

Crescimento e teor de cromo em mamoneira cultivada em solo receptor de resíduos de curtume e carboníferos

Growth and chrome content of castor bean plants cultivated in soil with application of tannery residues and coal mining waste

Maurizio Silveira Quadro¹ , Flávio Anastácio de Oliveira Camargo¹ , Clesio Gianello² , Ana Luiza Bertani Dall'Agno¹ , Carolina Faccio Demarco¹ , Robson Andreazza^{1*} 

RESUMO

A produção de resíduos tem aumentado em proporção direta com a industrialização dos países. Sendo assim, a disposição adequada desses resíduos é uma questão largamente discutida entre os órgãos ambientais. Por isso, o objetivo deste trabalho foi estudar o efeito residual de adições sucessivas de resíduos de curtume e da mineração de carvão sobre as propriedades químicas do solo e o acúmulo de cromo (Cr) em mamoneira. Os tratamentos aplicados em condições de campo foram: T1 – controle, ou seja, solo sem adubação; T2 – solo adubado com nitrogênio-fósforo-potássio (NPK) + calcário para atingir pH 6,0; T3 – solo misturado com lodo de curtume em dose adequada para se atingir pH 6,0 + PK; T4 – solo receptor de duas vezes a dose de lodo de curtume utilizada no T3 + PK; T5 – solo misturado com resíduo carbonífero + NPK + calcário em quantidade adequada para atingir pH 6,0; T6 – solo misturado com resíduo carbonífero + lodo de curtume em dose adequada para atingir pH 6,0 + PK; T7 – solo misturado com serragem cromada + NPK + calcário em quantidade adequada para atingir pH 6,0; T8 – solo misturado com Cr mineral + lodo de curtume em dose adequada para se atingir pH 6,0 + PK. Em campo, o solo recebeu os diferentes tratamentos. Posteriormente, amostras desse solo foram acondicionadas em vasos e o experimento com as plantas foi conduzido em delineamento inteiramente ao acaso, com três repetições por tratamento. O rendimento de matéria seca mostrou que a aplicação de serragem cromada (T7) proporcionou o maior crescimento da mamoneira, bem como os maiores teores de P no seu tecido. Os teores de Cr na parte aérea das plantas não atingiram níveis que podem ser considerados de contaminação desses vegetais. A distribuição desse elemento nas diferentes partes das plantas de mamoneira demonstrou a possibilidade de utilização futura dos grãos para produção de biodiesel.

Palavras-chave: descarte de resíduos; *Ricinus communis*; serragem cromada; absorção de metais pesados.

ABSTRACT

The production of waste has been increasing in direct proportion to the industrialization of the countries. Therefore, the adequate disposal of these wastes is an issue widely discussed among environmental agencies. Thus, the aim of this work was to study the residual effect of successive additions of tannery and coal mining waste on the chemical properties of the soil and the accumulation of chromium in castor bean plants. The treatments applied under field conditions were: T1 - control, that is, soil without fertilization; T2 - soil fertilized with nitrogen-phosphorus-potassium (NPK) + limestone to reach pH 6.0; T3 - soil mixed with tannery sludge at a dose adequate to reach pH 6.0 + PK; T4 - soil receptor of twice the dose of tannery sludge used in treatment 3 + PK; T5 - soil mixed with coal residue + NPK + limestone in an amount adequate to reach pH 6.0; T6 - soil mixed with coal residue + tannery slurry at a dose adequate to reach pH 6.0 + PK; T7 - soil mixed with chrome sawdust + NPK + limestone in adequate quantity to reach pH 6.0; T8 - soil mixed with mineral Cr + tannery sludge at a dose adequate to reach pH 6.0 + PK. In the field, the soil received the different treatments. Subsequently, samples of this soil were conditioned in pots and the experiment with the plants was conducted in a completely randomized design, with three replicates per treatment. Subsequently, samples of this soil were placed in pots and the experiment with plants was conducted in a completely randomized design, with three replications per treatment. The dry matter yield showed that the application of chrome sawdust (T7) provided the highest growth of the castor bean, as well as the higher levels of P in its tissue. Chromium content in the aerial part of the plants did not reach levels that can be considered as contamination of these plants. The distribution of chromium in the different parts of the castor bean plants demonstrated the possibility of future use of the grains to produce biodiesel.

Keywords: waste disposal; *Ricinus communis*; chromium sawdust; heavy metal absorption.

¹Universidade Federal de Pelotas - Pelotas (RS), Brasil.

²Universidade Federal do Rio Grande do Sul - Porto Alegre (RS), Brasil.

*Autor correspondente: robsonandreazza@yahoo.com.br

Recebido: 24/04/2018 - Aceito: 16/08/2018 - Reg. ABES: 194473

INTRODUÇÃO

Embora as atividades associadas à produção e ao beneficiamento de couro gerem lucros significativos, contribuindo para o desenvolvimento econômico e social do país, têm sido alvo recente de preocupação, principalmente em razão da grande produção de resíduos/efluentes observada ao longo do processo (MALAFAIA *et al.*, 2015).

O curtimento do couro é constituído de uma sequência de processos mecânicos e químicos com o objetivo de criar um produto capaz de resistir à degradação microbiana, ao calor e à umidade (ALIBARDI; COSSU, 2016). Por consequência da utilização de demasiado volume de água, substâncias químicas e da geração de grande quantidade de efluentes líquidos e de resíduos sólidos, o conjunto de procedimentos necessários para transformar pele crua ou salgada em couro é considerado altamente poluidor (KRAY *et al.*, 2008).

Os resíduos produzidos a partir da indústria de curtimento incluem proteínas, pelos, sais, ácidos, taninos, corantes e óleos, presentes nas águas residuárias (ALIBARDI; COSSU, 2016). Um deles é a serragem cromada, que é produzida durante o processo de acabamento, na etapa de curtimento do couro, e representa 75% dos resíduos sólidos gerados. Além da grande quantidade, esse resíduo sólido é altamente tóxico, pois está impregnado de sais de cromo (Cr), sendo classificado, segundo a Norma Brasileira (NBR) nº 10004 (ABNT, 2004), como resíduo de classe I (CLAAS; MAIA, 1994). Portanto, sua aplicação deve levar em conta as diretrizes descritas na Política Nacional de Resíduos Sólidos.

Por conta disso, a disposição final dos resíduos de curtume é assunto de ampla discussão e discordância entre as indústrias e os órgãos ambientais. O solo, por conta da sua capacidade de degradar, complexar e inativar os componentes presentes nesses resíduos, pode ser considerado alternativa viável para o descarte destes (KRAY *et al.*, 2013; GIANELLO *et al.*, 2011; SEGATTO *et al.*, 2012).

Alguns resíduos oriundos do processo de curtimento de couro podem apresentar metais pesados em sua constituição, tornando limitante a sua utilização para fins agrícolas. Contudo, se há a presença de nutrientes e/ou a capacidade de neutralização da acidez do solo, estes podem ser aplicados com vistas a proporcionarem benefícios ao solo e às plantas (FERREIRA *et al.*, 2003; KRAY *et al.*, 2013; SEGATTO *et al.*, 2012; LAUSCHNER *et al.*, 2012). De acordo com estudo realizado por Kray *et al.* (2008) e Kray *et al.* (2013), o lodo de curtume pode ser utilizado para a correção do pH de solos ácidos e como fonte de nitrogênio para as plantas. Porém, em razão dessa capacidade de aumentar o pH do solo, grande concentração de sais (principalmente de sódio) e presença de metais pesados, devem existir limites no que se refere à frequência de aplicação e às doses aplicáveis desses resíduos no solo.

A mineração de carvão, por outro lado, também está associada à poluição ambiental, devido ao processo de exploração e ao acúmulo de resíduos depositados no entorno das minas, os quais podem causar

contaminação do solo e danos aos ecossistemas (OLIVEIRA FILHO *et al.*, 2017). Além disso, essa atividade origina a drenagem ácida: um efluente formado pela oxidação de sulfetos metálicos, como a pirita (FeS_2), quando estes entram em contato com a água e o oxigênio. Esse efluente apresenta elevada acidez e alta concentração de ferro e sulfatos e, devido ao seu baixo pH, acarreta a mobilização e solubilização de outros metais presentes no material geológico, como alumínio (Al), manganês (Mn) e zinco (Zn) (WEILER, 2016).

Apesar dos inúmeros estudos existentes quanto ao comportamento do cromo no meio ambiente, não há registros de trabalhos que apresentem a recuperação de todo o Cr contido no material descartado no solo. De acordo com Kray *et al.* (2008), ao serem adicionados lodo de curtume e serragem cromada ao solo, as recuperações de Cr variaram de 23 a 43%. Além disso, esse elemento pode ficar indisponível no solo, ser precipitado em exsudatos pelas plantas, ser complexado pela matéria orgânica e, dessa forma, mesmo que presente em altas concentrações, pode não ser absorvido pelos organismos do solo. Dessa maneira, com a condução deste trabalho, objetivou-se avaliar o efeito residual de adições sucessivas de lodo de curtume, serragem cromada e resíduo carbonífero sobre as propriedades químicas do solo e o acúmulo de Cr nas plantas de mamoneira.

MATERIAIS E MÉTODOS

Em 1996, iniciou-se um experimento de longa duração na Estação Experimental Agrônômica da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (EEA/UFRGS), localizada no município de Eldorado do Sul (RS), nas coordenadas geográficas 30°05'76"S e 51°40'67"W. O solo da área do experimento é classificado como argissolo vermelho distrófico típico (STRECK *et al.*, 2008), e a declividade do terreno é menor que 5%.

Nas safras agrícolas de 1996/97 e 1999/2000, foram aplicados resíduos de curtume (lodo de estações de tratamento e serragem cromada) e de mineração de carvão (carbonífero) no solo da área experimental. Os tratamentos aplicados em condições de campo foram:

- T1: controle, ou seja, solo sem adubação;
- T2: solo adubado com nitrogênio-fósforo-potássio (NPK) + calcário para atingir pH 6,0;
- T3: solo misturado com lodo de curtume em dose adequada para se atingir pH 6,0 + PK;
- T4: solo receptor de duas vezes a dose de lodo de curtume utilizada no T3 + PK;
- T5: solo misturado com resíduo carbonífero + NPK + calcário em quantidade adequada para atingir pH 6,0;
- T6: solo misturado com resíduo carbonífero + lodo de curtume em dose adequada para atingir pH 6,0 + PK;
- T7: solo misturado com serragem cromada + NPK + calcário em quantidade adequada para atingir pH 6,0;

- T8: solo misturado com Cr mineral + lodo de curtume em dose adequada para se atingir pH 6,0 + PK.

Na Tabela 1, estão apresentadas as características químicas dos resíduos e materiais utilizados no experimento, enquanto na Tabela 2, as doses aplicadas ao solo. As características químicas dos resíduos foram obtidas de acordo com as metodologias descritas por Tedesco *et al.* (1995).

O solo da área experimental permaneceu em pousio desde a safra de 1999/2000 até agosto de 2005, quando foi amostrado para acondicionamento em vasos utilizados como unidades experimentais. Com a utilização da pá de corte, foram coletadas amostras da camada superficial do solo (0 a 20 cm) de cada uma das áreas de disposição de resíduos e de adubação química convencional, sendo estas tamisadas com peneira (5 mm de diâmetro) e acondicionadas em vasos de policloreto de vinila (PVC). Estes (cilindros com 20 cm de diâmetro, 33 cm de altura e volume de 10,5 L) possuíam sua parte inferior fechada por um disco de madeira revestida por resina epóxi e um orifício lateral para a drenagem do excesso de água da chuva. As características químicas do solo após a aplicação dos resíduos estão apresentadas na Tabela 3. As características químicas do solo foram obtidas de acordo com as metodologias descritas por Tedesco *et al.* (1995).

Tabela 1 - Características químicas dos resíduos utilizados neste trabalho.

Parâmetro	Unidade	Lodo de curtume	Serragem cromada	Resíduo carbonífero
pH em água		6,7	4,5	7,0
Carbono orgânico	g.kg ⁻¹	239,3	331,0	184,9
Nitrogênio total	g.kg ⁻¹	36,5	172,9	2,5
Relação C/N		6,5	1,9	74,0
NH ₄ ⁺	mg.L ⁻¹	4,0	ND	ND
NO ₃ ⁻ + NO ₂ ⁻	mg.L ⁻¹	1,9	ND	ND
Fósforo total	g.kg ⁻¹	1,1	0,3	0,1
Potássio total	g.kg ⁻¹	0,1	0,1	3,7
Cálcio total	g.kg ⁻¹	41	8,5	1,1
Magnésio total	g.kg ⁻¹	7,8	0,75	1,2
Enxofre total	g.kg ⁻¹	18	22	25
Cobre total	mg.kg ⁻¹	8,27	30,00	15,00
Zinco total	mg.kg ⁻¹	112	0	48
Sódio total	g.kg ⁻¹	9,20	3,20	0,16
Cromo total	g.kg ⁻¹	34	20	0,11
Cádmio total	mg.kg ⁻¹	0,18	0,03	15,30
Níquel total	mg.kg ⁻¹	5,47	8,60	24,0
Chumbo total	mg.kg ⁻¹	11,20	1,39	8,72
Poder de neutralização	%	10%	ND	ND

ND: não determinado.

Após a caracterização do solo, foram acondicionados 9 kg de solo (seco ao ar) por vaso de PVC, com três repetições por tratamento. Foram mantidos os tratamentos especificados, aplicados no campo, sem reaplicação dos resíduos após acondicionamento nos vasos. A adubação mineral foi aplicada com base nas análises de solo, conforme interpretação, e as recomendações da Sociedade Brasileira de Ciência do Solo/Núcleo Regional Sul (SBCS-NRS, 2004) para a cultura de milho, pois não havia recomendações para a cultura de mamona no estado do Rio Grande do Sul no período de instalação do experimento. As sementes da cultivar Vinema foram semeadas, sendo mantidas duas plantas por vaso até o fim do experimento. Estes foram acondicionados ao ar livre, em área telada, e a irrigação foi realizada com água potável, quando necessário, para suplementação hídrica, em períodos de baixa precipitação.

Passados 45 dias da emergência, que ocorreu seis dias após a semeadura, umas das plântulas foi arrancada e, 150 dias após a emergência, foi feita a análise da produtividade e dos teores presentes no vegetal. As plantas foram lavadas em água corrente e com água destilada com o intuito de remover os materiais impregnados. Na sequência, foram separadas as folhas com um corte rente ao caule, desprendidas as bagas e, posteriormente, descascadas para se retirar as sementes. As partes da planta foram quantificadas e, em seguida, secas em estufa a 65°C

Tabela 2 - Tratamentos e doses dos resíduos e de cromo aplicados na primeira (1996) e na segunda aplicações (2000) em argissolo vermelho distrófico típico em Eldorado do Sul (RS).

Tratamentos	1ª aplicação		2ª aplicação		Cr total adicionado kg.ha ⁻¹
	Resíduos t.ha ⁻¹	Cr kg.ha ⁻¹	Resíduos t.ha ⁻¹	Cr kg.ha ⁻¹	
T1	-	-	-	-	-
T2	3,4 ca	-	6,3 ca	-	-
T3	21,25 LC	172 ¹	22,4 LC	498 ¹	670
T4	42,5 LC	343 ¹	44,8 LC	994 ¹	1.336
T5	106,0 RC	-	56,0 RC 20,0 ca	-	-
T6	106,0 RC 21,25 LC	172 ¹	56,0 RC 34,4 LC	764 ¹	936
T7	29,4 SC 3,4 ca	617 ¹	30,0 SC 8,6 ca	720 ¹	1.337
T8	21,24 LC	172 ¹ 125 ²	22,4 LC	498 ¹ 500 ³	1.295

Cr: cromo; T1: tratamento controle, ou seja, solo sem adubação; T2: solo adubado com nitrogênio-fósforo-potássio (NPK) + calcário para atingir pH 6,0; T3: solo misturado com lodo de curtume em dose adequada para se atingir pH 6,0 + PK; T4: solo receptor de duas vezes a dose de lodo de curtume utilizada no T3 + PK; T5: solo misturado com resíduo carbonífero + NPK + calcário em quantidade adequada para atingir pH 6,0; T6: solo misturado com resíduo carbonífero + lodo de curtume em dose adequada para atingir pH 6,0 + PK; T7: solo misturado com serragem cromada + NPK + calcário em quantidade adequada para atingir pH 6,0; T8: solo misturado com Cr mineral + lodo de curtume em dose adequada para se atingir pH 6,0 + PK; ca: calcário necessário para atingir pH 6,0; LC: lodo de curtume; RC: resíduo carbonífero; SC: serragem cromada; ¹adicionado pelo resíduo; ²na forma de Cr₂(SO₄)₃; ³adicionado na forma mineral.

por 48 horas, até massa constante, para análises. Foram determinados os teores de nitrogênio (N), fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg) e Cr, nas plantas inteiras colhidas aos 45 dias e em suas frações colhidas aos 150 dias, conforme metodologia descrita por Tedesco *et al.* (1995).

O experimento foi conduzido em delineamento inteiramente casualizado, com três repetições por tratamento. A análise estatística dos dados foi feita com o *software* de análise estatística WinSTAT (MACHADO; CONCEIÇÃO, 2007), utilizando-se análise de variância (teste F), conforme as recomendações de Silva (1997), sendo as diferenças significativas determinadas por meio de teste de comparações múltiplas de Tukey.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Produção de massa vegetal

Na Tabela 4, são apresentados os dados de rendimento de matéria seca (MS) — aos 45 e aos 150 dias — e dos grãos de mamona — aos 150 dias. Observa-se que o maior rendimento de MS aos 45 dias foi obtido no T7. Em relação à MS aos 150 dias, não foi observada diferença significativa entre os tratamentos com aplicações anteriores de resíduos de curtume (T3, T4, T7 e T8). Contudo, diferenças significativas foram observadas entre esses tratamentos e o com aplicações anteriores de lodo de curtume e resíduo carbonífero (T6) — isso ocorreu, provavelmente, por causa do menor pH proporcionado ao solo.

Lavres Junior *et al.* (2005), avaliando as deficiências de macronutrientes no estado nutricional da mamoneira (*Ricinus communis* L.) cultivar Iris, determinaram, em experimento em vasos, produção de MS de plantas de mamona de 18,4 g.planta⁻¹ aos 90 dias. O referido

resultado foi obtido no tratamento completo, sem deficiência de nenhum macronutriente.

Não foram observadas diferenças significativas no rendimento de grãos de mamona entre os tratamentos que receberam aplicações anteriores de lodo de curtume (T3, T4, T6 e T8). Entre os que receberam resíduos de curtume (T3, T4, T6, T7 e T8), as aplicações anteriores efetuadas proporcionaram menor rendimento de grãos no T7.

Tabela 4 - Rendimento de matéria seca e produção de grãos das plantas de mamona, decorridos 45 e 150 dias do plantio, nos diferentes tratamentos impostos ao solo.

Tratamentos ¹	MS – 45 dias	MS – 150 dias	Grãos – 150 dias
	-----g.vaso ¹ -----		
T1	1,6 c	6,1 c	0,0 c
T2	8,6 ab	26,8 ab	8,2 ab
T3	7,3 ab	28,1 ab	9,0 a
T4	9,6 a	27,9 ab	6,7 ab
T5	8,6 ab	26,3 ab	3,8 b
T6	6,6 b	22,9 b	7,3 ab
T7	12,3 a	33,3 a	5,6 b
T8	9,1 ab	29,6 ab	8,7 ab
CV (%)	23	15	21

MS: matéria seca; T1: tratamento controle, ou seja, solo sem adubação; T2: solo adubado com nitrogênio-fósforo-potássio (NPK) + calcário para atingir pH 6,0; T3: solo misturado com lodo de curtume em dose adequada para se atingir pH 6,0 + PK; T4: solo receptor de duas vezes a dose de lodo de curtume utilizada no T3 + PK; T5: solo misturado com resíduo carbonífero + NPK + calcário em quantidade adequada para atingir pH 6,0; T6: solo misturado com resíduo carbonífero + lodo de curtume em dose adequada para atingir pH 6,0 + PK; T7: solo misturado com serragem cromada + NPK + calcário em quantidade adequada para atingir pH 6,0; T8: solo misturado com Cr mineral + lodo de curtume em dose adequada para se atingir pH 6,0 + PK; CV: coeficiente de variação; médias com letras iguais na mesma coluna não apresentam diferença significativa pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade de erro.

Tabela 3 - Características químicas da camada superficial (0 a 20 cm) do solo do experimento de longa duração após a aplicação dos diferentes tratamentos.

Tratamentos	pH (H ₂ O) 1:1	N Total g.kg ⁻¹	P disp.	K disp.	M.O. g.kg ⁻¹	Al troc.	Ca troc.	Mg troc.	Cr* mg.kg ⁻¹
			--- mg.dm ⁻³ ---			----- cmol _c .dm ⁻³ -----			
T1	4,8	0,9	1,8	118	24,5	0,8	1,9	1,1	19 c
T2	6,4	1,0	3,9	125	25,3	0,0	4,8	2,3	22 c
T3	6,1	1,1	5,2	120	27,1	0,0	5,1	1,4	105 b
T4	6,6	1,2	7,8	130	27,6	0,0	6,4	1,7	210 ab
T5	4,9	0,9	3,0	78	29,3	0,4	4,4	1,7	15 c
T6	4,7	1,4	6,2	77	32,1	0,7	4,0	0,9	178 ab
T7	5,7	2,0	3,1	97	99,1	0,0	3,6	1,8	231 ab
T8	5,9	1,2	5,9	154	29,3	0,0	4,8	1,1	305 a

N: nitrogênio; P disp.: fósforo disponível; K disp.: potássio disponível; M.O.: matéria orgânica; Al troc.: alumínio trocável; Ca troc.: cálcio trocável; Mg troc.: magnésio trocável; *extraído com HNO₃ + HClO₄ concentrados; T1: tratamento controle, ou seja, solo sem adubação; T2: solo adubado com nitrogênio-fósforo-potássio (NPK) + calcário para atingir pH 6,0; T3: solo misturado com lodo de curtume em dose adequada para se atingir pH 6,0 + PK; T4: solo receptor de duas vezes a dose de lodo de curtume utilizada no T3 + PK; T5: solo misturado com resíduo carbonífero + NPK + calcário em quantidade adequada para atingir pH 6,0; T6: solo misturado com resíduo carbonífero + lodo de curtume em dose adequada para atingir pH 6,0 + PK; T7: solo misturado com serragem cromada + NPK + calcário em quantidade adequada para atingir pH 6,0; T8: solo misturado com Cr mineral + lodo de curtume em dose adequada para se atingir pH 6,0 + PK.

No entanto, esse mesmo tratamento obteve os maiores teores de MS, determinada aos 45 e 150 dias. Esses resultados indicam que não houve um efeito nocivo das aplicações de serragem cromada, e sim maior crescimento vegetativo das plantas no solo submetido a esse tratamento. Similarmente, Souto *et al.* (2005) não observaram efeito nocivo da aplicação de lodo de esgoto na produção de fitomassa da parte aérea e no acúmulo de macronutrientes pelas plantas de mamona.

Valores similares ao T7 em 150 dias (33,3 g.vaso⁻¹) foram encontrados em um estudo conduzido por Souza *et al.* (2015) que visava à caracterização dos sintomas visíveis de carência da omissão de boro (B) e outros nutrientes na mamoneira (*Ricinus communis*). Os autores detectaram uma produção média de MS de 38,53 g.planta⁻¹ no tratamento controle, ou seja, naquele sem deficiência de nutrientes aos 90 dias.

Em comparação aos tratamentos que receberam algum tipo de adubação ou adição de resíduo, o com aplicações anteriores de resíduo carbonífero e calcário (T5) apresentou menor rendimento de grãos, embora tenha exibido crescimento vegetativo satisfatório. O tratamento controle (T1) proporcionou pequeno crescimento de plantas, que não produziram grãos.

Teores de macronutrientes (N, P, K, Ca e Mg)

Plantas com 45 dias

Os teores de macronutrientes nas plantas inteiras de mamona, colhidas aos 45 dias, são apresentados na Tabela 5, sendo os teores médios

Tabela 5 - Teores de macronutrientes nas plantas inteiras de mamoneira colhidas aos 45 dias.

Tratamentos	N	P	K	Ca	Mg
	-----g.kg ⁻¹ -----				
T1	34,4 a	1,2 c	15,6 a	9,8 c	4,2 a
T2	20,3 b	2,7 ab	13,8 ab	11,0 bc	4,9 a
T3	23,3 b	2,3 b	13,6 ab	12,9 ab	4,3 a
T4	22,4 b	2,1 bc	14,5 abc	14,6 a	4,4 a
T5	24,8 b	2,7 ab	11,8 bc	11,4 bc	5,5 a
T6	23,7 b	2,5 ab	14,3 ab	12,1 abc	4,5 a
T7	22,2 b	3,4 a	10,8 c	10,9 bc	5,4 a
T8	21,8 b	2,3 b	14,1 ab	11,7 abc	3,9 a
Médias	24,1	2,4	13,6	11,8	4,6

N: nitrogênio; P: fósforo; K: potássio; Ca: cálcio; Mg: magnésio; T1: tratamento controle, ou seja, solo sem adubação; T2: solo adubado com nitrogênio-fósforo-potássio (NPK) + calcário para atingir pH 6,0; T3: solo misturado com lodo de curtume em dose adequada para se atingir pH 6,0 + PK; T4: solo receptor de duas vezes a dose de lodo de curtume utilizada no T3 + PK; T5: solo misturado com resíduo carbonífero + NPK + calcário em quantidade adequada para atingir pH 6,0; T6: solo misturado com resíduo carbonífero + lodo de curtume em dose adequada para atingir pH 6,0 + PK; T7: solo misturado com serragem cromada + NPK + calcário em quantidade adequada para atingir pH 6,0; T8: solo misturado com Cr mineral + lodo de curtume em dose adequada para se atingir pH 6,0 + PK; médias com letras iguais na mesma coluna não apresentam diferença significativa pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade de erro.

de N, P, K, Ca e Mg de 24,1; 2,4; 13,6; 11,8; e 4,6 g.kg⁻¹, respectivamente. Em relação aos teores de N no tecido das plantas, não foram observadas diferenças significativas entre os tratamentos com adição de corretivo e adubo mineral ou com adição de resíduos. O teor de N nas plantas cultivadas no solo do tratamento controle (T1) foi significativamente maior que o dos demais tratamentos, fato que pode ser atribuído ao menor rendimento de MS das plantas nesse tratamento, por causa, provavelmente, da deficiência de P, causando efeito de concentração de N no tecido vegetal. Não foram observadas variações significativas no teor de P entre os tratamentos com aplicações anteriores de lodo de curtume (T3, T6 e T8) e o T2 na MS das plantas colhidas aos 45 dias. O tratamento com adição de serragem cromada (T7) proporcionou maior teor de P no tecido vegetal.

O mesmo tratamento (T7) proporcionou teores de K no tecido vegetal significativamente inferiores aos obtidos com a aplicação dos outros tratamentos, o que pode ter ocorrido em função do seu maior rendimento de MS (Tabela 4) e da conseqüente redução da proporção g.mg⁻¹ desse nutriente.

As plantas cultivadas em solo submetido aos tratamentos com adição de lodo tenderam a apresentar maiores teores de Ca no tecido, mostrando, assim, o efeito residual desse lodo. Maior teor desse elemento foi encontrado no tratamento em que o solo recebeu a maior aplicação de lodo (T4). Da Silva *et al.* (2015), avaliando o uso do lodo de curtume na produção de plantas de açaizeiro em fase inicial de desenvolvimento, detectaram aumento nos teores de Ca no substrato em 180 dias após o cultivo das plantas, por causa do elevado teor desse elemento no lodo de curtume.

Os teores de Mg nas plantas não apresentaram diferença significativa entre os tratamentos.

Plantas com 150 dias

Na Tabela 6, observa-se que os teores de N, P, K, Ca e Mg nas bagas de mamona não foram significativamente diferentes entre os tratamentos, evidenciando que a presença do Cr não alterou a translocação dos macronutrientes para as bagas das plantas colhidas aos 150 dias, considerando os tratamentos utilizados. Os teores médios de N, P, K, Ca e Mg determinados nas bagas de mamona foram 17,2; 1,9; 30,8; 4,1; e 2,1 g.kg⁻¹, respectivamente.

Um estudo conduzido por Laviola e Dias (2008) avaliou os teores de macronutrientes nos frutos de pinhão-manso (*Jatropha curcas* L.), espécie pertencente à mesma família da mamona, com o objetivo de conhecer as necessidades nutricionais da cultura. Os autores detectaram teores de N similares nos frutos (bagas), apresentando concentração de 21 g.kg⁻¹. O teor de P também foi similar (4,1 g.kg⁻¹), porém o de K encontrado foi inferior a este trabalho, com concentração média de 14,9 g.kg⁻¹. Para os elementos Ca e Mg, os teores médios encontrados pelos autores foram similares (4,7 e 3,9 g.kg⁻¹, respectivamente).

Em relação aos grãos de mamona, temos as seguintes informações sobre os teores: para o N, os menores valores foram obtidos no tratamento com adubação mineral (T2); para P, K, Ca e Mg, não se apresentaram diferenças significativas entre os tratamentos; já as médias para P, K, Ca e Mg foram de 6,6; 9,3; 4,2 e 3,9 g.kg⁻¹, respectivamente (Tabela 7).

Teores de cromo

Na Tabela 8, mostram-se os teores de Cr nas plantas de mamoneira colhidas aos 45 e aos 150 dias. Os menores teores de Cr nas plantas colhidas aos 45 dias foram observados no solo submetido ao tratamento controle (T1) e naquele onde houve aplicação de resíduo carbonífero sem adição do resíduo de curtume (T5). O maior teor foi determinado no tratamento com aplicação de serragem cromada (T7).

Em relação às plantas de mamoneira colhidas aos 150 dias, os teores de Cr no caule e nas folhas não apresentaram diferenças significativas entre os tratamentos, no entanto, observa-se que o teor de Cr nas folhas das plantas do tratamento com adições anteriores de lodo de curtume mais resíduo carbonífero (T6) foi 2,5 vezes maior do que no T2 (NPK + calcário). Os teores de Cr das folhas das plantas cultivadas nos solos onde haviam sido aplicados lodo de curtume e serragem cromada variaram de 1,18 a 6,82 mg.kg⁻¹. Esses valores são menores que os observados por Losi, Amrhein e Frankenberger Jr. (1994), os quais afirmam que efeitos tóxicos do Cr na maioria

Tabela 7 - Teores de macronutrientes nos grãos das plantas de mamona colhida aos 150 dias.

Tratamentos	N	P	K	Ca	Mg
	-----g.kg ⁻¹ -----				
T1	ND	ND	ND	ND	ND
T2	26,2 c	7,2 a	8,2 a	3,7 a	4,2 a
T3	26,5c	6,7 a	9,7 a	4,2 a	4,1 a
T4	30,3 abc	6,2 a	10,8 a	4,0 a	3,7 a
T5	30,6 abc	6,0 a	8,0 a	4,4 a	3,6 a
T6	37,0 a	6,5 a	8,9 a	4,2 a	3,6 a
T7	28,3b c	6,8 a	11,1 a	4,2 a	4,2 a
T8	35,1 ab	6,7 a	8,3 a	4,5 a	3,9 a
Média	30,5	6,6	9,3	4,2	3,9

N: nitrogênio; P: fósforo; K: potássio; Ca: cálcio; Mg: magnésio; T1: tratamento controle, ou seja, solo sem adubação; T2: solo adubado com nitrogênio-fósforo-potássio (NPK) + calcário para atingir pH 6,0; T3: solo misturado com lodo de curtume em dose adequada para se atingir pH 6,0 + PK; T4: solo receptor de duas vezes a dose de lodo de curtume utilizada no T3 + PK; T5: solo misturado com resíduo carbonífero + NPK + calcário em quantidade adequada para atingir pH 6,0; T6: solo misturado com resíduo carbonífero + lodo de curtume em dose adequada para atingir pH 6,0 + PK; T7: solo misturado com serragem cromada + NPK + calcário em quantidade adequada para atingir pH 6,0; T8: solo misturado com Cr mineral + lodo de curtume em dose adequada para se atingir pH 6,0 + PK; ND: não determinado; médias com letras iguais na mesma coluna não apresentam diferença significativa pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade de erro.

Tabela 6 - Teores de macronutrientes nas bagas das plantas de mamoneira colhidas aos 150 dias.

Tratamentos	N	P	K	Ca	Mg
	-----g.kg ⁻¹ -----				
T1	ND	ND	ND	ND	ND
T2	14,4 a	2,2 a	38,9 a	3,8 a	2,0 a
T3	15,4 a	1,7 a	31,6 a	4,0 a	2,0 a
T4	16,0 a	2,0 a	36,6 a	3,6 a	2,2 a
T5	16,2 a	1,3 a	22,1 a	5,1 a	2,1 a
T6	19,6 a	1,9 a	32,2 a	3,7 a	1,7 a
T7	22,8 a	2,8 a	21,2 a	3,5 a	2,7 a
T8	15,9 a	1,6 a	33,0 a	5,0 a	2,2 a
Média	17,2	1,9	30,8	4,1	2,1

N: nitrogênio; P: fósforo; K: potássio; Ca: cálcio; Mg: magnésio; T1: tratamento controle, ou seja, solo sem adubação; T2: solo adubado com nitrogênio-fósforo-potássio (NPK) + calcário para atingir pH 6,0; T3: solo misturado com lodo de curtume em dose adequada para se atingir pH 6,0 + PK; T4: solo receptor de duas vezes a dose de lodo de curtume utilizada no T3 + PK; T5: solo misturado com resíduo carbonífero + NPK + calcário em quantidade adequada para atingir pH 6,0; T6: solo misturado com resíduo carbonífero + lodo de curtume em dose adequada para atingir pH 6,0 + PK; T7: solo misturado com serragem cromada + NPK + calcário em quantidade adequada para atingir pH 6,0; T8: solo misturado com Cr mineral + lodo de curtume em dose adequada para se atingir pH 6,0 + PK; ND: não determinado; médias com letras iguais na mesma coluna não apresentam diferença significativa pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade de erro.

Tabela 8 - Teor de cromo nas plantas de mamoneira.

Tratamentos	45 dias Planta inteira	150 dias			
		Caule	Folha	Baga	Grão
	-----mg.kg ⁻¹ -----				
T1	1,27 b	0,64 a	1,18 a	-	-
T2	2,00 ab	0,60 a	2,77 a	0,71 a	0,52 a
T3	2,62 ab	0,86 a	2,04 a	1,03 a	0,42 a
T4	2,87 ab	0,63 a	1,51 a	0,75 a	0,57 a
T5	1,40 b	0,65 a	1,79 a	0,65 a	0,47 a
T6	2,20 ab	0,69 a	6,82 a	0,77 a	0,58 a
T7	4,47 a	0,98 a	3,33 a	0,86 a	0,54 a
T8	2,30 ab	0,71 a	2,31 a	1,16 a	0,46 a
CV (%)	52	36	56	22	32

N: nitrogênio; P: fósforo; K: potássio; Ca: cálcio; Mg: magnésio; T1: tratamento controle, ou seja, solo sem adubação; T2: solo adubado com nitrogênio-fósforo-potássio (NPK) + calcário para atingir pH 6,0; T3: solo misturado com lodo de curtume em dose adequada para se atingir pH 6,0 + PK; T4: solo receptor de duas vezes a dose de lodo de curtume utilizada no T3 + PK; T5: solo misturado com resíduo carbonífero + NPK + calcário em quantidade adequada para atingir pH 6,0; T6: solo misturado com resíduo carbonífero + lodo de curtume em dose adequada para atingir pH 6,0 + PK; T7: solo misturado com serragem cromada + NPK + calcário em quantidade adequada para atingir pH 6,0; T8: solo misturado com Cr mineral + lodo de curtume em dose adequada para se atingir pH 6,0 + PK; médias com letras iguais na mesma coluna não apresentam diferença significativa pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade de erro; CV: coeficiente de variação.

das plantas são comuns, quando a concentração desse elemento nas folhas é maior que 18 mg.kg⁻¹. Castilhos *et al.* (2001) observaram redução de 36% na produção de MS total das plantas de soja, quando a concentração de Cr no tecido vegetal foi de 19,8 mg.kg⁻¹. Entretanto, Chang, Granato e Page (1992) verificaram que teores de Cr maiores que 5,9 mg.kg⁻¹ no tecido provocaram 50% de redução no crescimento de plantas de milho.

Os teores de Cr nas bagas de mamona não apresentaram variações significativas entre os tratamentos, tendo variado de 0,71 a 1,16 mg.kg⁻¹ (Tabela 8). Esse fato evidencia a baixa translocação desse elemento para as bagas das plantas colhidas aos 150 dias.

Para os grãos de mamona, os teores de Cr não evidenciaram diferenças expressivas entre os tratamentos aplicados ao solo. Silva (1989) não observou mudança significativa nos grãos de milho, trigo e arroz cultivados em solos onde foram aplicados 268,1 kg.ha⁻¹ desse elemento. Castilhos (1998) constatou que a aplicação de lodo de curtume e resíduos de rebaixadeira ao solo, contendo 37,3 mg.kg⁻¹ de Cr, não provocou alterações em seus teores na parte aérea e nos grãos de trigo, nas folhas de alfaca e nos bulbos e na parte aérea do rabanete, quando comparados com o grupo controle.

Nos grãos nos tratamentos com aplicações anteriores de lodo de curtume e serragem cromada, os teores de Cr variaram de 0,42 a 0,58 mg.kg⁻¹, valores semelhantes aos relatados por Kabata-Pendias e Pendias (1986), que mencionam variação de 0,16 a 0,55 mg.kg⁻¹.

Domazak (2000) determinou teores de Cr em grãos de sorgo, cultivados em solos onde foi incorporado lodo de curtume, que variaram de 2,59 a 1,77 mg.kg⁻¹; no tratamento com a adição de resíduo de rebaixadeira, esses teores variaram de 0,53 a 0,80 mg.kg⁻¹. O Cr

absorvido é acumulado, principalmente, nas raízes das plantas, e vários pesquisadores afirmam que a distribuição desse elemento na maioria das espécies vegetais segue a ordem: raízes >> folhas e talos > grãos e frutos (CARY; ALLOWAY; OLSON, 1977; CARY; KUBOTA, 1990; MORAL *et al.*, 1995).

CONCLUSÃO

A análise de produção de massa vegetal permitiu verificar que o tratamento com adição de serragem cromada, apesar de apresentar menor rendimento de grãos, obteve o maior rendimento de MS. Ademais, pode-se perceber que não houve efeito nocivo das aplicações desse resíduo, e sim maior crescimento vegetativo das plantas no solo submetido a esse tratamento.

Verificou-se também que as plantas colhidas aos 150 dias não obtiveram diferenças estatisticamente significativas em relação aos teores de macronutrientes em nenhum tratamento. Desse modo, evidencia-se que a presença dos resíduos de curtume e carboníferos não alterou a translocação dos macronutrientes essenciais para as bagas das plantas.

Os teores de Cr não atingiram níveis consideráveis de contaminação na parte aérea das plantas nem afetaram o rendimento da cultura, quando estudado o efeito residual e/ou de reaplicação desses resíduos. A distribuição desse elemento nas diferentes partes das plantas de mamoneira segue a ordem: folhas > bagas = caule > grãos. Assim, demonstra-se a possibilidade de utilização dos grãos de mamona para a produção de biodiesel e outras finalidades sem a geração de impactos ambientais, no que se refere a metais pesados.

REFERÊNCIAS

- ALIBARDI, L.; COSSU, R. (2016) Pre-treatment of tannery sludge for sustainable landfilling. *Waste Management*, v. 52, p. 202-211. <http://dx.doi.org/10.1016/j.wasman.2016.04.008>
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. (2004) ABNT NBR 10.004: Resíduos sólidos - Classificação. Rio de Janeiro (RJ).
- CARY, E.E.; ALLOWAY, W.H.; OLSON, O.E. (1977) Control of chromium concentrations in food plants. I. Absorption and translocation of chromium by plants. *Journal of Agriculture and Food Chemistry*, Easton, v. 25, n. 2, p. 300-304. <https://doi.org/10.1021/jf60210a048>
- CARY, E.E.; KUBOTA, J. (1990) Chromium concentration in plants: effects of soil chromium concentration and tissue contamination by soil. *Journal of Agriculture and Food Chemistry*, Easton, v. 38, n. 1, p. 108-114. <https://pubs.acs.org/toc/jafcau/38/1>
- CASTILHOS, D.D. (1998) *Alterações químicas e biológicas devidas à adição de resíduos de curtume e de cromo hexavalente ao solo*. 160f. Tese (Doutorado) - Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.
- CASTILHOS, D.D.; GUADAGNIN, C.A.; SILVA, M.D.; LEITSKE, V.W.; FERREIRA, L.H.; NUNES, M.C. (2001) Acúmulo de Cromo e seus Efeitos na Fixação Biológica de Nitrogênio e Absorção de Nutrientes em Soja. *Revista Brasileira de Agrociência*, Pelotas, v. 7, n. 2, p. 121-124. <http://dx.doi.org/10.18539/cast.v7i2.383>
- CHANG, A.C.; GRANATO, T.C.; PAGE, A.L. (1992) Methodology for establishing phytotoxicity criteria for Chromium, Copper, Nickel and Zinc in agricultural land application of municipal sewage sludge. *Journal of Environmental Quality*, Madison, v. 21, n. 4, p. 521-536.

- CLAAS, I.C.; MAIA, R.A.M. (1994) *Manual básico de resíduos industriais de curtume*. Porto Alegre: SENAI/RS. 664 p.
- DA SILVA, G.R.; AMARAL, I.G.; GALVÃO, J.R.; PINHEIRO, D.P.; SILVA JÚNIOR, M.L.; MELO, N.C. (2015) Uso do lodo de curtume na produção de plantas de açaizeiro em fase inicial de desenvolvimento. *Agrária - Revista Brasileira de Ciências Agrárias*, v. 10, n. 4, p. 506-511. <http://dx.doi.org/10.5039/agraria.v10i4a5015>
- DOMASZAK, S.C. (2000) *Efeito imediato e residual da aplicação de resíduos de curtume nas plantas em três solos*. 107f. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.
- FERREIRA, A.S.; CAMARGO, F.A.O.; TEDESCO, M.J.; BISSANI, C.A. (2003) Alterações de atributos químicos e biológicos de solo e rendimento de milho e soja pela utilização de resíduos de curtume e carbonífero. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, v. 27, n. 4, p. 755-763. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-06832003000400020>
- GIANELLO, C.; DOMASZAK, S.C.; BORTOLON, L.; KRAY, C.H.; MARTINS, V. (2011) Viabilidade do uso de resíduos da agroindústria coureiro-calçadista no solo. *Ciência Rural*, Santa Maria, v. 41, n. 2, p. 242-245. <http://dx.doi.org/10.1590/S0103-84782011005000007>
- KABATA-PENDIAS, A.; PENDIAS, H. (1986) *Trace elements in soils and plants*. 4. ed. Flórida: CRC Press. 315 p.
- KRAY, C.H.; TEDESCO, M.J.; BISSANI, C.A.; BORTOLON, L.; BORTOLON, E.S.O.; ANDREAZZA, R.; GIANELLO, C. (2013) Decomposição de resíduo carbonífero e de curtume no solo avaliada pela atividade microbiana e modificações nos atributos químicos do solo pela aplicação dos resíduos. *Pesquisa Agropecuária Gaúcha*, v. 19, n. 1-2, p. 7-15.
- KRAY, C.H.; TEDESCO, M.J.; BISSANI, C.A.; GIANELLO, C.; SILVA, K.J. (2008) Tannery and Coal Mining Waste Disposal on Soil. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, v. 32, p. 2877-2882. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-06832008000700035>
- LAUSCHNER, M.H.; TEDESCO, M.J.; GIANELLO, C.; BORTOLON, L.; ANDREAZZA, R.; KRAY, C.H.; BARBOSA, D.B.P. (2012) Utilização de resíduos de agroindústria fumageira como corretivo de acidez em diferentes solos. *Pesquisa Agropecuária Gaúcha*, Porto Alegre, v. 18, n. 1, p. 75-80.
- LAVIOLA, B.G.; DIAS, L.A.S. (2008) Teor e acúmulo de nutrientes em folhas e frutos de pinhão-manso. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 32, n. 5, p. 1969-1975. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-06832008000500018>
- LAVRES JUNIOR, J.; BOARETTO, R.M.; SILVA, M.L.S.; CORREIA, D.; CABRAL, C.P.; MALAVOLTA, E. (2005) Deficiências de macronutrientes no estado nutricional da mamoneira cultivar Iris. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, v. 40, n. 2, p. 145-151. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-204X2005000200007>
- LOSI, M.E.; AMRHEIN, C.; FRANKENBERGER JR., W.T. (1994) Environmental biochemistry of chromium. *Reviews of Environmental Contamination and Toxicology*, Nova York, v. 136, p. 91-121.
- MACHADO, A.A.; CONCEIÇÃO, A.R. (2007) *Sistema de Análise Estatística para Windows - WINSTAT (versão 1.0)*. Pelotas: Núcleo de Informação Aplicada - Universidade Federal de Pelotas.
- MALAFIA, G.; JORDÃO, C.R.; ARAÚJO, F.G.; LEANDRO, W.M.; RODRIGUES, A.S.L. (2015) Vermicompostagem de lodo de curtume em associação com esterco bovino utilizando *Eisenia fetida*. *Engenharia Sanitária e Ambiental*, v. 20, n. 4, p. 709-716. <http://dx.doi.org/10.1590/S1413-41522015020040134645>
- MORAL, R.; PEDRENO, N.; GOMEZ, I.; MATAIX, J. (1995) Effects of chromium on the nutrient element content and morphology of tomato. *Journal of Plant Nutrition*, Nova York, v. 18, n. 4, p. 815-822. <https://doi.org/10.1080/01904169509364940>
- OLIVEIRA FILHO, L.C.I.; BARETTA, D.; ZORTÉA, T.; OLIVEIRA, J.P.M.; SANTOS, J.C.P. (2017) Resíduo Piritoso provoca toxicidade aguda e crônica em *Collembola* e *Oligochaeta*. *Scientia Agraria*, v. 18, n. 1, p. 64-75.
- SEGATTO, M.P.; ANDREAZZA, R.; BORTOLON, L.; SANTOS, V.P.; GIANELLO, C.; CAMARGO, F.A.O. (2012) Decomposição de resíduos industriais no solo. *Ciência e Natura*, Santa Maria, v. 34, n. 1, p. 49-62. <http://dx.doi.org/10.5902/2179460X9354>
- SILVA, S. (1989) *Agricultural use of leather working residues as means of energy saving and environmental protection*. Milão: UNIC. 60 p.
- SILVA, J.G.C. da (1997). *Análise estatística de experimentos*. Pelotas: UFPel. 263p. Apostila, versão preliminar.
- SOCIEDADE BRASILEIRA DE CIÊNCIA DO SOLO/NÚCLEO REGIONAL SUL (SBCS-NRS). (2004) *Recomendações de adubação e de calagem para os estados do Rio Grande do Sul e de Santa Catarina*. 10. ed. Porto Alegre: SBCS-NRS. 400 p.
- SOUTO, L.S.; SILVA, L.M.; LOBO, T.F.; FERNANDES, D.M.; LACERDA, N.B. (2005) Níveis e formas de aplicação de lodo de esgoto na nutrição e crescimento inicial da mamoneira. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v. 9, p. 274-277.
- SOUZA, G.A.; PINHO, P.J.; BASTOS, A.R.R.; COELHO, L.C.; BOTREL, E.P.; CARVALHO, J.G. (2015) Omissão simples de B e múltiplas com Ca, Fe, Mn e Zn em mamoneira (*Ricinus communis*). *Revista Agrarian*, v. 8, n. 29, p. 287-295.
- STRECK, E.V.; KAMPF, N.; DALMOLIN, R.S.D.; KLAMT, E.; NASCIMENTO, P.C.; SCHNEIDER, P. (2008) *Solos do Rio Grande do Sul*. Porto Alegre: UFRGS. 222 p.
- TEDESCO, M.J.; GIANELLO, C.; BISSANI, C.A.; BOHNEN, H.; VOLKWEISS, S.J. (1995) *Análises de solo, plantas e outros materiais*. 2. ed. Porto Alegre: Departamento de Solos da UFRGS. 174 p. (Boletim Técnico 5).
- WEILER, J. (2016) *Benefícios ambientais da recuperação da pirita na mineração de carvão em SC*. 106f. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Minas, Metalúrgica e de Materiais, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

