

Avaliação da Toxicidade do Lodo de Curtume em Plantas de Girassol

Toxicity Evaluation of Tannery Sludge in Sunflower Plants

Gislayne de Araujo Bitencourt^{*a}; Natália da Silva Guidorissi^a; Artur Guerra Rosa^a; Pedro Henrique Lande Brandão^a; Roanita Iara Rockenbach^b; Valdemir Antônio Laura^c

^aUniversidade Estadual de Mato Grosso do Sul, MS, Brasil.

^bCooperativa Agrícola de Mato Grosso do Sul, MS, Brasil.

^cEmpresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, Centro Nacional de Pesquisa de Gado de Corte, MS, Brasil.

*Email: gislaynebitencourt@gmail.com

Resumo

Um subproduto da pecuária bovina bastante representativo no Brasil é a produção de couro do tipo *wet-blue*. No entanto, o processo de beneficiamento gera grande quantidade de resíduos na forma de lodo, que se apresenta o cromo em sua constituição, sendo considerado um resíduo nocivo ao meio ambiente. O objetivo com este trabalho foi avaliar os efeitos de toxicidade da aplicação do lodo de curtume em diferentes dosagens no crescimento de girassol (*Helianthus annuus* L.), a fim de verificar a possibilidade de utilização desse resíduo sem comprometer a performance das plantas. O experimento foi realizado em casa de vegetação, os vasos foram preenchidos com 5 kg de solo e o lodo foi aplicado nas doses: 0,1; 1; 10; 100 e 250 g.kg⁻¹ de lodo/solo. Foram semeadas três sementes de girassol, em cada vaso, cultivados por 30 dias. O delineamento experimental utilizado foi inteiramente casualizado com cinco repetições. As variáveis avaliadas foram: porcentagem de germinação, comprimento de raiz e parte aérea das plantas, diâmetro de caule, número de folhas e produção de matéria seca de raiz e de parte aérea. Os dados foram submetidos a análise de variância (teste F) e teste de Tukey. A dose de 100 g.kg⁻¹ ocasionou efeitos de toxicidade nas plantas. Diferente da dose de 250 g.kg⁻¹, que inibiu a germinação das sementes. Com base nos resultados, recomenda-se a utilização de até 10 g.kg⁻¹ de lodo de curtume no crescimento de girassol.

Palavras-chave: Composto Orgânico. *Helianthus Annuus*. Resíduo. Tratamento de Couro.

Abstract

The representative by-product of cattle ranching in Brazil is the production of wet-blue leather. However, the beneficiation process generates a large amount of waste in the form of sludge, that presents chromium in its constitution, considered a waste harmful to the environment. The aim of this work was to evaluate the toxicity effects of applying tannery sludge at different dosages on sunflower (*Helianthus annuus* L.) growth in order to verify the possibility of using this residue without compromising the plants' performance. The experiment was carried out in a greenhouse, the pots were filled with 5 kg of soil and the sludge was applied in doses: 0.1; 1; 10; 100 and 250 g.kg⁻¹ of sludge/soil. Three sunflower seeds were sown in each pot, grown for 30 days. The experimental design used was completely randomized with five replications. The evaluated variables were: germination percentage, root length and plants' aerial part, stem diameter, number of leaves and dry root production and aerial part. The data were submitted to analysis of variance (F test) and Tukey test. The dose of 100 g.kg⁻¹ caused toxicity effects on plants. Different from the 250 g.kg⁻¹ dose that inhibited seed germination. Based on the results, it is recommended to use up to 10 g.kg⁻¹ of tannery sludge in sunflower growth.

Keywords: Organic Compound. *Helianthus Annuus*. Residue. Leather Treatment.

1 Introdução

A indústria curtumeira apresenta grande relevância econômica mundial, e o Brasil é considerado o maior exportador, produzindo o couro do tipo *wet-blue* que utiliza o cromo na etapa de curtimento (NAKATANI *et al.*, 2011). O beneficiamento do couro bovino demanda tratamentos mecânicos e químicos, no qual produz elevada quantidade de resíduos. A água residuária é constituída por partículas sólidas e dissolvidas, que permanece em tanques de decantação, o material sólido que sedimenta no fundo das lagoas é conhecido como lodo de curtume, que após a etapa de desidratação é retirado e armazenado para posterior descarte (ALMEIDA *et al.*, 2017).

O lodo de curtume, em sua fase final, é destinado

para aterros sanitários, o que implica em elevado risco de contaminação pelo acúmulo de cromo e outros elementos químicos presentes em sua constituição, aumentando as possibilidades de contaminação do solo e água, ocasionado uma série de problemas sociais, econômicos e ambientais (GONÇALVES *et al.*, 2014a; 2014b).

Uma alternativa de destinação do lodo de curtume é a utilização na agricultura como fonte de macro e micronutrientes para o desenvolvimento das plantas e neutralização do pH de solos ácidos (LEMKE-DE-CASTRO *et al.*, 2015). Contudo, a utilização deve ser feita de maneira moderada, pois altos teores de sódio e cromo podem limitar o crescimento e desenvolvimento das plantas e ocasionar efeitos de toxidade (SANTOS *et al.*, 2014).

Alguns estudos citam resultados promissores com a utilização do lodo de curtume no cultivo de espécies agrícolas, como no milho (GUIMARAES *et al.*, 2015; MALAFAIA *et al.*, 2016; ARAUJO, 2011), alface (BASTOS *et al.*, 2011), café (BERILLI *et al.*, 2014; 2018), cana-de-açúcar (BATISTA; ALOVISI, 2011), feijão (PRADO; CUNHA, 2011), soja (ARAUJO; GENTIL, 2010) bem como, mamoneira (QUADRO *et al.*, 2019).

Nesse contexto, é imprescindível o conhecimento das características químicas, biológicas e toxicológicas dos resíduos, para que os mesmos possam ser utilizados com segurança e não causem impactos negativos ao meio ambiente e aos vegetais.

Os ensaios ecotoxicológicos padronizados pela Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), com diferentes espécies são recomendados como uma ferramenta adicional de caracterização, permitindo avaliar os riscos ecológicos em solos e outras matrizes, a fim de conhecer a consequência da liberação de substâncias químicas diretamente sobre as plantas, por meio do monitoramento de efeitos letais, morfológicos e fisiológicos (ISO 11269-2, 2014).

Entre as culturas que podem ser beneficiadas pela aplicação do lodo de curtume, encontra-se o girassol, pois são consideradas fitoextratoras por apresentarem características como ciclo vegetativo curto, ampla adaptação a diferentes tipos de solo e pH, variações de temperatura. Diante disso, são recomendadas para a remediação de solos contaminados com pesticidas, lodo de esgoto, com capacidade de remover grandes quantidades de

chumbo, cobre, cromo e zinco, tolerando altas concentrações de metais no solo (NOVAIS *et al.*, 2019; BOFFE *et al.*, 2017; NASCIMENTO *et al.*, 2014; LOBO THOMAZ *et al.*, 2013).

Partindo dessa premissa, o objetivo com este trabalho foi avaliar os efeitos de toxicidade da aplicação do lodo de curtume em diferentes dosagens no crescimento de girassol (*Helianthus annuus* L.), a fim de verificar a possibilidade de utilização desse resíduo sem comprometer a performance das plantas.

2 Material e Métodos

As amostras do lodo de curtume foram cedidas pela Embrapa Gado de Corte, localizada em Campo Grande – MS. O experimento foi conduzido na Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul, Unidade Universitária de Aquidauana, localizada na rodovia Graziela Maciel Barroso, Km 12, com altitude de 172 m, região ecótono Cerrado-Pantanal, coordenadas 55°67' Oeste e 20°45' Sul, de clima tropical sub-úmido (Aw) com verão chuvoso e inverno seco, temperatura média anual de 26 °C segundo a classificação de Köppen (ALVARES *et al.*, 2014).

O lodo de curtume (LC) foi incorporado em amostras de solo do tipo Argissolo Vermelho Distrófico (SCHIAVO *et al.*, 2010) coletado na camada de 0-30 cm, em uma área do setor de horticultura da UEMS. O solo foi seco ao ar livre por 48 horas, seguido de peneiramento manual com peneira de malha 8 mm. Uma subamostra foi caracterizada quanto sua fertilidade pelo laboratório de análises do IAGRO (Quadro 1).

Quadro 1 - Caracterização química do solo coletado na UEMS/UUA, Aquidauana-MS

| pH | MO | V | P | Fe | Mn | Cu | Zn. |
|---------------------|-------------------------|----|----------------------|-------|-------------------|------|------|
| CaCl ₂ | g. kg ⁻¹ | % | mg. dm ⁻³ | | | | |
| 6 | 22 | 63 | 142,8 | 16,23 | 7,15 | 0,27 | 3,94 |
| CE | K | Ca | Mg | Al | H ⁺ Al | S | CTC |
| mS.cm ⁻¹ | cmolc. dm ⁻³ | | | | | | |
| 34,9 | 0,38 | 4 | 0,7 | 0 | 3 | 5,11 | 8,11 |

Nota: pH = potencial hidrogênio iônico; CE = condutividade elétrica do substrato; MO = matéria orgânica; V = saturação por bases; P = fósforo disponível extraído por Melich¹; Fe= ferro disponível; Mn = manganês; Cu = cobre; Zn = zinco; K= potássio trocável; Ca = cálcio trocável; Mg = magnésio trocável; Al = alumínio; H⁺Al = acidez trocável; S= soma de bases; CTC = capacidade de troca catiônica.

Fonte: dados da pesquisa.

As características químicas do lodo de curtume foram analisadas no Ribersolo Laboratório de Análise Agrícola, na qual foi quantificado cálcio (Ca), cromo (Cr), Na (sódio) e

magnésio (Mg), conforme metodologia descrita em Tedesco *et al.* (1995) (Quadro 2).

Quadro 2 - Caracterização física e química do lodo de curtume (LC)

| pH | Ce | N | MO | P | Na | Cr | Ca | Mg |
|-------------------|---------------------|--------------------|---------------------|---------------------|---------------------|------------------------|------|-----|
| CaCl ₂ | μS/cm ⁻¹ | g.kg ⁻¹ | mg.dm ⁻³ | mg.kg ⁻¹ | mg.dm ⁻³ | cmolc.dm ⁻³ | | |
| 7,85 | 2890 | 13,58 | 28,19 | TF | 4,8 | 8400 | 21,3 | 6,1 |

Nota: pH = potencial hidrogênio iônico; Ce = condutividade elétrica; N = nitrogênio amoniacal; P= fósforo disponível; MO= matéria orgânica; Ca = Cálcio; Cr = cromo; Na= sódio e Mg = magnésio.

Fonte: dados da pesquisa.

Foram semeadas três sementes de *Helianthus annuus* L. em cada vaso. O lodo de curtume foi aplicado nas doses de 0; 0,1; 1,0; 10; 100 e 250 de material/solo (g.kg⁻¹) na base seca,

em vasos com capacidade de 5 kg. O teste de toxicidade foi realizado de acordo com as normas da ABNT (ISO 11269-2, 2014), a qual sugere as dosagens de aplicação para determinar

a dose letal que causa efeito de inibição em pelo menos 50% das plantas testadas.

O delineamento experimental utilizado foi inteiramente casualizado (DIC) com cinco repetições. O experimento foi realizado em condições de casa de vegetação com temperatura média aproximada de 26 °C, a umidade do solo foi mantida em 40% da capacidade de retenção de água, por meio da pesagem dos vasos e adição de água, conforme metodologia descrita na norma ISO 11269-1 (1993).

As amostras de solo incorporadas com o lodo de curtume nas diferentes dosagens, foram coletadas no início e ao final do experimento, secas em estufa de aeração forçada a 65°C por 48 horas, foram utilizadas para análise do potencial hidrogênio iônico (pH) em pHmetro, condutividade elétrica (CE) em condutivímetro segundo metodologia de Abreu *et al.* (2009). A quantificação de nitrogênio foi realizada de acordo com o método de Kjeldahl, conforme metodologia descrita por Miyazama *et al.* (2009) e do fósforo de acordo com o método de Mehlich 1, a leitura foi realizada utilizando um espectrofotômetro no comprimento de onda de 660 nm, de acordo com a metodologia proposta por Silva *et al.* (2009).

A porcentagem de germinação foi avaliada durante sete dias após a sementeira do girassol até a emergência de três plântulas no vaso controle (contendo apenas solo). Após 30 dias do plantio, as plantas foram removidas dos vasos, lavadas

em água e avaliados os seguintes parâmetros: porcentagem de germinação (PG); comprimento de raiz (CR) e parte aérea (CPA) (cm); massa seca das raízes (MSR) e parte aérea (MSPA) (g); diâmetro do caule (DC) (cm) e número de folhas (NF).

Para obtenção do comprimento se utilizou uma fita métrica e o diâmetro com o auxílio de um paquímetro digital, os dados foram obtidos em cm. As raízes e a parte aérea das plantas foram separadas, secas em estufa de aeração forçada a 65°C por 72 horas. Posteriormente, foram pesadas em balança analítica para a obtenção da biomassa em g. Após, foram moídas em moinho para obtenção de um pó fino para as análises de nitrogênio e fósforo total (MIYAZAMA *et al.*, 2009; SILVA *et al.*, 2009).

Os dados obtidos foram submetidos à análise de variância (teste F) e as médias foram comparadas pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade, utilizando o programa estatístico SISVAR (FERREIRA, 2019).

3 Resultados e Discussão

Os valores referentes ao potencial hidrogênio iônico (pH), condutividade elétrica (CE), concentração de nitrogênio (N) e fósforo (P) no solo com aplicação do lodo de curtume, no momento da implantação e, após 30 dias de cultivo do girassol, estão apresentados no Quadro 3.

Quadro 3 - Caracterização dos parâmetros químicos do solo com aplicação de lodo de curtume (LC) nas diferentes doses

| LC | Implantação | | | | Após 30 dias | | | |
|--------------------|------------------|---------------------|--------------------|---------------------|------------------|---------------------|--------------------|---------------------|
| | pH | Ce | N | P | pH | Ce | N | P |
| g.kg ⁻¹ | H ₂ O | μS.cm ⁻¹ | g.kg ⁻¹ | mg.dm ⁻³ | H ₂ O | μS.cm ⁻¹ | g.kg ⁻¹ | mg.dm ⁻³ |
| 0 | 6,56 | 28,4 | 4,65 | 169,97 | 6,17 | 23,9 | 5,77 | 163,33 |
| 0,1 | 6,23 | 26,2 | 6,74 | 153,68 | 6,41 | 18,24 | 5,31 | 163,08 |
| 1,0 | 6,67 | 40,8 | 8,59 | 144,97 | 6,60 | 22,7 | 7,72 | 147,37 |
| 10 | 7,43 | 153,9 | 7,54 | 171,80 | 7,33 | 133,9 | 7,65 | 195,08 |
| 100 | 7,49 | 568,6 | 7,69 | 15,03 | 7,53 | 461,4 | 7,65 | 183,27 |
| 250 | 7,63 | 2210 | 14,14 | TP | 7,65 | 3,620 | 9,93 | TP |

Nota: pH = potencial hidrogênio iônico; Ce = condutividade elétrica; N = nitrogênio amoniacal; P = fósforo disponível e TP = traços de fósforo. **Fonte:** dados da pesquisa.

Os parâmetros químicos do solo revelaram o aumento crescente do pH mantendo-se próximo da neutralidade (Quadro 3). Segundo o Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA) a instrução normativa nº 25, de 23 de julho de 2009, o valor de pH mínimo aceitável para a comercialização de composto no Brasil é igual a 6,0. Desse modo, para o parâmetro pH no lodo de curtume está dentro da faixa aceitável até a dose de 1,0 g.kg⁻¹ de lodo, acima desta o pH aumentou, ficando mais alcalino (BRASIL, 2009).

A CE aumentou em comparação ao controle na dose de 250 g.kg⁻¹ (Quadro 3), pois valores acima de 1000 μS.cm⁻¹ podem causar injúrias nos vegetais (KIEHL, 2012).

Após 30 dias do plantio, foi verificado o aumento nos teores de N na dose de 250 g.kg⁻¹ e redução de P, que apresentou apenas traços de fósforo (Quadro 3). Com relação aos valores de P, observa-se que os teores disponíveis são

oriundos da composição química do solo, quando aumentada a dose de lodo, nota-se que ocorre a redução, até não ser mais possível quantificá-lo. Os dados referentes aos teores de fósforo são compatíveis com os relatados por outros autores, sendo normalmente encontrados em baixa concentração no lodo de curtume, pois o alto pH promove a precipitação do P em formas insolúveis de fosfato de cálcio e hidroxiapatita (POSSATO *et al.*, 2014; ARAUJO *et al.* 2016).

De acordo com Teixeira *et al.* (2006), o lodo de curtume, aplicado em altas doses, pode aumentar a salinização do solo, interferindo na absorção dos nutrientes, ocasionando um efeito semelhante ao observado em solos salinos. Sendo assim, a aplicação do lodo de curtume em grandes quantidades provocou a elevação do pH e CE.

Outros autores citam o aumento nos valores de pH, CE, relação de adsorção de sódio e porcentagem de sódio

trocável com a elevação de doses de lodo de curtume. Esses parâmetros são referências na detecção da salinidade do solo e a elevação de seus valores, já é esperada quando se aplica o lodo, por conta da elevada concentração de sais em sua composição (POSSATO *et al.*, 2014; TEIXEIRA *et al.*,

2006).

Com base nos resultados da análise de variância, houve efeito significativo ao nível de 5% de probabilidade das doses de lodo de curtume em todas as variáveis morfológicas avaliadas (Quadro 4).

Quadro 4 - Resumo da análise de variância (teste F) para porcentagem de germinação (PG), comprimento da parte aérea (CPA) e de raiz (CR), diâmetro de caule (DC), número de folhas (NF), massa seca da parte aérea (CPA) e de raiz (MSR) submetida a seis doses de lodo de curtume (LC)

| FV | GL | PG | CPA | CR | DC | NF | MSPA | MSR |
|-------|----|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| Doses | 5 | 37,70* | 58,68* | 36,22* | 33,89* | 44,97* | 79,03* | 54,30* |
| Erro | 24 | | | | | | | |
| CV% | | 18,09 | 21,24 | 27,34 | 22,58 | 22,36 | 14,40 | 16,33 |

Nota: *significativo ($p < 0,05$) FV= Fontes de variação; GL= Grau de Liberdade; CV= coeficiente de variação.

Fonte: Dados da pesquisa.

A aplicação do lodo de curtume na dose de 250 g.kg⁻¹, interferiu na porcentagem de germinação das sementes de girassol ($p < 0,05$). As sementes não germinaram e entraram em

processo de decomposição, sugerindo efeitos de toxicidade (Quadro 5).

Quadro 5 - Teste de comparação de médias para porcentagem de germinação (PG), comprimento da parte aérea (CPA) e de raiz (CR), diâmetro de caule (DC), número de folhas (NF), massa seca da parte aérea (CPA) e de raiz (MSR) submetidas a seis doses de lodo de curtume (LC)

| LC | PG | CPA | CR | DC | NF | MSPA | MSR |
|--------------------|--------|----------|----------|---------|--------|---------|--------|
| g.kg ⁻¹ | % | cm | cm | cm | | g | g |
| 0 | 100 a | 33,87 a | 23,98 a | 3,99 a | 7,86 a | 7,81 a | 5,76 a |
| 0,1 | 86,6 a | 29,27 cd | 20,57 a | 4,64 a | 6,46 a | 7,74 ab | 5,99 a |
| 1,0 | 100 a | 24,95 bc | 18,14 ab | 3,61 ab | 7,33 a | 7,25 ab | 5,90 a |
| 10 | 100 a | 21,28 b | 11,88 b | 2,72 bc | 7,33 a | 6,25 b | 5,69 a |
| 100 | 86,6 a | 4,17 d | 3,70 c | 2,04 c | 1,53 b | 3,50 c | 3,37 b |
| 250 | 0,00 b | 0,00 d | 0,00 c | 0,00 d | 0,00 b | 0,00 d | 0,00 c |

Nota: as letras referem-se ao teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Fonte: dados da pesquisa.

A inibição na germinação das sementes pode ser justificada pela elevada CE, pois o excesso de sais no solo reduz o potencial hídrico, diminuindo a capacidade de absorção de água, afetando a velocidade e, conseqüentemente, o tempo de germinação. Além disso, efeitos letais podem ser observados quando são expostas a níveis tóxicos de salinidade (RABBANI *et al.*, 2013).

Resultados similares foram verificados utilizando o lodo de curtume na concentração de 10% em plantas de pimenta biquinho, em que se observou a diminuição na germinação em função do aumento das dosagens (ALMEIDA *et al.*, 2017).

O comprimento de parte aérea é uma variável importante para estimar o padrão de produtividade das plantas. Comparando as doses de 100 e 250 g.kg⁻¹ de lodo de curtume com o controle (sem lodo), observou-se a redução no crescimento aéreo das plantas, sendo verificados efeitos fitotóxicos partir da dose de 100 g.kg⁻¹ (Quadro 5).

A redução do comprimento de parte aérea, também foi observada por Berilli *et al.* (2014), que sugerem que pode estar relacionado ao potencial osmótico do solo e das células radiculares, pois o lodo apresenta elevada concentração de sódio, o que pode alterar a regulação osmótica da planta e

dificultar o transporte de água e solutos para a parte aérea do vegetal.

Segundo Possato *et al.* (2014), a aplicação de lodo de curtume em plantas de eucalipto promoveu o aumento em 11,5% em altura comparando com o controle, enquanto a produção de massa seca da raiz reduziu em 28,3%. Além disso, foram observados em todas as doses aplicadas, o acúmulo de cromo nas raízes em função do aumento das dosagens de lodo.

Resultados similares foram encontrados quando o lodo foi utilizado na forma de vermicomposto e realizou a irrigação com água residuária doméstica, promoveram aumento da altura e diâmetro caulinar nas plantas de milho (MALAFAIA *et al.*, 2016).

Nas avaliações apresentadas no Quadro 5, as doses de 1,0 e 10 g.kg⁻¹ do lodo de curtume promoveram redução no CR, principalmente na dose de 100 g.kg⁻¹, esse fato pode estar relacionado às condições salinas observadas nessa dosagem.

Estes resultados diferem dos relatos por Teixeira *et al.* (2006), que avaliou plantas de feijão caupi e verificou que o lodo de curtume em altas dosagens proporcionou a maior liberação de nutrientes, incremento de matéria orgânica, conseqüentemente, o aumento no crescimento de raízes e parte

aérea da planta.

Verificou-se um decréscimo no diâmetro do caule de girassol nas doses de 1,0; 10 e 100 g. kg⁻¹, sugerindo que altas doses interferem no crescimento em espessura do caule (Quadro 5). Em plantas de café, o diâmetro foi influenciado pela CE a partir de 1200 µS.cm⁻¹, ocasionando a diminuição no crescimento e consequentemente à morte (FIGUEIREDO *et al.*, 2006).

Foi observada a queda das folhas na dose de 100 g.kg⁻¹. Em situações de estresse salino ocorrem alterações sobre a morfologia e anatomia nos vegetais, consequentemente reduzindo a transpiração para diminuir a absorção de água. Uma alternativa de adaptação é redução no número de folhas em resposta à salinidade (SOUSA *et al.*, 2011).

Observou-se que em relação MSPA as doses de 0,1 e 1,0 g.kg⁻¹ não se diferenciaram estatisticamente, enquanto a dose de 100 g.kg⁻¹ foi prejudicial ao desenvolvimento das plantas. A dose de 100 g.kg⁻¹ provocou a redução na MSR e inibição na dose acima desta (Quadro 5).

Os mesmos decréscimos foram encontrados por Berilli

et al. (2014), que verificaram que em altas doses do lodo de curtume diminuíram a produção de matéria seca de café conilon. Essa observação levanta a hipótese de o lodo interferir no crescimento somente da parte aérea das plantas, podendo estar relacionado à deficiência de nitrogênio, presença de cromo ou de sódio. Almeida *et al.* (2017) cultivando pimenta biquinho observou que a partir de 30% de lodo de curtume ocorreu a redução nessa variável.

O aumento da CE pode ter ocasionado na redução da disponibilidade de água para as plantas e como consequência provocou o decréscimo nas variáveis morfológicas quando submetida a dose de 100 g.kg⁻¹. Durante o experimento, o solo na superfície dos vasos se mantinha úmido, porém, não percolava em profundidade. De acordo com Prado e Cunha (2011), o aumento da umidade após a aplicação do lodo de curtume pode ser atribuído à incorporação de matéria orgânica, oriunda do próprio resíduo ou do solo no qual foi aplicado.

A dose de 100 g.kg⁻¹ apresentou indicativos de toxicidade causados pelo excesso de lodo de curtume no solo, sendo visíveis sintomas de deficiência nutricional nas folhas (Figura 1).

Figura 1 - Plantas de girassol após 30 dias de crescimento em solo com aplicação de diferentes doses de lodo de curtume (g.kg⁻¹).



Fonte: Dados da pesquisa.

Com base nas observações, sugerimos que os efeitos fitotóxicos verificados no girassol são atribuídos a elevada concentração de lodo na dose de 100 g.kg⁻¹, que ocasionou a salinização do solo decorrentes dos elevados teores de cálcio (Ca) e cromo (Cr) contidos em sua composição in natura (Quadro 2). Fato esse que pode ser associado com a elevada condutividade, que provocou a redução em todas as variáveis avaliadas nas plantas de girassol.

O excesso do Ca, na solução do solo, reduz a absorção de magnésio (Mg²⁺), induzindo a deficiência de Cu (cobre) e Zn (zinco) que diminui e, provoca o antagonismo com relação absorção de K⁺ (potássio) (PRADO, 2008). A presença de Na eleva o pH, dificulta a absorção de Mg²⁺ e a disponibilidade de Fe, Mn, Cu e Zn. Já os níveis excessivos de Cr, podem causar sintomas de toxicidades, como a diminuição de crescimento, atrofia no desenvolvimento radicular, enrolamento e descolaração das folhas (RICHARD; BOURG, 1991).

O aumento da salinidade do solo faz com que os cátions, anteriormente adsorvidos (Ca⁺² e Mg⁺²), sejam trocados por

outros, podendo-se citar o Na⁺. Isso ocorre de maneira linear em condições de baixa salinidade, diminuindo, exponencialmente, em dosagens mais altas. Desse modo, a inibição da germinação e reduções no crescimento são consequências do estresse salino progressivo, em função do desvio de energia em condições de alta salinidade (NAZÁRIO *et al.*, 2010).

A presença de Cr e do Na em excesso no lodo de curtume são provenientes do processo de beneficiamento do couro, fatores considerados limitantes para seu uso agrícola. Por esse motivo, esses elementos químicos devem ser monitorados para evitar estresse nos vegetais (SILVA *et al.*, 2011).

Vários estudos relatam a influência negativa do Na e do Cr como fatores limitantes para o bom desenvolvimento das plantas (BERILLI *et al.*, 2015; CARVALHO *et al.*, 2012; MARTINES *et al.*, 2006). A adição do lodo de curtume em níveis inferiores a 30% foi insuficiente para atender as necessidades nutricionais dos vegetais e, a partir de 50% ocasionaram efeitos tóxicos nas mudas de pimenta

(ALMEIDA *et al.*, 2017). Nesse experimento, a dose de 250 g.kg⁻¹ corresponde a 25% de lodo de curtume, que provocou a inibição da germinação. A dose inferior a essa, de 100 g.kg⁻¹ corresponde a 10%, ocasionou a redução de todas as variáveis morfológicas avaliadas com sintomas de fitotoxicidade.

O lodo aplicado em pequenas doses pode favorecer a fertilidade do solo e incremento das raízes. Porém, quando aumentadas às dosagens, verificou uma redução no desenvolvimento das raízes (POSSATO *et al.*, 2014). A redução da produtividade de milho, devido ao aumento de CE, Ca e pH alteraram a disponibilidade de nutrientes no solo (ARAUJO, 2011).

Alguns autores sugerem que o lodo de curtume seja previamente vermicompostado, a fim de evitar a contaminação e efeitos tóxicos, transformando tais resíduos em compostos orgânicos nobres (MALAFAIA *et al.*, 2015a; MALAFAIA *et al.*, 2015b).

Além do mais, levanta-se a hipótese de uma sensibilidade maior atribuída ao fato de germinar as sementes em solo com aplicação de lodo de curtume. Essa sensibilidade não foi relatada quando utilizada em mudas, estacas ou na fertirrigação foliar (QUADRO *et al.*, 2019; BERILLI *et al.*, 2018; 2014; ARAUJO, 2011).

O girassol é considerado uma planta moderadamente tolerante à salinidade, contudo, pode apresentar reduções de crescimento com o aumento de sais no meio radicular (RABBANI *et al.*, 2013).

A aplicação do lodo de curtume, em áreas agrícolas, pode ser uma alternativa para disposição e reciclagem desse resíduo. Contudo, a dose a ser aplicada depende da composição química do resíduo, pois o acúmulo de elementos químicos no solo, como por exemplo, o cálcio, sódio e o cromo podem ocasionar impactos negativos no crescimento dos vegetais. Sugere-se a aplicação do lodo de curtume até a dose de 10 g.kg⁻¹, pois acima desta, efeitos de toxicidade foram observados nas plantas de girassol.

4 Conclusão

A dose de 100 g.kg⁻¹ de lodo de curtume ocasionou efeitos de toxicidade nas plantas, reduzindo o crescimento aéreo e radicular, além de diminuir o número de folhas. A dose considerada letal foi a de 250 g.kg⁻¹ que inibiu a germinação das sementes por estresse salino. Recomenda-se a aplicação de até 10 g.kg⁻¹ de lodo de curtume no crescimento de girassol, a fim de evitar sintomas de toxicidade oriundos da alta concentração de cromo, de cálcio e de sódio.

Referências

ABREU, M.F. *et al.* Análises químicas de fertilizantes orgânicos (urbanos). In: SILVA, F.C. Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes do solo. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2009. p.401-405.

ALMEIDA, R.N. *et al.* Utilização de lodo de curtume em complementação ao substrato comercial na produção de mudas de pimenta biquinho. *Rev. Scie. Agraria*, v.18, n.1, p.20-33, 2017.

doi: 10.5380/rsa.v18i1.49914.

ALVARES, C.A. *et al.* Köppen's climate classification map for Brazil. *Meteorol. Zeitschrift*, v.22, n.6, p.711-728, 2013. doi: 10.1127/0941-2948/2013/0507.

ARAUJO, F.F.; GENTIL, G.M. Ação do lodo de curtume no controle de *Meloidogyne* spp. e na nodulação em soja. *Rev. Ceres*, v.57, n.5, p.629-632, 2010.

ARAUJO, F.F. Disponibilização de fósforo, correção do solo, teores foliares e rendimento de milho após a incorporação de fosfatos e lodo de curtume natural e compostado. *Acta Scie. Agron.*, v.33, n.2, p.355-360, 2011.

ARAUJO, A.S.F. de. *et al.* Soil properties and cowpea yield after six years of consecutive amendment of composted tannery sludge. *Acta Scie. Agron.*, v.38, n.3, p.407-413, 2016.

BATISTA, M.M.; ALOVISI, A.M.T. Alterações de atributos químicos do solo e rendimento da cana soca pela utilização de lodo de curtume. *Anuário Prod. Inic. Cient.*, v.13, n.17, p.387-396, 2010.

BASTOS, N.S. *et al.* Desenvolvimento de mudas de alface em substrato comercial enriquecido com lodo de curtume. *Colloquium Exactarum*, v.3, n.1, p.18-21, 2011. doi: 10.5747/ce.2011.v03.n1.e023.

BERILLI, S.S. *et al.* Utilização de lodo de curtume como substrato alternativo para produção de mudas de café conilon. *Coffee Scie.*, v.9, n.4, p.472-479, 2014.

BERILLI, S.S. *et al.* Níveis de cromo em mudas de café conilon desenvolvidas em substrato com lodo de curtume como adubação alternativa. *Coffee Scie.*, v.10, n.3, p.320-328, 2015.

BERILLI, S.S. *et al.* Adubação foliar com lodo de curtume líquido no desenvolvimento e qualidade de mudas de maracujá-amarelo. *Rev. Bras. Agricul. Irrigada*, v.12, n.2, p.2477-2486, 2018. doi: 10.7127/rbai.v12n200762

BOFFE, M. P. *et al.* Potencial fitoextrator da espécie vegetal *Helianthus annuus* L. em solo contaminado por chumbo. *Rev. Espanos*, v.38, n.9, p. 1-8, 2017.

BRASIL. *Instrução normativa n. 25, de 23 de julho de 2009.* Diário Oficial da União, Brasília, DF, 28 Jul. Seção I, 2009.

CARVALHO, T.C. *et al.* Germinação e desenvolvimento inicial de plântulas de soja convencional e sua derivada transgênica RR em condições de estresse salino. *Ciênc. Rural*, v.42, n.8, p.1366-1371, 2012.

FERREIRA, D.F. SISVAR: a computer analysis system to fixed effects split plot type designs. *Rev. Bras. Biometria*, v.37, n.4, p.529-535. 2019.

FIGUEIREDO, V.B. *et al.* Crescimento inicial do cafeeiro irrigado com água salina e salinização do solo. *Rev. Bras. Eng. Agríc. Amb.*, v.10, n.1, p.50-57, 2006.

GONÇALVES, L.C.R. *et al.* Heavy metals and yield of cowpea cultivated under composted tannery sludge amendment. *Acta Scie. Agronomy*, v.36, n.4, p.443-448, 2014b.

GONÇALVES, L.C.R. *et al.* Soil microbial biomass after two years of the consecutive application of composted tannery sludge. *Scie. Agronomy*, n.1, p.35-41, 2014a.

GUIMARAES, W.P. *et al.* Efeito residual de lodo de curtume compostado sobre os teores de cromo e produtividade do milho verde. *Científica*, v.43, n.1, p.37-42, 2015.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. ISO 11269-1: *Soil quality - Determination of the effects of pollutants on soil flora.* Part 1: Method for the measurement

of inhibition of root growth. Geneva, 1993.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. ISO 1269:2. *Qualidade do solo – determinação dos efeitos de poluentes na flora terrestre*. Rio de Janeiro, 2014.

KIEHL, R.J. *Manual de compostagem: maturação e qualidade do composto*. 6. ed. Piracicaba: O autor, 2012. 171 p.

LEMKE-DE-CASTRO, M.L. *et al.* Sorção competitiva entre cádmio e cromo em latossolo variando pH e eletrólito de suporte. *Rev. Bras. Ciênc. Agrárias*, v.10, n.3, p.396-402, 2015.

LOBO THOMAZ, F. *et al.* Efeito do lodo de esgoto e do nitrogênio nos fatores produtivos do girassol. *Rev. Bras. Eng. Agrícola Amb.*, v.17, n.5, p. 504-509, 2013.

MALAFAIA, G. *et al.* Vermicompostagem de lodo de curtume em associação com esterco bovino utilizando *Eisenia fetida*. *Eng. Sanitária Amb.*, v.20, n.4, p.709-716, 2015a. doi: 10.1590/S1413-41522015020040134645

MALAFAIA, G. *et al.* Crescimento de plantas de milho em solo acrescido de vermicompostos de lodo de curtume e irrigado com água residuária de esgoto doméstico. *Rev. Amb. Água*, v.10, n.4, p.847-862, 2015b. doi: 10.4136/ambi-agua.1625

MALAFAIA, G. *et al.* Teor de nutrientes em folhas de milho fertilizado com vermicomposto de lodo de curtume e irrigado com água residuária doméstica. *Rev. Amb. Água*, v.11, n.4, p.879-809, 2016. doi: 10.4136/ambi-agua.1680

MARTINES, A. M. *et al.* Mineralização do carbono orgânico em solos tratados com lodo de curtume. *Pesq. Agropec. Bras.*, v.41, p.1149-1155, 2006. doi: 10.1590/S0100-204X2006000700011.

NASCIMENTO, A.L. *et al.* Teores de metais pesados no solo e em girassol adubado com lodo de esgoto. *Rev. Bras. Eng. Agríc. Amb.*, v.18, n.3, p.294-300, 2014.

NAKATANI, A. S. *et al.* Changes in the genetic structure of bacteria and microbial activity in an agricultural soil amended with tannery sludge. *Soil Biol. Biochem.*, v.43. p.106-114, 2011.

NAZÁRIO, A.A. *et al.* Crescimento do cafeeiro Conilon irrigado com água salina. *Eng. Amb.*, v.7, n.3, p.178 -195, 2010.

NOVAIS, J. *et al.* Use of sunflower and soybean as bioindicators to detect atrazine residues in soils. *Planta Daninha*, v.37, e019212649, 2019.

POSSATO, E.L. *et al.* Atributos químicos de um cambissolo e crescimento de mudas de eucalipto após adição de lodo de

curtume contendo cromo. *Rev. Árvore*, v.38, n.5, p. 847-856, 2014.

PRADO, R. M. *Nutrição de plantas*. São Paulo: Unesp, 2008.

PRADO, A.K.; CUNHA, M.E.T. Efeito da aplicação de lodo de esgoto e curtume nas características físico-químicas do solo e na absorção de nitrogênio por feijoeiro. *UNOPAR Cient. Exatas Tecnol.*, v. 10, n. 1, p. 37–41, 2011.

QUADRO, M.S. *et al.* Crescimento e teor de cromo em mamoneira cultivada em solo receptor de resíduos de curtume e carboníferos. *Eng. Sanitária Amb.*, v.24 n.6, p. 1095-1102, 2019.

RABBANI, A.R.C. *et al.* Efeito do estresse salino sobre atributos da germinação de sementes de girassol. *Scie. Plena*, v.9, n.5, p.1 – 6, 2013.

RICHARD, F. C., BOURG, A. C. Aqueous geochemistry of chromium: a review. *Water Res.*, v.25, n.7, p.807-816, 1991.

ROCHA, S.M.B. *et al.* Nodulation, nitrogen uptake and growth of lima bean in a composted tannery sludge-treated soil. *Ciênc. Rural*, v.49, n.11 p.1-7, 2019. doi: 10.1590/0103-8478cr20190301

SANTOS, J.L. *et al.* Chromium, cadmium, nickel, and lead in a tropical soil after 3 years of consecutive applications of composted tannery sludge. *Comm. Soil Sci.e.d Plant Analysis*, v. 45, n. 12, p. 1658–1666, 2014.

SILVA, C. da. *et al.* Emergência e crescimento inicial de plântulas de pimenta ornamental e celosia em substrato a base de composto de lodo de curtume. *Ciênc. Rural*, v.41, n.3, p.412-417, 2011.

SILVA, F.C. da. *et al.* Métodos de análises químicas para a avaliação da fertilidade do solo. In: SILVA, F.C. DA. Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes do solo. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2009. p.130- 134.

SCHIAVO, J.A. *et al.* Caracterização e classificação de solos desenvolvidos de arenitos da formação Aquidauana - MS. *Rev. Bras. Ciênc. Solo*, n.34, p. 881-889, 2010.

SOUSA, A.E.C. *et al.* Crescimento e consumo hídrico de pinhão manso sob estresse salino e doses de fósforo. *Rev. Ciênc. Agron.*, v.42, p.310-318, 2011. doi: 10.1590/S1806-66902011000200008

TEDESCO, M.J. *et al.* *Análises de solo, plantas e outros materiais*. 2Porto Alegre: UFRGS, 1995.

TEIXEIRA, K.R.G. *et al.* Efeito da adição de lodo de curtume na fertilidade do solo, nodulação e rendimento de matéria seca do caupi. *Ciênc. Agrotéc.*, v. 30, n. 6, p. 1071-1076, 2006.