



CONTAMINAÇÃO POR CU: TEOR TOTAL E IGeo EM SOLOS BRASILEIROS

AMANDA GASPARIN; GIOVANA CLARICE POGGERE; JULIERME ZIMMER BARBOSA

RESUMO

O cobre (Cu) é um elemento presente naturalmente nos solos e essencial para o desenvolvimento das plantas. Entretanto, estando presente em quantidades excessivas no solo, pela intervenção humana, é capaz de gerar o efeito contrário, sendo extremamente prejudicial a manutenção da vida. Assim, este trabalho tem como objetivo a sistematização de dados relacionados a contaminação de Cu em solos brasileiros, com enfoque para o Igeo, a fim de estabelecer o estado atual do conhecimento e contribuir como material de pesquisa a futuros estudos relacionados ao tema. Foram selecionadas 38 publicações encontradas em periódicos científicos de estudos referentes a contaminação por Cu em solos brasileiros. As pesquisas selecionadas para esta revisão apontaram que a contaminação por Cu em solo derivada de aplicação de fungicida cúprico, rejeitos de mineração e disposição de resíduos orgânicos em solos agricultáveis, são responsáveis por Igeo de moderado a alto, elevando o potencial de contaminação do solo e prejudicando a microbiota e o desenvolvimento de cultivares, podendo a curto ou longo prazo, diminuir a produtividade e a vida útil de áreas utilizadas para cultivo e atividades agrícolas. Os maiores teores de Cu total e disponível também estão relacionados as atividades citadas, com destaque para a atividade de mineração e aplicação de fungicidas cúpricos. Estudos realizados em áreas de rejeito de mineração apontam para valores médios de Cu total de 2058,26 mg kg⁻¹, enquanto que a média de teor total de Cu para áreas com aplicação de fungicida cúprico foi de 273,27 mg kg⁻¹. Assim, conclui-se que os principais estudos relacionados a contaminação por Cu em solos brasileiros estão relacionados a aplicação de fungicidas cúpricos em áreas de plantio de videiras, em Santa Catarina e no Rio Grande do Sul e a aplicação de resíduos orgânicos, com destaque para dejetos suínos, em solos agricultáveis. Os maiores valores médios de teor total de Cu e Igeo em solo são provenientes de rejeito de mineração de Cu. O Igeo de solos com aplicação de fungicida cúprico e resíduo orgânico podem atingir nível moderado a alto, enquanto se destacam pelo elevado potencial de contaminação.

Palavras-chave: revisão sistemática; índice de geoacumulação; fungicida cúprico; rejeito de mineração;

ABSTRACT

Copper (Cu) is an element naturally present in soils and essential for plant development. However, be extremely useful on the contrary, be harmful to the maintenance of life. Thus, this work aims to systematize data related to Cu contamination in Brazilian soils, focusing on Igeo, in order to establish the current state of knowledge and contribute as research material to future studies related to the topic. Thirty-eight publications found in scientific journals of studies concerning Cu contamination in Brazilian soils were selected. The research selected for this review indicated that Cu contamination in soil derived from the application of copper fungicide, mining tailings and disposal of organic residues in arable soils, are responsible for moderate to high Igeo, increasing the potential for soil contamination and harming the microbiota and the development of cultivars, which may, in the short or long term, reduce the productivity and useful life of areas used for cultivation and agricultural activities.

The highest levels of total and available Cu are also related to the aforementioned activities, with emphasis on mining and application of copper fungicides. Studies carried out in mining tailings areas point to average total Cu values of 2058.26 mg kg⁻¹, while the average total Cu content for areas with copper fungicide application was equal to 273.27 mg kg⁻¹. Thus, it is concluded that the main studies related to Cu contamination in Brazilian soils are related to the application of copper fungicides in areas where vines are planted

in Santa Catarina and Rio Grande do Sul, and the application of organic residues, with emphasis on swine manure on arable soils. The highest average values of total Cu and Igeo content in soil come from Cu mining tailings. The Igeo of soils with copper fungicide application and organic residue can reach a moderate to high level, while they stand out for their high potential for contamination.

Key Words: systematic review; geoaccumulation index; cupric fungicide; mining tailings;

1 INTRODUÇÃO

O cobre (Cu) é um elemento essencial para os organismos vivos (Festa e Thiele, 2011). A principal fonte natural de Cu para as plantas e diversos outros organismos é o solo, que por sua vez varia de acordo com o material de origem. Entretanto, o excesso de Cu no solo é responsável por gerar contaminação, sendo prejudicial a microbiota do solo e as plantas (Couto et al., 2015).

As fontes de contaminação por Cu no solo são variadas. A aplicação de fungicida a base de Cu em áreas cultivadas com videiras ou em pomares é considerado um dos principais motivos de excessivos teores de Cu em solos, sendo uma prática amplamente difundida para controle de doenças fúngicas em países como Brasil, Itália, França, Espanha e do leste europeu (BRUNETTO et al., 2017; PANAGOS et al., 2018).

Na Europa, Ballabio et al. (2018) observaram teores de Cu total entre 0 e 496 mg kg⁻¹ na camada superficial de solos, sendo que o maior teor médio foi observado em áreas de viticultura (49,3 mg kg⁻¹). No Brasil, Mirlean et al. (2007) encontraram elevados teores de Cu total (2197 mg kg⁻¹) em áreas de viticultura no sul do país.

As atividades de mineração também têm um grande potencial de contaminar solos adjacentes ou que recebem os resíduos desta atividade. Em alguns casos, como os que têm sido registrados no Chile (Verdejo et al., 2015), no Brasil (Niemeyer et al., 2012; Perlatti et al., 2021), na Austrália (Nirola et al., 2016) e na China (Li et al., 2014; Li et al., 2020), em solos afetados pela mineração podem apresentar teores de Cu maiores que 1000 mg kg⁻¹.

Além do desbalanço nutricional, os solos contaminados com Cu podem apresentar diversos riscos ecológicos e à saúde humana. Por se acumular nas camadas mais superficiais do solo, o Cu pode influenciar na atividade de micro e macrorganismos, afetando as funções ecossistêmicas por eles desempenhadas (Kumar et al., 2021). Por processos erosivos, pode atingir corpos d'água e passar para a cadeia trófica ao ser incorporado nos tecidos de peixes e organismos aquáticos que são consumidos por outros organismos (Perlatti et al., 2021). Em plantas alimentícias, estudos relatam a maior tendência de acúmulo do Cu nas raízes e frutos (Napolí et al., 2019; Coelho et al., 2020b), potencializando a ingestão e o acúmulo de Cu no organismo via alimentação. Como consequência tem-se relatado maior incidência de Alzheimer em pessoas que praticam uma dieta rica em Cu ou expostas a ambientes com altos teores de Cu por longos períodos (Shen et al., 2014; Squitti et al., 2021; Petel et al., 2021).

Tendo em vista a crescente contaminação por Cu em solos é importante conhecer de forma detalhada o potencial contaminante de cada uma das principais fontes antrópicas desse elemento. Também é necessário estabelecer o nível de entendimento com relação aos possíveis riscos para o ecossistema derivadas da contaminação dos solos por Cu. Embora a contaminação de solos brasileiros

com Cu vem recebendo maior atenção nos últimos anos, são escassos estudos que contemplem essas informações de forma detalhada e com abrangência nacional. Assim, esta revisão concentra-se na sistematização de dados relacionados a contaminação de Cu em solos brasileiros, com enfoque para o Igeo, com o objetivo de estabelecer o estado atual do conhecimento e contribuir como material de pesquisa a futuros estudos relacionados ao tema.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

2.1 Pesquisa na literatura e extração dos dados

A pesquisa foi conduzida entre os meses de março a julho de 2021, sem limitação de ano de publicação e utilizando as seguintes combinações de palavras-chave: “copper” ou “metals” e “soil contamination” e “urban soil” e “Brazil” ou “Brazilian” e “vineyards” ou “orchard” ou “sludge” ou “manure” ou “mining” ou “waste” ou “dumpsite”.

Para a escolha das publicações, foram adotados os seguintes critérios: (1) publicação em forma de artigo em periódico científico; (2) estudo conduzido no Brasil; (3) estudo que apresentasse área contaminada e área de referência; (4) estudo com análise de teor total ou disponível de Cu no solo (mg kg^{-1}); (5) estudo com resultados que podem ser extraídos diretamente do texto, tabelas e figuras.

Após exaustiva avaliação, foram selecionadas 38 publicações (Barbosa et al., 2020; Benedet et al., 2016; Benedet et al., 2020; Betancur-Agudelo et al., 2021; Brunetto et al., 2018; Brunetto et al., 2018; Brunetto et al., 2014; Casali et al., 2008; Cassella et al., 2007; Cesar et al., 2011; Cesar et al., 2012; Couto et al., 2021; Costa e Silva et al., 2021; Couto et al., 2015; Couto et al., 2016; De Conti et al., 2016; Formentini et al., 2015; Fragomeni et al., 2010; Giroto et al., 2014; Klumpp et al., 2003; Korchagin et al., 2020; Korf et al., 2008; Machado et al., 2011; Magalhães et al., 2021; Mattias et al., 2010; Miotto et al., 2014; Mirlean et al., 2009; Niemeyer et al., 2012; Nogueira et al., 2013; Oliveira et al., 2019; Penha et al., 2015; Penteado et al., 2021; Pereira et al., 2010; Perlatti et al., 2015; Preston et al., 2016; Silva et al., 2012; Tiecher et al., 2013).

Para cada publicação selecionada foram coletadas informações gerais, como: local do estudo, fonte da contaminação, tempo de uso da fonte de contaminação e a especificação da espécie cultivada ou do local contaminado. Também foram coletadas informações sobre a camada de solo avaliada, atributos do solo (teor de argila, carbono orgânico e pH), teor de Cu total e teor de Cu disponível, bem como os métodos de extração. Os dados foram compilados em planilha de Excel®.

2.2 Análise dos dados

Os dados gerais sobre a contaminação de Cu em solos brasileiros foram separados em sete grupos considerando a fonte de contaminação, sendo: 1) fungicida cúprico; 2) resíduo orgânico; 3) rejeito de mineração; 4) material particulado; 5) resíduo sólido; 6) chapa metálica. A partir dos dados de teor total de Cu no solo da área de referência e da área contaminada foi calculado o índice de geoacumulação (Igeo) (Müller, 1979), a partir da equação 1:

$$I_{geo} = \log_2 \frac{C_n}{1,5B_n} \quad (1)$$

onde Cn é a concentração de Cu na amostra de interesse, Bn é a concentração de Cu na amostra referência (background).

Para cada grupo de fonte de contaminação de Cu no solo foi realizada a estatística descritiva para os teores total e disponível e Igeo.

3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Em função da coleta de dados de cada artigo científico selecionado, a localização referente a cada pesquisa com contaminação por Cu no Brasil foi pontuada, o que pode ser observado na Tabela 1. Em destaque os estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina com o maior número de trabalhos. Isso se deve principalmente ao fato de a maior parte dos estudos contemplar áreas de fruticultura e áreas agricultáveis, sendo estas atividades comuns no sul do país.

Tabela 1. Número de trabalhos e estado brasileiro de realização da pesquisa

Estado	Número de trabalhos	%
Rio Grande do Sul	10	26,3
Santa Catarina	10	26,3
Minas Gerais	4	10,5
Bahia	2	5,3
Ceará	2	5,3
Goiás	2	5,3
Paraná	2	5,3
São Paulo	2	5,3
Amazonas	1	2,6
Mato Grosso	1	2,6
Pernambuco	1	2,6
Rio de Janeiro	1	2,6
Total	38	100

A Figura 1a apresenta o grupo de atividades e suas especificações em relação a contaminação por Cu em solo. A aplicação de fungicida representa 36,8% dos trabalhos científicos analisados, seguido de 26,3% de aplicação de resíduo orgânico e 18,4% de rejeito de mineração sendo estas as atividades de maior representatividade. Em menor recorrência, a contaminação foi derivada em 10,5% de material particulado, 5,3% de resíduo sólido e 2,6% de chapa metálica.

A Figura 1b apresenta as particularidades referentes a cada atividade pontuada. A contaminação por Cu em solo como resultado da aplicação de fungicida cúprico em área de cultivo de videira está associada a 31,6% dos estudos analisados. Assim como, a contaminação proveniente da disposição de resíduo orgânico em áreas agricultáveis deriva em 21,1% dos casos da aplicação de dejetos de suíno no solo. Na atividade de mineração, a extração de Cu é responsável por 7,9% da contaminação, enquanto que em 5,3% a produção de maçã e aplicação de lodo de esgoto são os motivos da contaminação. Com menor representatividade aparecem as atividades referentes a área industrial, fundição de Pb, rejeito, ferro velho, resíduos sólidos, área portuária, cimento, rodovia e parque urbano com ocorrência de 2,6%.

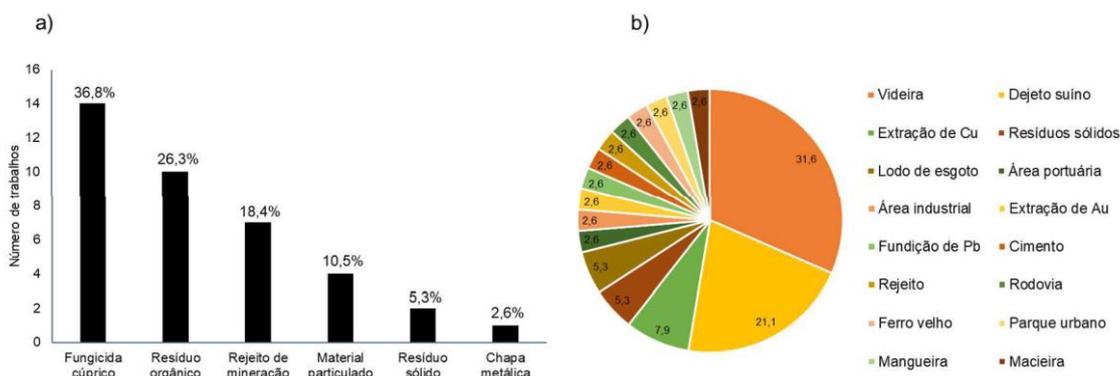


Figura 1. Número de trabalhos por grupos de contaminação (a) e especificações dos estudos (b).

A Figura 2 apresenta o teor total e o Igeo de Cu no solo em relação a cada grupo.

O grupo referente a rejeito de mineração obteve a maior média de teor de Cu total no solo, sendo o valor igual a 2058,26 mg kg⁻¹, seguido do grupo de fungicida cúprico, com média de 273,27 mg kg⁻¹ de Cu. O grupo de resíduo sólido apresentou média de 158,29 mg kg⁻¹.

Os demais grupos obtiveram médias inferiores, relativas a 68,09 mg kg⁻¹, 42,06 mg kg⁻¹ e 33,70 mg kg⁻¹, referentes a chapa metálica, resíduo orgânico e material particulado, respectivamente (Figura 2a).

Em pesquisa realizada por Pu et al. (2019), na bacia hidrográfica de Xiaojiag, localizada no distrito de Dongchuan, Yunnan, no sudoeste da China, com atividade de mineração de Cu antiga (2000 anos), a maior concentração de Cu encontrada em solos das fazendas que circundam a área foi de 850 mg kg⁻¹, teor considerado excessivo. Korchagin et al. (2020), em solo cultivado com videira por 123 anos com aplicação de calda bordalesa, no município de Pinto Bandeira, Rio Grande do Sul, a concentração média de Cu disponível atingiu valor de 1090 mg kg⁻¹, enquanto o teor da área referência (floresta) foi igual a 22,6 mg kg⁻¹. Assim, o teor de Cu disponível foi 48 vezes mais alto na área cultivada em comparação a área de referência, sendo que os maiores teores foram encontrados na camada superficial do solo (0-20cm).

Em estudo realizado por Milhome et al. (2018), amostras de solo foram coletadas do entorno de área de lixão na cidade de Iguatu, no Ceará. Os teores de Cu variaram, sendo o teor máximo encontrado igual a 182,6 mg kg⁻¹. Esta concentração está fora dos parâmetros legais (CONAMA 420/2009). Segundo os autores, os elevados teores de Cu encontrados no solo estão relacionados principalmente a resíduos provenientes da agricultura e pecuária. A contaminação é passiva de causar grandes danos à saúde humana a médio e longo prazo. Corroborando trabalho realizado por Gujre; Rangan; Mitra (2020), na Índia, onde foi detectada contaminação por Cu em solo proveniente de área de disposição de resíduos sólidos.

Analisando o Igeo de cada um dos grupos (Figura 2b), nota-se que a média de teor total de Cu para o grupo de rejeito de mineração atingiu nível de contaminação alto. Para o grupo de fungicida cúprico a contaminação se apresentou de moderada a alta, segundo análise de média e desvio padrão.

Para os grupos de resíduo orgânico, resíduo sólido e material particulado, o nível de contaminação mostrou-se de moderado a baixo. O grupo de chapa metálica apresentou resultados menos relevantes quanto a contaminação, apontando níveis baixos.

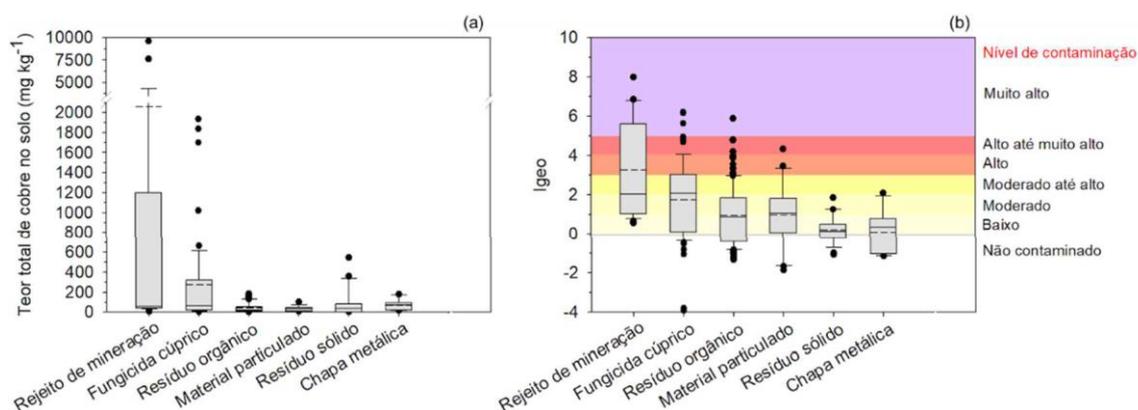


Figura 2. Box-plot do teor total de cobre (Cu; a) e índice de geoacumulação (Igeo; b) em solos afetados por diferentes fontes de contaminação no Brasil. Linha e linha tracejada indicam mediana e média, respectivamente.

Em pesquisa realizada por Khosaravi; Saadat; Dabiri (2020), na mina de Cu de Taknar, no Irã, amostras de solo e água foram coletadas próximas a área de mineração e processamento de aqueduto assim como em localidades mais distantes, como em vilas na região. A concentração de Cu no solo da região estudada variou entre 29,3 a mais que 10000 mg kg⁻¹. A maior concentração de Cu em amostra de solo foi de 0,24 mg kg⁻¹ em um dos túneis de mineração. O Igeo calculado variou de -0,07 – 2,1 e apresentou resultado moderado a altamente poluído nas áreas de mineração e processamento.

Gujre; Rangan; Mitra (2020), realizaram pesquisa em área de despejo de resíduos (orgânicos, oligoelementos -plásticos, vidro, metal- e não biodegradáveis - resíduos de combustíveis e veículos abandonados) na Índia. O índice de geoacumulação de Cu no solo apontou para uma contaminação de moderada (80% das amostras) a fortemente contaminado (10% das amostras).

4 CONCLUSÃO

Os principais estudos relacionados a contaminação por Cu em solos brasileiros estão relacionados a aplicação de fungicidas cúpricos em áreas de plantio de videiras, em Santa Catarina e no Rio Grande do Sul e a aplicação de resíduos orgânicos, com destaque para dejetos suínos, em solos agricultáveis. Os maiores valores médios de teor total de Cu e Igeo em solo são provenientes de rejeito de mineração de Cu. O Igeo de solos com aplicação de fungicida cúprico e resíduo orgânico podem atingir nível moderado a alto, enquanto se destacam pelo elevado potencial de contaminação.

REFERÊNCIAS

BALLABIO, C., PANAGOS, P., LUGATO, E., HUANG, J. H., ORGIAZZI, A., JONES, A., ... & MONTANARELLA, L. (2018). Copper distribution in European topsoils: An assessment based on LUCAS soil survey. *Science of The Total Environment*, 636, 282-298.

BENEDET, L., DICK, D. P., BRUNETTO, G., DOS SANTOS JÚNIOR, E., FERREIRA, G. W., LOURENZI, C. R., COMIN, J. J. Copper and Zn distribution in humic substances of soil after 10 years of pig manure application in south of Santa Catarina, Brazil. **Environmental geochemistry and health**, v. 42, n. 10, p. 3281-3301, 2020.

BETANCUR-AGUDELO, M., MEYER, E., LOVATO, P. E. Arbuscular mycorrhizal fungus richness in the soil and root colonization in vineyards of different ages. **Rhizosphere**, v. 17, p. 100307, 2021.

BRUNETTO, G., BENEDET, L., AMBROSINI, V. G., COMIN, J. J., MELO, G. W. B. D., SANTOS, M. A. D., LOURENZI, C. R., LOSS, A., FILHO, P. B., SCHMITT, D. E., COUTO, R. Copper and zinc fractions in the profile of an Inceptisol cultivated with apple in southern Brazil. **Bragantia**, v. 77, n. 2, p. 333-347, 2018(a).

BRUNETTO, G., COMIN, J. J., MIOTTO, A., MORAES, M. P. D., SETE, P. B., SCHMITT, D. E., GATIBONI, L. C., MELO, G. W. B. DE., MORAIS, G. P. Copper and zinc accumulation, fractionation and migration in vineyard soils from Santa Catarina State, Brazil. **Bragantia**, v. 77, n. 1, p. 141-151, 2018(b).

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

CASALI, C. A., MOTERLE, D. F., RHEINHEIMER, D. D. S., BRUNETTO, G., CORCINI, A. L. M., KAMINSKI, J., MELO, G. W. B. D. Formas e dessorção de cobre em solos cultivados com videira na Serra Gaúcha do Rio Grande do Sul. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 32, n. 4, p. 1479-1487, 2008.

CASSELLA, R. J., DE LR WAGENER, A., SANTELLI, R. E., WAGENER, K., TAVARES, L. Y. Distribution of copper in the vicinity of a deactivated mining site at Carajas in the Amazon region of Brazil. **Journal of hazardous materials**, v. 142, n. 1- 2, p. 543-549, 2007.

CESAR, R., SILVA, M., COLONESE, J., BIDONE, E., EGLER, S., CASTILHOS, Z., POLIVANOV, H. Influence of the properties of tropical soils in the toxicity and bioavailability of heavy metals in sewage sludge-amended lands. **Environmental Earth Sciences**, v. 66, n. 8, p. 2281-2292, 2012.

COELHO, F. C., SQUITTI, R., VENTRIGLIA, M., CERCHIARO, G., DAHER, J. P., ROCHA, J. G., ... & MOONEN, A. C. (2020b). Agricultural use of copper and its link to Alzheimer's disease. **Biomolecules**, 10(6), 897.

CONAMA. Conselho Nacional do Meio Ambiente. Resolução N° 420, de 28 de dezembro de 2009.

COSTA E SILVA, T. A. D., DE PAULA JR, M., SILVA, W. S., & LACORTE, G. A. (2021). Deposition of potentially toxic metals in the soil from surrounding cement plants in a karst area of Southeastern Brazil.

COUTO, R. DA R., BENEDET, L., COMIN, J. J., FILHO, P. B., MARTINS, S. R., GATIBONI, L. C., RADETSKI, M., DE VALOIS, C. M., AMBROSINI, V. G., BRUNETTO, G. Accumulation of copper and zinc fractions in vineyard soil in the mid- western region of Santa Catarina, Brazil. **Environmental earth sciences**, v. 73, n. 10, p. 6379-6386, 2015.

COUTO, R. R., RIBEIRO LAZZARI, C. J., TRAPP, T., DE CONTI, L., COMIN, J. J., MARTINS, S. R., BRUNETTO, G. Accumulation and distribution of copper and zinc in soils following the application of pig slurry for three to thirty years in a microwatershed of southern Brazil. **Archives of Agronomy and Soil Science**, v. 62, n. 5, p. 593-616, 2016.

DE CONTI, L., CERETTA, C. A., FERREIRA, P. A., LOURENZI, C. R., GIROTTO, E., LORENSINI, F., TIECHER, T. L., MARCHEZAN C., ANCHIETA, M. G., BRUNETTO, G. Soil solution concentrations and chemical species of copper and zinc in a soil with a history of pig slurry application and plant cultivation. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, v. 216, p. 374-386, 2016.

FESTA, R. A., & THIELE, D. J. (2011). Copper: an essential metal in biology. **Current Biology**, 21(21), R877-R883.

FORMENTINI, T. A., MALLMANN, F. J. K., PINHEIRO, A., FERNANDES, C. V. S., BENDER, M. A., DA VEIGA, M., DOS SANTOS, D. R., DOELSCH, E. Copper and zinc accumulation and fractionation in a clayey Hapludox soil subject to long-term pig slurry application. **Science of the Total Environment**, v. 536, p. 831-839, 2015.

FRAGOMENI, L.P. DE M., ROISENBERG, A., MIRLEAN, N., 2010. Poluição por mercúrio em aterros urbanos do período colonial no extremo sul do Brasil. **Quim. Nova** 33, 1631–1635.

GIROTTO, E., CERETTA, C. A., BRUNETTO, G., MIOTTO, A., TIECHER, T. L., DE CONTI, L., LOURENZI, C. R., LORENSINI, F., GUBIANI, P. I., SILVA, L. S. DA., NICOLOSO, F. Copper availability assessment of Cu-contaminated vineyard soils using black oat cultivation and chemical extractants. **Environmental monitoring and assessment**, v. 186, n. 12, p. 9051-9063, 2014.

GUJRE, N., RANGAN, L., MITRA, S. Occurrence, geochemical fraction, ecological and health risk assessment of cadmium, copper and nickel in soils contaminated with municipal solid wastes. **Chemosphere**, v. 271, p. 129573, 2021.

KHOSARAVI, M.; SAADAT, S.; DABIRI, R. Evaluation of heavy metal contamination in soil and water resources around Taknar copper mine (NE Iran). **Iranian Journal of Earth Sciences**, v. 12, n. 3, p. 212-222, 2020.

KLUMPP, A., HINTEMANN, T., LIMA, J. S., KANDELER, E. Bioindication of air pollution effects near a copper smelter in Brazil using mango trees and soil microbiological properties. **Environmental Pollution**, v. 126, n. 3, p. 313-321, 2003.

KORCHAGIN, J., MOTERLE, D. F., ESCOSTEGUY, P. A. V., BORTOLUZZI, E. C. Distribution of copper and zinc fractions in a Regosol profile under centenary vineyard. **Environmental Earth Sciences**, v. 79, n. 19, p. 1-13, 2020.

KORF, E. P., MELO, E. F. R. Q., THOMÉ, A., ESCOSTEGUY, P. A. V. Retenção de metais em solo da antiga área de disposição de resíduos sólidos urbanos de Passo Fundo - RS. **Revista de Ciências Ambientais**, v. 2, n. 2, p. 43-60, 2008.

KUMAR, V., PANDITA, S., SIDHU, G. P. S., SHARMA, A., KHANNA, K., KAUR, P., ... & SETIA, R. (2021). Copper bioavailability, uptake, toxicity and tolerance in plants: A comprehensive review. **Chemosphere**, 262, 127810.

LI, Z., MA, Z., VAN DER KUIJP, T. J., YUAN, Z., & HUANG, L. (2014). A review of soil heavy metal pollution from mines in China: pollution and health risk assessment. **Science of the total environment**, 468, 843-853.

LI, X., ZHANG, J., GONG, Y., LIU, Q., YANG, S., MA, J., ... & HOU, H. (2020). Status of copper accumulation in agricultural soils across China (1985– 2016). **Chemosphere**, 244, 125516.

MACHADO, M. E., MENEZES, J. D. S., COSTA, J. F. C. L., SCHNEIDER, I. A. H. Análise e avaliação da distribuição de metais pesados em um antigo aterro de resíduos sólidos urbanos “Aterro Invernadinha”. **Evidência, Joaçaba**, v. 1, n. 2, p. 69-82, 2011.

MAGALHÃES, S. S. D. A., WEBER, O. L. D. S. Zinc and copper fractions in Oxisols of different textures fertilized with pig slurry. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 25, p. 386-392, 2021.

MATTIAS, J. L., CERETTA, C. A., NESI, C. N., GIROTTO, E., TRENTIN, E. E., LOURENZI, C. R., VIEIRA, R. C. B. Copper, zinc and manganese in soils of two watersheds in Santa Catarina with intensive use of pig slurry. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 34, n. 4, p. 1445-1454, 2010.

MILHOME, M. A. L., HOLANDA, J. W. B., ARAÚJO NETO, J. R. D., NASCIMENTO, R. F. D. Diagnóstico da contaminação do solo por metais tóxicos provenientes de resíduos sólidos urbanos e a influência da matéria orgânica. **Revista virtual de química**, v. 10, n. 1, p. 59-72, 2018

MIOTTO, A., CERETTA, C. A., BRUNETTO, G., NICOLOSO, F. T., GIROTTO, E., FARIAS, J. G., TIECHER, T. L., CONTI, L. DE., TRENTIN, G. Copper uptake, accumulation and physiological changes in adult grapevines in response to excess copper in soil. **Plant and Soil**, v. 374, n. 1, p. 593-610, 2014.

MIRLEAN, N.; ROISENBERG, A.; CHIES, J. O. Metal contamination of vineyard soils in wet subtropics (southern Brazil). **Environmental Pollution**, v. 149, n. 1, p. 10- 17, 2007.

MIRLEAN, N.; BAISCH, P.; MEDEANIC, S. Copper bioavailability and fractionation in copper-contaminated sandy soils in the wet subtropics (Southern Brazil). **Bulletin of environmental contamination and toxicology**, v. 82, n. 3, p. 373-377, 2009.

MÜLLER, G. (1979). Schwermetalle in den sedimenten des RheinsVeränderungense it. **UmschWiss Tech**, 79, 778–783.

NAPOLI, M., CECCHI, S., GRASSI, C., BALDI, A., ZANCHI, C. A., & ORLANDINI, S. (2019). Phytoextraction of copper from a contaminated soil using arable and vegetable crops. **Chemosphere**, 219, 122-129.

NIEMEYER, J. C., LOLATA, G. B., DE CARVALHO, G. M., DA SILVA, E. M., SOUSA, J. P., NOGUEIRA, M. A. Microbial indicators of soil health as tools for ecological risk assessment of a metal contaminated site in Brazil. **Applied Soil Ecology**, v. 59, p. 96-105, 2012.

NIROLA, R., MEGHARAJ, M., ARYAL, R., & NAIDU, R. (2016). Screening of metal uptake by plant colonizers growing on abandoned copper mine in Kapunda, South Australia. **International journal of phytoremediation**, 18(4), 399-405.

NOGUEIRA, T. A. R., FRANCO, A., HE, Z., BRAGA, V. S., FIRME, L. P., ABREU-JUNIOR, C. H. Short-term usage of sewage sludge as organic fertilizer to sugarcane in a tropical soil bears little threat of heavy metal contamination. **Journal of Environmental Management**, v. 114, p. 168-177, 2013.

OLIVEIRA, D. P., NÓBREGA, G.N., RUIZ, F., PERLATTI, F., SOARES A. A., OTERO, X.L., FERREIRA, T.O. Risk assessment and copper geochemistry of an orchard irrigated with mine water: a case study in the semiarid region of Brazil. **Environmental geochemistry and health**, v. 41, n. 2, p. 603-615, 2019.

PATEL, R., & ASCHNER, M. (2021). Commonalities between copper neurotoxicity and Alzheimer's disease. **Toxics**, 9(1), 4.

PENHA, H. G. V., MENEZES, J. F. S., SILVA, C. A., LOPES, G., DE ANDRADE CARVALHO, C., RAMOS, S. J., GUILHERME, L. R. G. Nutrient accumulation and availability and crop yields following long-term application of pig slurry in a Brazilian Cerrado soil. **Nutrient cycling in agroecosystems**, v. 101, n. 2, p. 259-269, 2015.

PENTEADO, J. O., DE LIMA BRUM, R., RAMIRES, P. F., GARCIA, E. M., DOS SANTOS, M., & DA SILVA JÚNIOR, F. M. R. (2021). Health risk assessment in urban parks soils contaminated by metals, Rio Grande city (Brazil) case study. **Ecotoxicology and Environmental Safety**, 208, 111737.

PEREIRA, A. A., BORGES, J. D., LEANDRO, W. M. Metais pesados e micronutrientes no solo e em folhas de *Brachiaria decumbens* às margens de rodovias. **Bioscience Journal**, v. 26, n. 3, 2010.

PERLATTI, F., MARTINS, E. P., DE OLIVEIRA, D. P., RUIZ, F., ASENSIO, V., REZENDE, C. F., OTERO, X.L., FERREIRA, T. O. (2021). Copper release from waste rocks in an abandoned mine (NE, Brazil) and its impacts on ecosystem environmental quality. **Chemosphere**, 262, 127843.

PRESTON, W., SILVA Y. J. A. B. DA., NASCIMENTO, C. W. A. DO., CUNHA, K. P. V DA., SILVA, D. J., FERREIRA., H. A. Soil contamination by heavy metals in vineyard of a semiarid region: An approach using multivariate analysis. **Geoderma Regional**, v. 7, n. 4, p. 357-365, 2016.

PU, W., SUN, J., ZHANG, F., WEN, X., LIU, W., HUANG, C. Effects of copper mining on heavy metal contamination in a rice agrosystem in the Xiaojiang River Basin, southwest China. **Acta Geochimica**, v. 38, n. 5, p. 753-773, 2019.

SHEN, X.L.; YU, J.H.; ZHANG, D.F.; XIE, J.X.; JIANG, H. Positive relationship between mortality from Alzheimer's disease and soil metal concentration in mainland China. **J. Alzheimer's Dis.** 2014, 42, 893–900.

SILVA, J. P. S. D., NASCIMENTO, C. W. A. D., BIONDI, C. M., & CUNHA, K. P. V. D. (2012). Heavy metals in soils and plants in mango orchards in Petrolina, Pernambuco, Brazil. **Revista Brasileira de Ciência do solo**, 36(4), 1343-1354.

SQUITTI, R., VENTRIGLIA, M., SIMONELLI, I., BONVICINI, C., COSTA, A., PERINI, G., ... & RONGIOLETTI, M. (2021). Copper Imbalance in Alzheimer's Disease: Meta-Analysis of Serum, Plasma, and Brain Specimens, and Replication Study Evaluating ATP7B Gene Variants. **Biomolecules**, 11(7), 960.

TIECHER, T. L., CERETTA, C. A., COMIN, J. J., GIROTTO, E., MIOTTO, A., MORAES, M. P. D., BENEDET, L., FERREIRA, P. A. A., LORENZI, C. R., DA ROSA COUTO, 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**, v. 37, n. 3, p. 812-824, 2013.