

Extração sequencial para avaliação de Cu, Zn, Mn, Cd, Ni, Cr e Pb em solos com aplicação de dejetos de animais

A disposição de dejetos animais resulta no incremento de alguns elementos-traço (ET) no solo, sendo que fatores como tempo e dose de aplicação podem ocasionar impactos ambientais. Assim sendo, o objetivo do presente trabalho foi determinar a distribuição de ETs entre frações químicas de diferentes graus de solubilidade em amostras de solos com longo histórico de aplicação de dejetos de animais. Utilizaram-se amostras de solo (0-10 cm) de duas áreas experimentais de campo, localizadas no Oeste de Santa Catarina, em delineamento de blocos casualizados, com três repetições. Na área experimental 1, foram avaliados os tratamentos controle (C) com adubação mineral sem adição de fontes de nitrogênio; esterco líquido de suínos (ELS) e adubação mineral (AM). Na área experimental 2, foram avaliados os tratamentos testemunha (T), tratamento sem a adição de adubação; composto de esterco suíno (CES) e composto de esterco de aves (CEA). Foi utilizado o método proposto por Tessier et al. (1979) com adaptações. Em ambas as áreas, os ETs com teores mais expressivos foram Mn, Cu e Zn. Foi evidenciado incremento de Zn, principalmente, considerando-se a quantidade pseudo total em relação aos teores tidos como naturais. Entretanto, o solo foi capaz de desempenhar sua função de reter os ETs na fase sólida, uma vez que o fracionamento químico indicou teores pouco expressivos destes nas frações solúvel e trocável, que representam as formas mais biodisponíveis, o que indicam que, até o momento, os solos estão cumprindo satisfatoriamente sua função de dreno e de imobilização dos ETs.

Palavras-chave: Fracionamento químico; Adubação orgânica; Mobilidade no solo.

Sequential extraction for evaluation of Cu, Zn, Mn, Cd, Ni, Cr, and Pb in animals with animal feed application

The disposition of animal wastes results in the increase of some trace elements (TE) in the soil, and factors such as time and dose of application can cause environmental impacts. Thus, the objective of the present work was to determine the distribution of TEs between chemical fractions of different degrees of solubility in soil samples with a long history of application of animal waste. Soil samples (0-10 cm) of two field experimental areas, located in the west of Santa Catarina, were used in a randomized complete block design with three replicates. In experimental area 1, control treatments (C) with mineral fertilization without addition of nitrogen sources were evaluated; pig manure (ELS) and mineral fertilization (AM). In the experimental area 2, the control treatments (T), treatment without the addition of fertilization were evaluated; composed of swine manure (CES) and poultry manure compost (CEA). The method proposed by Tessier et al. (1979) with adaptations. In both areas, TEs with more expressive contents were Mn, Cu and Zn. It was evidenced an increase of Zn, mainly considering the total pseudo quantity in relation to the contents considered as natural. However, the soil was able to perform its function of retaining the ETs in the solid phase, since the chemical fractionation indicated little expressive levels of these in the soluble and exchangeable fractions, which represent the most bioavailable forms, indicating that up to the moment the soils are satisfactorily fulfilling their drainage and immobilization function of the TEs.

Keywords: Chemical fractionation; Organic fertilization; Soil mobility.

Topic: **Desenvolvimento, Sustentabilidade e Meio Ambiente**

Received: **04/12/2020**

Approved: **21/12/2020**

Reviewed anonymously in the process of blind peer.

Yara Jurema Barros 

Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Brasil
<http://lattes.cnpq.br/7836424645893531>
<http://orcid.org/0000-0003-3747-5838>
yarajuba@gmail.com

Carlos Alberto Bissani 

Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Brasil
<http://lattes.cnpq.br/8749888202116358>
<http://orcid.org/0000-0002-7279-4474>
carlos.bissani@ufrgs.br

Flavio Anastácio de Oliveira Camargo 

Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Brasil
<http://lattes.cnpq.br/2047801513928189>
<http://orcid.org/0000-0003-1080-0549>
fcamargo@ufrgs.br

Evandro Spagnollo 

Universidade Federal de Santa Maria, Brasil
<http://lattes.cnpq.br/1216887562307008>
<http://orcid.org/0000-0003-2264-1418>
spagnollo@epagri.sc.gov.br



DOI: 10.6008/CBPC2179-6858.2020.007.0034

Referencing this:

BARROS, Y. J.; BISSANI, C. A.; CAMARGO, F. A. O.; SPAGNOLLO, E. Extração sequencial para avaliação de Cu, Zn, Mn, Cd, Ni, Cr e Pb em solos com aplicação de dejetos de animais. **Revista Ibero Americana de Ciências Ambientais**, v.11, n.7, p.424-436, 2020. DOI: <http://doi.org/10.6008/CBPC2179-6858.2020.007.0034>

INTRODUÇÃO

A produção de aves e suínos concentra-se, cada vez mais, em microrregiões produtoras, as quais dispõem seus resíduos em áreas da circunvizinhança. Os dejetos de suínos possuem pouca quantidade de matéria seca, o que traz dificuldades como o encarecimento de seu transporte para áreas de maior distância, fazendo com que haja concentração nas áreas produtivas (OLIVEIRA, 2004). Os dejetos animais são fontes de nutrientes, como N, P e K, contudo trazem em sua composição elementos-traço (ET) como o Cu, o Zn e o Mn, os quais são adicionados na dieta alimentar dos animais com fins medicinais, além de outros.

Estudos realizados em solos com aplicação continuada de dejetos apontam que os ET adicionados à dieta dos animais, os quais são excretados numa taxa de 70 a 95 % do Mn, Zn e Cu, conforme estudos de Kornegay et al. (1997), são acumulados nas camadas mais superficiais, podendo migrar em profundidade, ficando estes ET, como o Cu e o Zn em formas mais biodisponíveis (SCHERER et al., 2010; GIROTTO et al., 2010; LONDOÑO, 2012).

A consequência deste acúmulo pode levar a alteração da atividade microbiana, fitoxidez, bem como bioacumulação por animais e pelo homem. Além disso, segundo Girotto (2007) o escoamento superficial pode carrear os ET, o que causará uma contaminação difusa. Os elementos-traço não se degradam e podem acumular-se nos componentes do ambiente onde manifestam sua toxicidade, sendo os solos e sedimentos seus locais de fixação (BAIRD, 2002). Com relação ao solo, os ET podem estar ligados às superfícies sólidas, como a matéria orgânica e as argilas, ou ainda apresentar-se na forma de precipitados.

Estudos de extração sequencial tem o objetivo de avaliar as formas químicas de metais pesados no solo (HONG et al., 2002) e assim determinar a presença dos metais nas frações solúvel, trocável, carbonatos, óxidos, orgânica e residual. Os tipos de ligação e intensidade destas nos proporcionam conhecimento a respeito da disponibilização dos ET adicionados ao solo, sendo as frações mais prontamente disponíveis a solúvel e a trocável, e, as menos disponíveis a oxídica e a residual.

Os diferentes ET possuem distintas afinidades pelas diferentes frações estabelecidas para realizar procedimentos como extração sequencial no solo. No caso do Cu e do Zn, por exemplo, o Cu possui maior afinidade pelos sítios disponíveis na matéria orgânica do solo (GOMES, 1997; MCBRIDE, 1997), já o Zn possui maior afinidade pela fração oxídica do solo seguida da retida na matéria orgânica (LINDSAY, 1972), sendo este último normalmente encontrado com pequena participação na fração trocável e solúvel (OLIVEIRA et al., 2003). Assim, tem-se verificado que os elementos de maior mobilidade se encontram, predominantemente, nas formas químicas solúvel, trocável e ligados a carbonato, enquanto os de baixa mobilidade aparecem ligados às frações óxidos de Fe, Mn, além das frações orgânica e residual (AMARAL SOBRINHO et al., 1994).

Todavia, adições contínuas podem ocasionar, principalmente nos horizontes mais superficiais, um aumento de ET na solução do solo, como demonstram os trabalhos de Scherer et al. (2010) e Girotto et al. (2010). O primeiro, trabalhando com solos da região oeste de Santa Catarina com histórico no uso de dejetos de suínos como fertilizante, encontrou acúmulo de Cu e Zn nas camadas superficiais do solo, principalmente

até a profundidade de 5 cm. O segundo demonstrou que aplicações sucessivas de dejetos líquidos de suínos no solo aumentaram os teores de Cu e Zn das camadas superficiais, com migração até 12 e 10 cm de profundidade, sendo acumulados no solo em formas mais biodisponíveis, além das frações orgânica e mineral.

Desta forma, o estudo dos modos e quantidades da distribuição dos ET no solo fornecem um indicativo de como estes fertilizantes orgânicos estão interagindo no solo, e, pode auxiliar no diagnóstico ambiental de determinado local. O objetivo deste estudo foi verificar o impacto da aplicação de dejetos animais na distribuição das frações químicas dos ET, de modo a avaliar seu potencial de biodisponibilidade e mobilidade.

METODOLOGIA

Este estudo teve por base amostras de solo coletadas de dois experimentos localizados em Chapecó, oeste do Estado de Santa Catarina, sobre um Latossolo Vermelho distroférrico, conduzidos no Centro de Pesquisa de Agricultura Familiar (CEPAF), da Empresa de Pesquisa e Extensão Rural de Santa Catarina (Epagri). O clima da região dos experimentos, segundo a classificação de Köppen, é do tipo Cfa, subtropical úmido com verão quente. O relevo é suave ondulado a ondulado.

O experimento 1 (de coordenadas geográficas 27°05'05.24"S e 52°38'00.97"O e 685 m de altitude) foi iniciado em 1996 e apresentou as seguintes sequências de culturas, todas em plantio direto: de 1996 a 1999 - milho/aveia preta; de 2000 a 2010 - sorgo ou milheto/aveia preta ou azevém (retirado 1º e 2º corte e deixado o 3º corte); a partir de 2011 - milho/aveia preta. Os tratamentos avaliados no presente estudo são: Controle (C): adubado sem N, Esterco Líquido Suíno (ELS), na dose 240 kg de N ha⁻¹ ano⁻¹, e Adubação Mineral (AM), na mesma dose de N, com aplicação superficial de ureia em duas etapas a cada estação de inverno e verão.

O experimento 2 (de coordenadas geográficas 27°05'18.60"S e 52°38'17.59"O e 643 m de altitude) foi iniciado em 2005, tendo a seguinte sequência de culturas, todas em plantio direto: de 2005 a 2013 - milho/aveia/feijão/mucuná/milho; a partir de 2013 - milho/aveia preta. Os tratamentos avaliados no presente estudo foram os seguintes: Testemunha (T): sem adubação, Composto de Esterco Suíno (CES) e Composto de Esterco de Aves (CEA), ambos na dose 10 t ha⁻¹ ano⁻¹ em base seca, sendo aplicada a metade desta dose nos anos de cultivo com espécie leguminosa.

O solo foi coletado na profundidade de 0 a 10 cm, passando por processo de secagem e posterior peneiramento em malha de 2 mm, para obtenção da terra fina seca ao ar (TFSA). A coleta foi realizada em mini trincheiras, com pá-de-corte, durante o mês de dezembro de 2015. Os procedimentos foram realizados no Laboratório de Química do Solo e no Laboratório de Fertilidade do Solo na Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

Caracterização química, física e mineralógica do solo

A caracterização química foi baseada em Tedesco et al. (1995), com exceção dos teores de carbono

orgânico (CO) e de nitrogênio foram determinados por combustão seca em analisador modelo Analisador CN Fisher Scientific Modelo Flash 2000.

As análises físicas realizadas foram a determinação da capacidade de campo (CC), em mesa de tensão com pressão de 6 kPa, e a análise textural, pelo método da pipeta, segundo EMBRAPA (1997). Quanto às análises relacionadas à mineralogia do solo, foram determinados os teores de ferro cristalino e de baixa cristalinidade (amorfo) conforme Donagema et al. (2011).

Os tratamentos foram comparados por área por meio de ANOVA e pelo teste de Tukey a 5% de significância, por meio do programa Sisvar (FERREIRA, 2014). Nas Tabelas 1, 2 e 3 pode ser visualizada a adição dos nutrientes ao longo do tempo pela aplicação dos dejetos animais, e na Tabela 4, a caracterização química, física e mineralógica do solo das áreas dos experimentais.

Tabela 1: Adição de nutrientes desde o início do experimento pela aplicação de esterco líquido suíno (ESL)

Ano	N	P	K	Cu	Mn	Zn
	kg ha ⁻¹					
1997	240	49	70	2,3	2,8	2,2
1998	240	86	101	2,3	2,8	2,2
1999	240	62	114	2,3	2,8	2,2
2000	240	42	62	2,3	2,8	2,2
2001	240	59	73	2,3	2,8	2,2
2002	240	49	78	1,4	4,0	2,0
2003	240	77	132	2,3	2,8	2,2
2004	240	61	165	1,7	4,1	1,9
2005	240	70	111	2,7	5,3	4,3
2006	240	55	77	1,3	3,1	1,9
2007	240	64	66	0,8	2,6	2,6
2008	240	45	59	1,0	1,8	1,5
2009	240	90	61	2,1	3,0	1,4
2010	240	103	45	2,8	1,5	3,2
2011	240	90	97	2,5	2,0	2,5
2012	240	104	99	1,8	1,4	1,6
2013	240	52	126	3,5	1,6	2,4
2014	240	36	170	1,8	1,7	0,9
2015	240	85	135	5,3	5,0	2,7
Total	4560	1277	1843	42	54	42

Tabela 2: Adição de nutrientes desde o início do experimento pela aplicação de composto de esterco suíno (CES)

Ano	N	P	K	Ca	Mg	Cu	Mn	Zn
	kg ha ⁻¹							
2003	160	68	142	107	50,1	10,7	23,3	28,1
2004	141	98	185	106	50,1	10,7	23,3	28,1
2005	92	46	56	18	15,5	5,2	17,9	11,3
2006	142	120	92	71	36,0	28,6	56,5	40,4
2007	74	67	58	32	40,0	14,9	36,3	27,6
2008	136	123	118	88	53,0	20,3	72,1	57,2
2009	59	51	69	29	13,0	6,4	7,5	23,8
2010	129	72	148	90	27,0	23,0	30,0	27,0
2011	80	51	87	98	44,0	2,5	2,9	2,5
2012	201	117	135	160	67,0	3,2	4,8	22,4
2013	261	130	165	190	94,0	6,0	6,6	45,3
2014	261	130	165	190	94,0	6,0	6,6	45,3
2015	231	84	176	209	67,0	1,6	15,7	5,9
Total	1966	1157	1595	1387	651	139	303	365

Tabela 3: Adição de nutrientes desde o início do experimento pela aplicação de composto de esterco de aves (CEA)

Ano	N	P	K	Ca	Mg	Cu	Mn	Zn
	kg ha ⁻¹							
2003	168	49	128	363	85	6,6	21,3	13,9
2004	401	136	265	363	85	6,6	21,3	13,9

2005	134	62	116	346	72	2,2	5,3	5,3
2006	283	152	251	82	92	9,5	53,1	31,8
2007	108	94	130	32	73	5,4	30,1	17,6
2008	352	151	177	292	103	17,0	32,9	12,5
2009	150	65	153	282	86	10,9	18,2	15,6
2010	224	131	98	1309	62	14,0	64,0	46,0
2011	126	53	42	431	30	0,7	4,1	2,7
2012	392	230	275	376	103	2,9	5,2	3,3
2013	245	139	185	230	91	1,6	7,6	6,1
2014	245	139	185	230	91	1,6	7,6	6,1
2015	359	323	434	382	134	7,3	6,5	5,7
Total	3186	1724	2438	4717	1106	86	277	180

Tabela 4: Caracterização química, física e mineralógica do solo das áreas dos experimentos 1 e 2 (médias de três repetições)

Variável	Unidades	Experimento 1						Experimento 2						SN		
		C	ELS	AM	CV (%)	T	CES	CEA	CV (%)							
pH		5,9	a	5,5	ab	5,0	b	4,76	6,2	b	6,3	ab	6,8	ab	3,01	3,9
H+Al		4,0	a	4,6	a	6,8	a	38,35	3,1	a	2,8	a	2,4	a	15,01	25,1
Al ³⁺		0,0	a	0,0	a	1,2	a	207,84	0,0	a	0,0	a	0,0	a	0,00	4,5
Na ⁺		0,1	a	0,1	a	0,1	a	3,85	0,1	b	0,3	a	0,3	a	2,20	nd
K ⁺		0,3	ab	0,4	a	0,2	b	20,05	0,2	b	0,8	a	0,9	a	20,08	0,7
Ca ²⁺	cmol _c kg ⁻¹	4,5	a	4,4	a	2,6	a	26,63	5,9	b	7,5	ab	9,1	a	13,46	1,8
Mg ²⁺		0,5	a	0,5	a	0,2	a	36,45	0,6	a	0,7	a	0,6	a	9,55	0,7
S		5,4	a	5,3	a	3,0	a	25,05	6,8	b	9,4	ab	10,9	a	12,59	3,2
CTC efetiva		5,4	a	5,3	a	4,2	a	9,23	6,8	b	9,4	ab	10,9	a	12,59	7,2
CTC Total		9,4	a	9,9	a	9,9	a	9,82	9,9	a	12,2	a	13,3	a	11,32	27,9
m		0,7	a	0,2	a	26,7	a	198,83	0,0	a	0,0	a	0,0	a	0,00	61,3
V	%	57,1	a	53,3	a	34,7	a	24,35	67,9	b	77,2	a	81,9	a	4,16	10,7
N	g kg ⁻¹	2,1	a	2,4	a	2,3	a	6,40	1,8	b	2,9	a	2,6	ab	10,40	nd
C org		24,9	a	27,8	a	27,1	a	7,78	21,0	b	32,0	a	27,2	ab	11,39	33,9
Relação C/N		11,6	a	11,6	a	11,5	a	1,81	11,4	a	11,1	ab	10,6	b	2,30	nd
P	mg kg ⁻¹	390,5	a	335,8	a	317,8	a	17,79	404,9	a	552,5	a	547,0	a	10,29	4,2
Areia		147,5	a	147,5	a	141,4	a	10,03	106,1	b	127,3	a	124,0	a	4,87	nd
Silte		269,5	a	319,7	a	273,3	a	10,24	345,6	a	348,4	a	365,4	a	4,27	nd
Argila	g kg ⁻¹	583,0	a	532,7	a	585,4	a	4,57	548,3	a	524,2	a	510,6	a	2,95	455,0
CC		426,1	a	433,9	a	443,3	a	4,05	434,4	a	471,2	a	457,0	a	3,60	nd
Fe ₂ O ₃ Amorfo	g kg ⁻¹	21,5	a	21,5	a	21,6	a	0,04	21,5	a	21,6	a	21,5	a	0,14	21,6
Fe ₂ O ₃ Cristalino		123,1	a	122,9	a	125,5	a	3,30	114,3	a	110,9	a	110,4	a	2,92	76,3

nd: não determinado. C: controle; ELS: esterco líquido suíno; AM: adubação mineral; CES: composto de esterco suíno; CEA: composto de esterco de aves. SN: solo natural: utilizado para o estudo 3 do presente trabalho.

Em cada experimento, na linha, valores seguidos de mesma letra não diferem significativamente entre si (Tukey, p<0,05).

Fracionamento dos elementos-traço

O método de extração para o fracionamento dos ET foi baseado na metodologia descrita por Tessier et al. (1979) com adaptações de Kummer (2014). As extrações foram realizadas em tubo de centrífuga de polietileno de 50 mL. Os extratos, após cada etapa de extração, foram estocados secos (secagem a 60°C durante 48 h) e pesados continuando no mesmo tubo de centrífuga. Para os ET Cd, Cr, Cu, Mn, Ni, Pb e Zn foram extraídas sequencialmente as frações solúvel (extrator: água ultra pura), trocável (solução de MgCl₂ 1,0 mol L⁻¹, pH 7), ligada a carbonatos (acetato de sódio 1,0 mol L⁻¹ com pH 5, ajustado com ácido acético), ligada a óxidos (cloridrato de hidroxilamina 0,04 mol L⁻¹ em 25% (v/v) de ácido acético), ligada à matéria orgânica (HNO₃ 0,02 mol L⁻¹, H₂O₂ 30% (pH 2), e após acetato de amônio 3,2 mol L⁻¹), e fração residual (utilizados 0,5 g das etapas anteriores: determinação dos teores pseudo totais conforme US EPA (1998)).

Em todos os extratos da extração sequencial, as concentrações de elementos-traços foram determinadas por espectroscopia de emissão por plasma induzido (ICP). Além disso, os teores pseudo totais

foram considerados como o somatório de todas as frações determinadas.

Análise estatística

Para cada área, os tratamentos com três repetições foram comparados por meio de ANOVA e pelo teste de Tukey a 5% de significância, com uso do programa Assistat (SILVA et al., 2016). Também foram estabelecidos coeficientes de correlação de Pearson entre atributos relação de Pearson pelo programa SAS versão 9.4.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os elementos traço (ET) de maior expressividade são o Mn, o Cu e o Zn para ambas as áreas experimentais analisadas (Tabelas 5 e 6 e Figuras 1 e 2). Para a área do experimento 1 houveram diferenças significativas principalmente para o Cu e o Zn na maioria das frações, à exceção das frações solúvel e trocável. Isto sugere que possivelmente o incremento destes ET está acontecendo, uma vez que o tratamento com ELS apresentou os maiores teores no solo.

No que diz respeito à área do experimento 2, foram encontradas diferenças estatísticas apenas para Cu e Zn, com maiores teores para os tratamentos com dejetos de animais, CES e CEA, com destaque para o primeiro tratamento, uma vez que este também teve os maiores incrementos destes ET (Tabelas 3 e 4).

Tabela 5: Fracionamento químico de elementos traço no solo das áreas dos experimentos 1

Fração	Tratamento	Cu	Zn	Mn	Cd	Ni	Cr	Pb
		mg kg ⁻¹						
1	C	96,20 a	45,04 b	645,48 a	4,83 a	9,17 a	20,76 a	22,17 a
	ELS	120,47 a	80,72 a	597 a	4,72 a	8,92 a	23,65 a	23,88 a
	AM	100,14 a	42,61 b	607,19 a	5,23 a	9,76 a	22,88 a	22,29 a
	CV (%)	11,33	12,76	12,75	5,96	8,35	9,47	11,52
2	C	nd	0,19	0,16	nd	1,00	nd	nd
	ELS	nd	0,01	nd	nd	nd	nd	0,03
	AM	nd	nd	0,07	0,01	0,01	nd	0,01
	CV (%)	nd	168,19	95,52	121,91	284,18	nd	254,64
3	C	nd	nd	15,69	nd	0,02 a	nd	nd
	ELS	nd	0,24	16,34	nd	0,01 a	nd	0,06
	AM	nd	nd	24,15 a	nd	0,01 a	nd	0,03
	CV (%)	nd	123,88	48,21	nd	118,22	nd	246,77
4	C	0,17 a	0,24 a	17,46 a	0,01 a	nd	nd	0,02 a
	ELS	0,36 a	0,91 a	14,84 a	0,01 a	nd	nd	nd a
	AM	0,15 b	0,07 b	12,75 a	0,01 a	nd	nd	0,01 a
	CV (%)	23,67	25,8	14,38	105,9	nd	nd	174,41
5	C	1,72 b	6,03 b	303,91 a	0,03 a	0,01 a	0,57 b	0,33 a
	ELS	4,78 a	22,69 a	272,29 a	0,07 a	0,01 a	0,72 ab	0,34 a
	AM	1,88 b	3,96 b	291,95 a	0,01 a	0,03 a	0,8 a	0,81 a
	CV (%)	32,86	21,63	17,84	111,85	96,71	8,59	76,64
6	C	14,74 b	3,06 b	107,69 a	nd	0,42 a	2,86 a	0,54 b
	ELS	29,99 a	10,43 a	97,89 a	nd	0,55 a	3,12 a	0,74 ab
	AM	13,82 b	2,04 b	73,76 a	nd	0,4 a	3,16 a	0,86 a
	CV (%)	6,9	43,18	28,46	nd	21,77	7,18	13,71
7	C	79,56 a	35,52 b	200,71 b	4,79 a	8,72 a	17,33 a	21,28 a
	ELS	85,34 a	46,45 a	195,63 a	4,64 a	8,26 a	19,81 a	22,71 a
	AM	84,29 a	36,63 b	204,51 a	5,2 a	9,27 a	18,93 a	20,52 a
	CV (%)	13,3	7,67	10,61	5,29	9,43	12	12,29

1: Metal Pseudo Total; 2: Fração Solúvel em Água; 3: Fração Trocável; 4: Fração Ligada à Carbonatos; 5: Fração Ligada à Óxidos de Fe

e Mn; 6: Fração Ligada à Matéria Orgânica; 7: Fração Residual. nd: não detectado. C: controle; ELS: esterco líquido suíno; AM: adubação mineral. Na coluna, valores seguidos de mesma letra não diferem significativamente entre si Tukey, p<0,05).

Tabela 6: Fracionamento químico de elementos traço no solo das áreas dos experimentos 2

Fração	Tratamento	Cu	Zn	Mn	Cd	Ni	Cr	Pb
		mg kg ⁻¹						
1	T	87,44 b	41,86 b	748,55 a	4,31 a	6,04 a	19,43 a	20,76 a
	CES	124,68 a	173,87 a	993,09 a	3,61 a	7,68 a	20,21 a	21,46 a
	CEA	110,16 ab	89,9 b	793,81 a	3,86 a	7,25 a	19,98 a	22,99
	CV (%)	7,98	26,03	25,59	14,72	9,62	6,08	17,78
2	T	nd	0,06	0,01	nd	nd	nd	0,01
	CES	nd	0,32	0,01	nd	nd	nd	nd
	CEA	nd	nd	nd	nd	nd	nd	0,03
	CV (%)	nd	267,26	204,22	nd	nd	nd	161,95
3	T	nd	nd	15,69 a	nd	0,02 a	nd	nd
	CES	nd	0,24	16,34 a	nd	0,01 a	nd	0,06
	CEA	nd	nd	24,15 a	nd	0,01 a	nd	0,03
	CV (%)	nd	123,88	48,21	nd	118,22	nd	246,77
4	T	0,14 b	0,21 b	22,1 a	nd	nd	nd	0,05 a
	CES	0,25 a	3,96 a	32,06 a	nd	nd	nd	0,13 a
	CEA	0,23 a	1,09 b	33,15 a	nd	nd	nd	0,08 a
	CV (%)	8,51	39,17	15,12	194,25	nd	nd	165,21
5	T	1,88 a	6,48 b	330,77 a	0,01 a	0,09 a	0,48 a	0,47 a
	CES	2,38 a	69,81 a	351,27 a	0,01 a	0,04 a	0,38 a	0,31 a
	CEA	2,04 a	27,77 b	408,1 a	nd a	nd a	0,44 a	0,08 a
	CV (%)	10,28	35,09	26,29	131,02	118,2	8,2	148,15
6	T	12,35 b	2,88 b	122,2 a	nd	0,4 b	2,73 a	1,3 a
	CES	41,06 a	39,92 a	180,28 a	nd	0,89 a	3,36 a	0,55 a
	CEA	26,55 ab	10,49 b	94,74 a	nd	0,75 a	2,75 a	0,52 a
	CV (%)	20,46	46,09	37,86	nd	15,26	19,15	42,06
7	T	73,06 a	32,21 b	254,25 a	4,3 a	5,54 a	16,22 a	18,81 a
	CES	80,98 a	59,48 a	355,84 a	3,6 a	6,74 a	16,48 a	20,37 a
	CEA	81,34 a	50,55 a	276,82 a	3,84 a	6,48 a	16,8 a	22,16 a
	CV (%)	6,31	12,37	33,63	14,6	10,29	10,1	18,12

1: Metal Pseudo Total; 2: Fração Solúvel em Água; 3: Fração Trocável; 4: Fração Ligada à Carbonatos; 5: Fração Ligada à Óxidos de Fe e Mn; 6: Fração Ligada à Matéria Orgânica; 7: Fração Residual.

nd: não detectado. T: testemunha; CES: composto de esterco suíno; CEA: composto de esterco de aves. Na coluna, valores seguidos de mesma letra não diferem significativamente entre si Tukey, p<0,05).

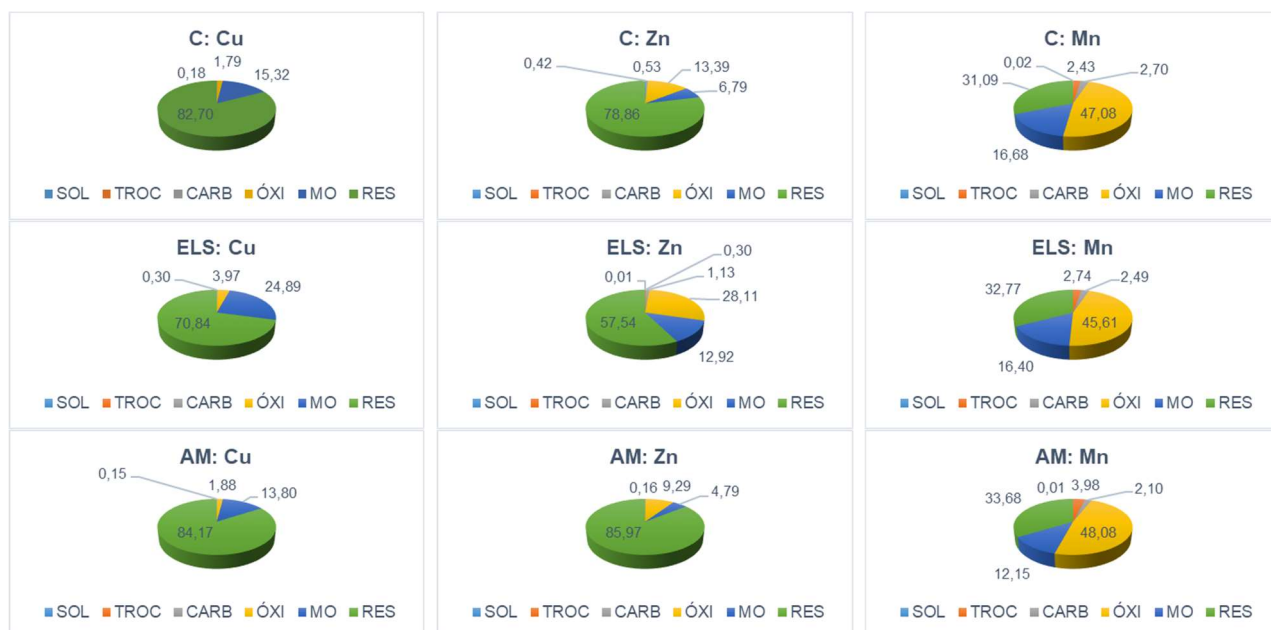


Figura 1: Proporção relativa dos elementos-traço Cu, Zn e Mn em cada fração do solo da área do experimento 1. T: testemunha; CES: composto de esterco suíno; CEA: composto de esterco de aves.



Figura 5: Proporção relativa dos elementos-traço Cu, Zn e Zn em cada fração do solo da área do experimento 2. C: controle; ELS: esterco líquido suíno; AM: adubação mineral.

Conforme a resolução CONAMA 420/2009 os solos de ambos os experimentos se encontram em conformidade quanto aos seus teores pseudo totais dos ET avaliados considerando os valores de referência permitidos para solo agrícola. Todavia, comparando-se os valores orientadores propostos no estado de Santa Catarina, obtidos por Huguen (2010) para os teores pseudo totais naturais dos solos (EPA 3050) constantes no Grupo 5 (Cr: 67,2 mg kg⁻¹; Cu: 114,2 mg kg⁻¹; Ni: 18,9 mg kg⁻¹; Pb: 13,4 mg kg⁻¹; Zn: 56,3 mg kg⁻¹), têm-se que o teor obtido para o Cu e Zn na área 1 encontram-se acima dos naturais para o tratamento ELS, 5,49% e 43,37% respectivamente, o que gerou diferença para com os demais tratamentos evidenciando acúmulo. Comportamento semelhante foi evidenciado para a área experimental 2 onde os tratamentos com adição de dejetos animais também apresentaram teores pseudo totais de Cu (CES: 9,18% maior) e Zn (CEA: 59,68 % maior e CES: 208,83% maior). Cabe dizer que todos os tratamentos de ambas as áreas tiveram seus teores de Pb acima dos tidos como naturais. Porém, é importante dizer que nenhum teor excedeu os teores máximos permitidos para o Grupo ao qual pertencem (Tabela 3).

Entretanto, nota-se que o solo foi capaz de desempenhar o papel de reter os ET em sua fase sólida, uma vez que se tem teores pouco expressivos nas frações solúvel e troçável, sendo classificados como baixos para o Cu e Zn, segundo CQFSRS/SC (SANTA CATARINA, 2004), com exceção das amostras dos tratamentos ELS, no experimento 1, e CES, no experimento 2, as quais são classificadas como contendo médio e altos teores.

Nota-se então, que a adição continuada de dejetos já pode ser concretamente percebida por meio do incremento dos elementos-traço. Porém, os teores mais biodisponíveis (soma do solúvel mais o troçável) são muito inferiores aos encontrados por Girotto et al. (2010), por exemplo, os quais obtiveram teores ultrapassando 100 mg kg⁻¹ para o Cu e 20 mg kg⁻¹ para o Zn em solos com aplicação de dejetos suínos. Tal diferença é compreensível, uma vez que o solo analisado por Girotto et. al. (2010) possui uma quantidade menor de argilominerais. Já o Mn de ambas áreas experimentais é tido como alto na fração troçável (SANTA

CATARINA, 2004) e os demais ET nas frações solúvel e trocável apresentaram teores muito baixos, na maioria não detectáveis.

Segundo Ceretta et al. (2010) aplicações frequentes de dejetos de animais podem aumentar os teores de Cu e Zn solúvel e trocável nas frações no solo, criando um risco de potencial toxicidade para plantas, mas também de potencial contaminação da água, por transferência em escoamento na superfície do solo e lixiviação por meio do perfil. Seganfredo (2013) que trabalhou com solos com aplicação de dejetos suínos por mais de 10 anos também encontrou aumento das frações mais disponíveis para Cu e Zn no solo, apesar das formas recalcitrantes (oxídica e residual) serem preponderantes.

A fração ligada a carbonatos apresentou maior quantidade de Mn, Cu e Zn, nesta ordem, em ambas as áreas experimentais, sendo muito pouco expressiva para os demais ET. Esta fração foi menos expressiva no tratamento AM para Cu e Zn, possivelmente em decorrência do menor pH (Tabela 4). Quanto a fração ligada aos óxidos de Fe e Mn observa-se uma maior quantidade de Mn seguido pelo Zn, sendo que ELS foi superior para Cu, Zn e Cr com equivalência para Cr no tratamento AM na área 1, e, CES foi superior para Zn na área experimental 2. Na fração ligada à matéria orgânica na área 1 o Cu, Zn e Pb foram superiores no tratamento ELS e na área 2 CES foi superior a T para Cu, Zn e Ni e CEA igual a CES no que diz respeito à Cu e Ni. Com relação a fração residual observa-se diferença estatística apenas na área 1 onde o tratamento ELS foi superior aos demais para Zn e Mn juntamente com o tratamento AM.

De forma geral, nota-se um aumento de ET nos tratamentos com dejetos de animais, principalmente de Cu e Zn, em todas as frações. Segundo Amaral Sobrinho et al. (1994) os elementos de maior mobilidade se encontram predominantemente, nas formas químicas solúvel, trocável e ligados a carbonato, enquanto os de baixa mobilidade aparecem ligados às frações óxidos de Fe, Mn, além das frações orgânica e residual.

Para os ET mais relevantes, observou-se os seguintes comportamentos (Figuras 1 e 2): o Cu e o Zn encontram-se em maior proporção na fração residual, seguida pela fração ligada à matéria orgânica para o Cu e a fração ligada aos óxidos para o Zn. Normalmente, a adsorção de Cu e Zn no solo ocorre principalmente nos sítios de maior energia de ligação, e, em seguida, estes elementos-traço restantes são redistribuídos em frações ligadas com menos energia, que proporcionam maior disponibilidade e mobilidade. O Cu possui maior afinidade pelos sítios disponíveis na matéria orgânica do solo (GOMES, 1997; MCBRIDE, 1997), entretanto o Zn possui maior afinidade pela fração oxídica do solo, seguida da retida na matéria orgânica (LINDSAY, 1972), sendo este último normalmente encontrado com pequena proporção nas frações trocável e solúvel (OLIVEIRA et al., 2003).

Comportamento similar também foi evidenciado por Brunetto et al. (2014), que observaram maiores teores na fração residual de área com vinhedos para Cu e Zn, a qual é mais indisponível segundo Tessier et al. (1979), Tiecher et al. (2013) e Girotto et al. (2010), que trabalharam com dejetos suínos, também encontraram resultados semelhantes ao do presente trabalho para o Cu e Zn. Já no caso do Mn a maior afinidade do mesmo foi com a fração oxídica, seguida pela fração residual. Segundo Nascimento et al. (2002) o Mn possui afinidade por tal fração, principalmente em maiores valores de pH.

O Ni, Cr e Pb tiveram afinidade similar nas frações ligada aos óxidos e matéria orgânica, porém a

maior parte destes ET está na fração residual. O Cd, que apresentou os menores teores, foi evidenciado minoritariamente na fração ligada a carbonatos, não tendo sido detectado na fração ligada à matéria orgânica.

Tabela 7: Correlações de Pearson na área do experimento 1.

Frações	Elemento	pH	CTC Efetiva	CO	P
1	Cu	0,34	0,50	0,31	0,14
	Zn	0,43	0,65	0,29	0,35
	Mn	0,56	0,16	-0,50	0,27
	Cd	-0,05	-0,09	-0,32	0,33
	Ni	0,49	0,41	-0,20	0,40
	Cr	0,23	-0,15	-0,44	0,12
	Pb	0,81**	0,65	-0,21	0,58
2	Zn	0,70*	0,58	-0,42	0,54
	Mn	-0,72*	-0,52	0,16	-0,33
	Cd	-0,54	-0,38	0,05	0,07
	Ni	0,45	0,49	-0,06	0,52
	Pb	-0,16	-0,02	0,40	-0,11
3	Zn	0,02	-0,11	-0,02	-0,49
	Mn	-0,70*	-0,53	0,19	-0,31
	Cd	-0,63	-0,13	0,44	0,12
	Ni	-0,73*	-0,60	0,30	-0,39
	Pb	-0,04	-0,44	-0,47	-0,60
4	Cu	0,17	0,19	0,13	-0,19
	Zn	0,34	0,53	0,38	0,14
	Mn	0,93**	0,61	-0,52	0,56
	Cd	0,09	-0,27	-0,18	-0,15
	Pb	-0,02	-0,29	-0,42	0,06
5	Cu	0,04	-0,01	0,07	-0,38
	Zn	0,25	0,48	0,42	0,10
	Mn	0,29	-0,31	-0,76*	-0,15
	Cd	0,30	0,66	0,63	0,47
	Ni	-0,19	0,08	0,33	-0,18
	Cr	-0,69*	-0,68*	0,18	-0,53
6	Pb	-0,12	-0,44	-0,28	-0,16
	Cu	0,14	0,36	0,44	-0,02
	Zn	0,24	0,53	0,49	0,19
	MN	0,34	-0,03	-0,31	-0,14
	Ni	0,12	0,51	0,64	0,30
	Cr	-0,57	-0,49	0,34	-0,55
7	Pb	-0,64	-0,79*	-0,07	-0,79*
	Cu	-0,31	0,16	0,43	0,25
	Zn	0,13	0,58	0,58	0,40
	Mn	-0,13	-0,15	-0,01	0,07
	Cd	-0,47	0,09	0,58	0,40
	Ni	-0,32	0,03	0,20	0,22
	Cr	-0,35	0,06	0,48	0,12
Pb	0,13	0,60	0,36	0,59	

1: Metal Pseudo Total; 2: Fração Solúvel em Água; 3: Fração Trocável; 4: Fração Ligada à Carbonatos; 5: Fração Ligada à Óxidos de Fe e Mn; 6: Fração Ligada à Matéria Orgânica; 7: Fração Residual. * significativo a 5%; ** significativo a 1%.

Tabela 8: Correlações de Pearson na área do experimento 2.

Frações	Elemento	pH	K	Ca	Mg	CTC Efetiva	N	CO	P
1	Cu	0,69*	0,69*	0,72*	-0,57	0,71*	0,43	0,26	0,68*
	Zn	-0,02	0,68*	0,35	0,41	0,46	0,83**	0,82**	0,74*
	Mn	-0,07	0,28	0,14	0,05	0,18	0,19	0,19	-0,02
	Cd	-0,12	-0,48	-0,19	-0,19	-0,29	-0,45	-0,45	-0,46
	Ni	0,84**	0,60	0,70*	-0,70*	0,68*	0,29	0,12	0,57
	Cr	0,12	-0,46	-0,14	-0,48	-0,22	-0,49	-0,46	-0,61
	Pb	0,33	-0,48	-0,63	-0,52	-0,65	-0,73*	-0,77*	-0,55
2	Zn	0,08	0,08	-0,26	0,23	-0,20	-0,01	-0,04	0,19
	Mn	-0,23	-0,03	-0,08	0,35	-0,07	-0,01	0,00	0,00

	Pb	-0,01	0,01	0,50	-0,09	0,41	0,24	0,26	0,05
	Zn	-0,38	0,30	0,12	0,51	0,20	0,58	0,65	0,30
3	Mn	-0,86**	-0,38	-0,35	0,63	-0,34	-0,04	0,11	-0,45
	Cd	0,18	0,19	0,44	-0,13	0,40	0,37	0,36	0,28
	Ni	0,35	0,11	0,28	-0,35	0,24	-0,21	-0,28	-0,08
	Pb	-0,21	-0,02	0,25	0,23	0,21	-0,06	-0,01	-0,14
	Cu	0,24	0,91**	0,70*	0,24	0,79*	0,94**	0,88**	0,90**
4	Zn	-0,26	0,59	0,27	0,64	0,39	0,80**	0,84**	0,59
	Mn	0,19	0,81**	0,81**	-0,01	0,85**	0,80**	0,75*	0,63
	Cd	-0,16	-0,44	-0,54	-0,13	-0,55	-0,43	-0,41	-0,55
	Pb	-0,04	0,17	0,00	0,28	0,06	0,10	0,14	-0,01
	Cu	-0,08	0,67*	0,33	0,37	0,43	0,70*	0,67*	0,71*
	Zn	-0,17	0,69*	0,37	0,59	0,48	0,86**	0,88**	0,70*
5	Mn	0,00	0,52	0,35	0,04	0,40	0,40	0,36	0,25
	Cd	-0,07	-0,19	-0,55	0,38	-0,49	-0,21	-0,18	0,04
	Ni	-0,53	-0,50	-0,33	0,46	-0,37	-0,33	-0,21	-0,37
	Cr	0,30	-0,38	-0,39	-0,63	-0,45	-0,73*	-0,82**	-0,45
	Pb	-0,40	-0,32	-0,16	0,25	-0,21	-0,27	-0,24	-0,38
	Cu	-0,05	0,80**	0,50	0,50	0,61	0,94**	0,93	0,81**
6	Zn	-0,27	0,59	0,25	0,68*	0,37	0,78*	0,82	0,59
	Mn	-0,32	0,13	-0,26	0,53	-0,15	0,29	0,36	0,17
	Ni	0,17	0,89**	0,65	0,22	0,75*	0,91**	0,86	0,85**
	Cr	-0,19	0,33	-0,01	0,58	0,09	0,37	0,41	0,30
	Pb	-0,33	-0,86**	-0,79*	-0,06	-0,85	-0,79	-0,69*	-0,90**
	Cu	0,26	0,71*	0,58	-0,15	0,64	0,70*	0,62	0,63
	Zn	0,08	0,87**	0,62	0,34	0,73*	0,94**	0,91**	0,81**
7	Mn	-0,19	0,27	0,18	0,19	0,23	0,47	0,50	0,26
	Cd	-0,24	-0,41	-0,09	0,06	-0,18	-0,41	-0,38	-0,32
	Ni	0,09	0,73*	0,54	0,12	0,61	0,69*	0,64	0,50
	Cr	0,62	0,03	-0,28	-0,47	-0,24	-0,27	-0,36	0,16
	Pb	0,44	0,14	0,08	-0,37	0,10	0,04	0,01	0,02

1: Metal Pseudo Total; 2: Fração Solúvel em Água; 3: Fração Trocável; 4: Fração Ligada à Carbonatos; 5: Fração Ligada à Óxidos de Fe e Mn; 6: Fração Ligada à Matéria Orgânica; 7: Fração Residual. * significativo a 5%; ** significativo a 1%.

Nas Tabelas 7 e 8 podem ser visualizadas as correlações entre os teores de cada ET nas frações do solo e as características químicas. Destaca-se na área experimental1 a correlação negativa do Mn com o pH na fração solúvel e na fração ligada à carbonatos a correlação positiva do Mn com o pH. Conforme Kabatta-Pendias et al. (1992) o pH apresenta uma grande influência na adsorção de metais: quanto maior o pH maior é a adsorção do tipo covalente no solo, sendo que o aumento do pH resulta no aumento da CTC pela desprotonação dos grupamentos ácidos da matéria orgânica e dos grupamentos OH das bordas dos argilominerais, na formação de hidróxidos, carbonatos e fosfatos insolúveis com os metais pesados e na complexação mais efetiva pela matéria orgânica.

Já na área experimental 2 destaca-se a correlação positiva do Cu e do Zn com o P na fração trocável e oxidica, e, a correlação positiva do Cu e do Ni com P na fração ligada à matéria orgânica. Conforme Pierangeli et al. (2004), os óxidos de ferro e alumínio, a matéria orgânica e o fósforo, são capazes de reter fortemente os ET, como o Cu e o Zn, uma vez que estão relacionados à maior carga líquida negativa presente nas camadas superiores do solo, que é aumentada pelo incremento de P.

CONCLUSÕES

Os pseudo teores totais de Cu, Zn aumentaram no solo dos tratamentos com a aplicação dos dejetos animais. Os elementos-traço avaliados encontram-se predominantemente em frações químicas menos

biodisponíveis, principalmente na fração residual do solo, apesar do incremento ocasionado pela disposição de dejetos animais.

Os elementos mais abundantes são o Cu, o Zn e o Mn, os quais encontram-se associados às frações ligada à matéria orgânica, no primeiro caso, e aos óxidos para os demais, além da fração residual. Os efeitos da aplicação continuada de dejetos podem ser percebidos, mas o fracionamento indica que o solo foi capaz de desempenhar seu papel de reter estes elementos na fase sólida.

AGRADECIMENTOS: À CAPES, ao Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo da UFRGS e ao pessoal da EPAGRI Chapecó.

REFERÊNCIAS

AMARAL SOBRINHO, N. M. B.; VELLOSO, A. C. X.; COSTA, L. M.; OLIVEIRA, C.. Formas químicas de zinco e sua absorção por plantas de milho cultivadas em solo tratado com resíduo siderúrgico. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, v.18, n.1, p.313-320, 1994.

BAIRD, C.. *Química ambiental*. 2 ed. Porto Alegre: Bookman, 2002.

BRUNETTO, G.; SCHMITT, D. E.; COMIN, J. J.; MIOTTO, A.; MORAES, M. P.; HEINZEN, J.. Frações de cobre e zinco em solos de vinhedos no Meio Oeste de Santa Catarina. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola Ambiental*, v.18, n.8, p.805-810, 2014.

CERETTA, C. A.; GIROTTO, E.; LOURENZI, C. R.; TRENTIN, G.; VIEIRA, R. C. B.; BRUNETTO, G.. Nutrient transfer by runoff under no tillage in a soil treated with successive applications of pig slurry. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, Amsterdam, v.139, p.689-699, 2010.

CONAMA. Conselho Nacional do Meio Ambiente. **Resolução 420, de 28 de dezembro de 2009**. Rio Janeiro: CONAMA, 2009.

EMBRAPA. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Manual de métodos de análise de solo**. 2 ed. Rio de Janeiro: EMBRAPA, 1997.

DONAGEMA, G. K.; CAMPOS, D. V. B.; CALDERANO, S. B.; TEIXEIRA, W. G.; VIANA, J. H. M.. **Manual de métodos de análises de solos**. 2 ed. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2011.

FERREIRA, D. F.. Sisvar: a Guide for its Bootstrap procedures in multiple comparisons. *Ciência e Agrotecnologia*, v.38, n.2, p.109-112, 2014.

GIROTTO, E.; CERETTA, C. A.; BRUNETTO, G.; SANTOS, D. R.. Acúmulo e formas de cobre e zinco no solo após aplicações sucessivas de dejetos líquido de suínos. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, v.34, n.3, p.955-965, 2010. DOI: <http://doi.org/10.1590/S0100-06832010000300037>

GIROTTO, E.. **Cobre e zinco no solo sob uso intensivo de dejetos líquido suínos**. Dissertação (Mestrado) - Universidade de Santa Maria, Santa Maria, 2007.

GOMES, P. C.; FONTES, M. P. F.; COSTA, L. M.; MENDONÇA, E. S.. Extração fracionada de metais pesados em Latossolo vermelho-amarelo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, v.21, n.4, p.543-551, 1997.

HONG, K. J.; TOKUNAGA, S.; KAJIUCHI, T.. Evaluation of remediation process with plant-derived biosurfactant for recovery of heavy metals from contaminated soils. *Chemosphere*, v.49, n.4, p.379-387, 2002.

HUGEN, C.. **Valores de referência para teores de Cr, Cu, Ni, Pb e Zn em solos do Estado de Santa Catarina**. Dissertação (Mestrado) - Universidade do Estado de Santa Catarina, Lages, 2010.

KABATTA-PENDIAS, A.; PENDIAS, H.. **Trace elements in soils and plants**. Boca Raton: CRC Press, 1992.

KORNEGAY, E. T.; HARPER, A. F.. Environmental nutrition: Nutrient management strategies to reduce nutrient excretion of swine. *The Professional Animal Scientist*, Elsevier, v.13, n.1, p.99-111, 1997.

KUMMER, L.. **Remediação de solos contaminados por metais pesados usando biossurfactante produzido a partir de resíduo agroindustrial**. Tese (Doutorado) - Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Cascavel, 2014.

LINDSAY, W. L.. **Chemical equilibria in soil**. New Jersey: Brackburn, 2011.

LONDOÑO, D. M. M.. **Respostas da comunidade microbiana do solo a sucessivas aplicações de uréia e dejetos suínos em solo sob plantio direto**. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2012.

MCBRIDE, M. B.; SAUVE, S.; HENDERSHOT, W.. Solubility control of Cu, Zn Cd and Pb in contaminated soil. *European Journal Soil Science*, London, v.48, p.337-346, 1997.

NASCIMENTO, C. W. A.; FONTES, R. L. F.; NEVES, J. C. L.. Dessorção, extração e fracionamento de manganês em Latossolos. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.26, p.589-597, 2002.

OLIVEIRA, P. A. V.. **Tecnologias para o manejo de resíduos na produção de suínos**: manual de boas práticas. Concórdia: Embrapa Suínos e Aves, 2004.

OLIVEIRA, C.; AMARAL SOBRINHO, N. M. B.; MAZUR, N.. Solubilidade de metais pesados em solos tratados com lodo de esgoto enriquecido. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.27, n.1, p.171-181, 2003.

PIERANGELI, M. A. P.; GUILHERME, L. R. G.; CURTI, N.; ANDERSON, S. J.; LIMA, J. M.. Adsorção e dessorção de cádmio, cobre e chumbo por amostras de Latossolos pré-tratadas com fósforo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.28, n.2, p.377-384, 2004. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-06832004000200016>

SANTA CATARINA. Comissão de Química e Fertilidade do Solo. **Manual de adubação e calagem para os Estados do Rio Grande do Sul e de Santa Catarina**. 10 ed. Porto Alegre: SBCS, 2004.

SCHERER, E. E.; BALDISSERA, I. T.; NESI, C. N.. Propriedades químicas de um Latossolo Vermelho sob plantio direto e adubação com esterco de suínos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.31, n.1, p.123-131, 2007. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-06832007000100013>

SEGANFREDO, M. A.. **Fósforo, cobre e zinco em solos submetidos à aplicação de dejetos animais**: teores, formas

e indicadores ambientais. Tese (Doutorado) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2013.

SILVA, F. A. S.; AZEVEDO, C. A. V.. The Assstat Software Version 7.7 and its use in the analysis of experimental data. **African Journal of Agricultural Research**, v.11, n.39, p.3733-3740, 2016.

TEDESCO, M. J.; GIANELLO, C.; BISSANI, C. A.; BOHNEN, H.; VOLKWEISS, S. J.. **Análise de solo, plantas e outros materiais**. 2 ed. Porto Alegre: UFRGS, 1995.

TESSIER, A.; CAMPBELL, P. G. C.; BISSON, M.. Sequential Extraction Procedure for the Speciation of Particulate Trace Metals. **Analytical Chemistry**, Washington, v.51, p.844-851, 1979.

TIECHER, T. L.; CERETTA, C. A.; COMIN, J. J.; GIROTTO, E.; MIOTTO, A.; MORAES, M. P.; BENEDET, L.; FERREIRA, P. A. A.; LORENZI, A. R.; COUTO, R. R.; BRUNETTO, G.. Forms and accumulation of copper and zinc in a sandy typic hapludalf soil after long-term application of pig slurry and deep litter. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.37, p.812-824, 2013.

US EPA. United States Environmental Protection Agency. **Method 3050 B**. Washington: US EPA, 1998.

A CBPC – Companhia Brasileira de Produção Científica (CNPJ: 11.221.422/0001-03) detém os direitos materiais desta publicação. Os direitos referem-se à publicação do trabalho em qualquer parte do mundo, incluindo os direitos às renovações, expansões e disseminações da contribuição, bem como outros direitos subsidiários. Todos os trabalhos publicados eletronicamente poderão posteriormente ser publicados em coletâneas impressas sob coordenação da **Sustenera Publishing**, da Companhia Brasileira de Produção Científica e seus parceiros autorizados. Os (as) autores (as) preservam os direitos autorais, mas não têm permissão para a publicação da contribuição em outro meio, impresso ou digital, em português ou em tradução.