas em função do tempo de aplicação de dejetos no solo para fertilização de culturas agrícolas.

De acordo com os resultados obtidos, não foi possível determinar quais são os limites seguros de Cu e Zn nos solos do Oeste de Santa Catarina estudados. No entanto, pode-se fazer a estimativa do acúmulo anual de Cu e Zn que está ocorrendo nos solos da região. De acordo com a composição físico-química comumente encontrada nos dejetos, para cada aplicação que atenda as exigências em N da cultura do milho, há uma adição de 0,71 mg Cu Kg solo⁻¹ e 2,41 mg Zn Kg solo⁻¹ [21] ou 1,04 mg Cu Kg solo⁻¹ e 8,00 mg Zn Kg solo⁻¹ [22]. Em adição, muitas áreas agrícolas recebem mais de uma aplicação anual de dejetos sem o uso de qualquer critério para a definição de doses. Em conseqüência, existe um maior risco de acúmulo de Cu e Zn nessas áreas.

Se forem consideradas as normas estabelecidas para os países Europeus, onde se permite atingir até 140 mg Cu Kg solo⁻¹ e 300 mg Zn Kg solo⁻¹, os solos do Oeste de Santa Catarina já teriam os limites de Cu extrapolados, pois seus teores naturais partem da faixa de 200 mg Kg⁻¹. Por outro lado, para o Zn, poderiam ser acumulados ainda cerca de 80 a 120 mg Zn Kg solo⁻¹, o que permitiria a aplicação de dejetos por mais 10 a 15 anos. Dessa forma, considerando o tempo que este elemento vem sendo usado em altas concentrações nas rações, possivelmente já existem áreas onde estes limites foram ultrapassados.

Tabela 8. Balanço de entradas e saídas de Cu para o Cambissolo, Nitossolo e Latossolo nos dezesseis tratamentos.

Tratamento	Cambissolo				Nitossolo				Latossolo			
	Teor Natural	Adicionado	Extraído	Saldo	Teor Natural	Adicionado	Extraído	Saldo	Teor Natural	Adicionado	Extraído	Saldo
	mg kg solo ⁻¹											
1	329,87	0	0,008	329,86	202,58	0	0,02	202,56	217,030	0	0,010	217,020
2	329,87	11,32	0,033	341,16	202,58	11,32	0,04	213,86	217,030	11,320	0,046	228,304
3	329,87	11,32	0,031	341,16	202,58	11,32	0,04	213,86	217,030	11,320	0,046	228,304
4	329,87	0,56	0,034	330,40	202,58	0,56	0,05	203,09	217,030	0,560	0,051	217,539
5	329,87	0,56	0,035	330,40	202,58	0,56	0,04	203,10	217,030	0,560	0,049	217,541
6	329,87	11,32	0,027	341,16	202,58	11,32	0,02	213,88	217,030	11,320	0,043	228,307
7	329,87	11,32	0,025	341,17	202,58	11,32	0,02	213,88	217,030	11,320	0,037	228,313
8	329,87	0,56	0,026	330,40	202,58	0,56	0,03	203,11	217,030	0,560	0,046	217,544
9	329,87	0,56	0,028	330,40	202,58	0,56	0,03	203,11	217,030	0,560	0,049	217,541
10	329,87	41,32	0,022	371,17	202,58	41,32	0,02	243,88	217,030	41,320	0,037	258,313
11	329,87	41,32	0,022	371,17	202,58	41,32	0,02	243,88	217,030	41,320	0,034	258,316
12	329,87	0,56	0,025	330,40	202,58	0,56	0,03	203,11	217,030	0,560	0,044	217,546
13	329,87	30,56	0,026	360,40	202,58	30,56	0,03	233,11	217,030	30,560	0,043	247,547
14	329,87	60,56	0,023	390,41	202,58	60,56	0,03	263,11	217,030	60,560	0,043	277,547
15	329,87	0,56	0,025	330,41	202,58	0,56	0,03	203,11	217,030	0,560	0,041	217,549
16	329,87	0,56	0,019	330,41	202,58	0,56	0,02	203,12	217,030	0,560	0,032	217,558

CONCLUSÕES

Não foram observados efeitos de toxicidade de Cu e Zn sobre a produção de biomassa das plantas durante os três primeiros ciclos de cultura, independentemente das concentrações e fonte desses elementos. Por outro lado, observou-se diferença entre tratamentos na produção de matéria seca, principalmente, entre os tratamentos com fertilizante mineral e com dejetos; ocorrendo maior produção para os tratamentos com fertilizante mineral. Tais efeitos, porém, não puderam ser atribuídos com segurança à presença de Cu e Zn. A inexistência de efeitos de Cu e Zn sobre a produção de matéria seca nos três primeiros ciclos de cultura não significa que os limites de Cu e Zn alcançados não possam comprometer o ecossistema. Cabe lembrar que a produção de biomassa é uma variável que representou o componente planta do sistema; existindo outros componentes do solo que precisam ser estudados.

A comparação da produção de biomassa nos diferentes solos demonstrou que as plantas cultivadas no Nitossolo produziram mais biomassa, seguidas pelas plantas do Latossolo e do Cambissolo.

Os teores de Cu e Zn trocáveis aumentaram à medida que os ciclos de cultivo foram realizados; inclusive no tratamento sem adição de Cu e Zn, indicando que as condições experimentais afetaram a solubilidade desses elementos nos solos. Observou-se aumento dos teores de Cu e Zn trocáveis no solo de acordo com a adição de Cu e Zn nos tratamentos. Observou-se também, que os teores trocáveis foram maiores nos tratamentos com dejetos de suínos comparados aos tratamentos equivalentes em Cu e Zn via fertilizante mineral.

Em relação ao fator solo, aqueles que possuíam teores naturais mais elevados mantiveram suas concentrações elevadas. Para Cu trocável foi observado que o Cambissolo manteve uma proporção maior entre os teores observados e teores esperados e para Zn trocável esta relação observado/esperado foi maior para o Nitossolo. Em relação ao efeito dos solos, verificou-se que o Latossolo proporcionou maior solubilidade de Cu, já que os teores nos tecidos foram significativamente maiores em relação aos demais solos. Para o Zn, os teores nos tecidos foram semelhantes independente do solo, porém os teores naturais de Zn no Latossolo foram bastante inferiores.

As espécies cultivadas demonstraram comportamentos diferentes quanto ao acúmulo de Cu e Zn nos tecidos. A aveia absorveu as maiores concentrações, enquanto que o milho acumulou as menores.

Quanto aos efeitos de tratamentos, observou-se que a adição de Cu ou Zn promoveu aumento nos tecidos vegetais. Observou-se contraste entre tratamentos com fertilizante mineral (T₂, T₃, T₄ e T₅) e com dejetos de suínos (T₆, T₇, T₈ e T₉), ocorrendo maior absorção desses elementos nos tratamentos com fertilizante mineral em relação aos correspondentes via dejetos de suínos.

As concentrações de Cu e Zn nas águas percoladas foram baixas (no limite mínimo de detecção do aparelho de absorção atômica). De qualquer forma, é possível inferir que as concentrações nas águas percoladas permanecem baixas em tempos curtos de aplicação de dejetos no solo.

No balanço de entradas e saídas de Cu e Zn, verificou-se que as retiradas do sistema são insignificantes diante das entradas, conduzindo com isso para um processo de acúmulo desses elementos no solo. Por outro lado, este resultado indica baixo risco de contaminação de outros locais através das perdas ambientais e através dos produtos extraídos.

Os resultados obtidos até o presente, decorrentes de um ano de estudo, proporcionaram contribuição parcial ao complexo problema que é a poluição ambiental por dejetos de suínos. Para avançar na abordagem e na busca de soluções, recomenda-se a continuidade dos estudos. Nesta direção, recomenda-se avaliar indicadores mais sensíveis da funcionalidade dos ecossistemas, tais como a comunidade microbiana do solo, diversificar as espécies cultivadas, tais como leguminosas, crucíferas e outras que têm potencial econômico na região Oeste Catarinense, conduzir os ciclos de experimentação até a produção de grãos da espécie cultivada possibilitando o estudo de outras variáveis.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] ICEPA-INSTITUTO CEPA. *Síntese Anual da Agricultura de Santa Catarina – 1998-1999*. Florianópolis SC. 1999. 170p.
- [2] OLIVEIRA, P.A.V. *et al. Manual de Manejo e Utilização dos Dejetos de Suínos*. Concórdia: EMBRAPA-CNPSA. 1993. 188p. (EMBRAPA-CNPSA, Documentos, 27).
- [3] BRANDJES, P.J.; WIT, J de.; MEER, H.G. van der; KEULEN, H. van. *Livestock and the Environment Finding a Balance: Environmental impact of animal manure management*. International Agriculture Centre. Wageningen, Netherlands. 1996.
- [4] Simioni, J. *Suinocultura, dejetos e riscos ambientais – Avaliação do risco da acumulação de Cu e Zn nos solos fertilizados com dejetos de suínos*. Florianópolis: UFSC, Programa de Pós-Graduação em Agroecossistemas. 2001. 143p. Dissertação de Mestrado.
- [5] SEGANFREDO, M.A. *A Questão ambiental na utilização de dejetos de suínos como fertilizante do solo*. EMBRAPA - Suínos e Aves. Concórdia-SC. 35p. 2000. (Circular Técnica 22).
- [6] SCHERER, R.E.; CASTILHOS, E.G. de; JUCKSCH, I.& NADAL, R. de. *Efeito da adubação com esterco de suínos, nitrogênio e fósforo em milho*. Florianópolis, EMPASC. 1984. 26p. (EMPASC. Boletim Técnico, 24).

- [7] SCHERER, R.E. & BALDISSERA, I.T. Aproveitamento dos dejetos suínos como fertilizante. *In: Dia de campo sobre manejo e utilização dos dejetos de suínos*. Concórdia-SC. Concórdia: EMBRAPA-CNPSA, 1994. p. 47. (EMBRAPA-CNPSA, Documentos, 23).
- [8] COMISSÃO DE FERTILIDADE DO SOLO RS/SC. *Recomendações de adubação e calagem para os estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina*. 3^a ed., SBCS-Núcleo Regional Sul, Passo Fundo-RS 1995. 224p.
- [9] SEGANFREDO, M.A. *Determinação de indicadores da qualidade do solo, água e de plantas na utilização de dejetos de suínos como fertilizante do solo*. EMBRAPA/CNPSA, 1997. (Projeto de Pesquisa)
- [10] EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Sistema brasileiro de classificação de solos. EMBRAPA: Brasília, 1999. 412p.
- [11] TEDESCO, M.J.; GIANELLO, C.; BISSANI, C.A.; BOHEN, H. & WOLWEIS, S.J. Análise de solo, plantas e outros materiais. Departamento de Solos, UFRGS, Porto Alegre 1995. (2^a edição)
- [12] McGRATH, S.P. & CUNLIFFE, C.H.A. A simplified method for the extraction of the metals Fe, Zn, Cu, Ni, Cd, Pb, Cr, Co and Mn from soils and sewage sludges. *J. Sci. Food Agro.*, v. 36, p. 794-798. 1985.
- [13] VITTI, G.C.; FERREIRA, A.C.; BRAGA, G. & GOMES, M.T.B. Métodos de análises de elementos em matéria vegetal. ESALQ/USP: Piracicaba, SP. 2000.
- [14] HAMON, R.E.; HOLM, P.E. LRENZ, S.E., McGRATH, S.P. & CHRISTENSEN, T.H. Metal uptake by plants from sludge-amended soils: caution is required in the plateau interpretation. *Plant and Soil*: 216: 53-64. 1999.
- [15] CAMARGO, O.A.de. Micronutrientes no solo. *In: Enxofre e micronutrientes na Agricultura Brasileira*. Editores: C. M. Borkert e A. F. Lantmann. Londrina, Embrapa-CNPSO/IAPAR/SBCS. 1988.
- [16] DECHEN, A.R.; HAAG, H.P.; CARMELLO, Q.A.C. Avaliação do estado nutricional da planta e disponibilidade no solo. *In: Micronutrientes na Agricultura*. M. E. Ferreira & M.C.P. Cruz (eds.). Anais Simpósio Sobre Micronutrientes na Agricultura. Piracicaba: POTAFOS/CNPq. 1991. 734p.
- [17] RÖMHELD, V. & MARSCHNER, H. Functions of micronutrients in plants. *In: MORTVEDT, J.J.; COX, F.R.; SHUMAN, L.M. & WELCH, R.M. (eds). Micronutrients in agriculture*, 2^a ed. Madison, Soil Science Society of America, Inc. 1991. p 297-328.
- [18] ABREU, C.A.; FERREIRA, M.E. & BORKERT, C.M. Disponibilidade e avaliação de elementos catiônicos: Zn e Cu. 1999. (mimeografado)

- [19] VAN RAIJ, B & BATAGLIA, O. C. Análise Química do Solo. *In: Micronutrientes na Agricultura*. M. E. Ferreira & M.C.P. Cruz (eds.). *Anais Simpósio Sobre Micronutrientes na Agricultura*. Piracicaba: POTAFOS/CNPq. 1991. 734p.
- [20] WITTER, E. Towards zero accumulation of heavy metals in soils. An imperative or a fad. *Fertilizer Research* 43: 225-233. 1996.
- [21] SEGANFREDO, M.A. Efeitos de dejetos de suínos sobre o N-total, amônio e nitratos na superfície e subsuperfície do solo. *In: Anais Reunião Sul-Brasileira de Ciência do Solo*, 2. Santa Maria – RS. 1998.
- [22] PERDOMO, C.C. Uso racional de dejetos suínos. *In: Anais...Seminário Internacional De Suinocultura*, 1. Campinas, SP. p1-19. 1996.