ISSN:1984-2295

Revista Brasileira de Geografia Física

Homepage: <https://periodicos.ufpe.br/revistas/rbgfe>

Agricultura em Áreas Industriais e Contaminação por Metais Pesados: Estratégias para redução deste Impacto Ambiental

Jeovana dos Santos Sousa¹, Mariana Menezes Santos², Brenda Neves dos Santos³, Neuza Maria Miranda dos Santos⁴,
Laise Cedraz Pinto⁵

¹Graduanda em Nutrição, Escola de Nutrição, Universidade Federal da Bahia, Rua Basílio da Gama - s/n, Campus Canela. Cep: 40.110-907, Salvador, Bahia, Brasil (71) 3283-7707. jeo_jeovana@hotmail.com. ²Graduanda em Nutrição, Escola de Nutrição, Universidade Federal da Bahia, Rua Basílio da Gama - s/n, Campus Canela. Cep: 40.110-907, Salvador, Bahia, Brasil (71) 3283-7707. mariannamenezess@hotmail.com. ³Graduanda em Nutrição, Escola de Nutrição, Universidade Federal da Bahia, Rua Basílio da Gama - s/n, Campus Canela. Cep: 40.110-907, Salvador, Bahia, Brasil (71) 3283-7707. brendatuxa@hotmail.com. ⁴Professora Me. Adjunto I, Departamento de Ciência dos Alimentos, Escola de Nutrição, Universidade Federal da Bahia, Rua Basílio da Gama - s/n, Campus Canela. Cep: 40.110-907, Salvador, Bahia, Brasil (71) 3283-7707. neuzami2004@yahoo.com.br. ⁵Professora Dra. Adjunto II, Departamento de Ciência dos Alimentos, Escola de Nutrição, Universidade Federal da Bahia, Rua Basílio da Gama - s/n, Campus Canela. Cep: 40.110-907, Salvador, Bahia, Brasil (71) 3283-7707. icedraz@hotmail.com (autor correspondente).

Artigo recebido em 19/10/2020 e aceito em 16/04/2021

RESUMO

Concentrações elevadas de metais pesados podem ocorrer em áreas próximas de complexos industriais e em solos ao redor das áreas de mineração, o que pode se estender para alimentos agrícolas, causando efeitos adversos na saúde da população, danos ecológicos, além de implicar em bioacumulação. Devido à facilidade de dispersão dos metais pesados no meio ambiente, especialmente na agricultura que adentra à cadeia alimentar, o objetivo desse estudo foi revisar dados sobre esta contaminação em vegetais cultivados em áreas industriais e identificar possíveis estratégias para minimizar o impacto ambiental. Vários estudos apontam que solos e vegetais cultivados próximos de áreas industriais apresentam elevadas concentrações de metais pesados, sendo ainda maior proporcionalmente à proximidade da área poluente. Dentre os tipos de vegetais, os folhosos foram os que apresentaram maior teor de contaminação de metais do que os vegetais frutados ou de raiz, o que aponta que, além do solo, a contaminação atmosférica influencia no vegetal exposto. Além disto, existe correlação entre espécie vegetal e biodisponibilidade/absorção de determinados metais em detrimento a outros. É notório que o cultivo de produtos agrícolas em áreas industriais e circunvizinhas é uma prática que põe em risco potencial de toxicidade a população que utiliza estes produtos como alimento. Algumas estratégias podem ser adotadas com intuito de minimizar a contaminação, dentre estas, técnicas naturais de manejo de cultivo de vegetais, seleção de tipos de vegetais com menor possibilidade de toxicidade para áreas específicas, técnicas para aumentar fatores de proteção do vegetal e descontaminação do solo, controle e fiscalização efetivos nos efluentes industriais.

Palavras chave: metais pesados, contaminação do solo; áreas industriais, agricultura, agroecologia

Agriculture in Industrial Areas and Heavy Metal Contamination: Strategies to reduce this Environmental Impact

ABSTRACT

Contamination by heavy metals can occur in locations close to industrial complexes and in soils around mining areas, which can extend to agricultural foods, causing adverse effects on the population's health, ecological damage, in addition to resulting in bioaccumulation. Heavy metals are rapidly dispersed in the environment, especially in agriculture that enters the food chain. Thus, the objective of this study was to review this contamination in vegetables grown in industrial areas and to identify possible strategies to minimize the socio-environmental impact. Many studies show that soils and vegetables cultivated close to industrial areas have high concentrations of heavy metals, being even greater in proportion to the proximity of the polluting area. Among the types of vegetables, the leafy ones were those that had a higher content of metal contamination than fruity or root vegetables, which indicates that, in addition to the soil, atmospheric contamination influences the exposed plant. In addition, there is a correlation between plant species and bioavailability of certain specific metals. The cultivation of agricultural products in industrial and surrounding areas is a practice that poses a potential risk of toxicity to the population that consumes these products as food. Some strategies can be adopted in order to minimize contamination, among them, natural techniques for handling vegetable

cultivation, selection of types of vegetables with less possibility of toxicity for specific areas, techniques to increase plant protection factors and soil decontamination, effective control and inspection in industrial effluents

Keywords: heavy metals; soil contamination; industrial areas, agriculture, agroecology.

Introdução

Os metais pesados são componentes naturais encontrados na crosta terrestre e incorporadas aos organismos vivos através dos alimentos, da água e do ar. Embora alguns metais sejam prejudiciais como Chumbo (Pb), Mercúrio (Hg), Cádmio (Cd) (Fe), outros são essenciais para o desenvolvimento das funções vitais dos organismos, a exemplo do Ferro (Fe), Zinco (Zn), Cobre (Cu), Manganês (Mn), no entanto, quando em excesso são prejudiciais ou mesmo letais, sendo muito tênue a margem entre a essencialidade e a toxicidade (Chu, 2018).

No solo, os metais pesados, na maioria das vezes, estão presentes em concentrações ou formas que não oferecem risco para o ambiente. No entanto, com os grandes avanços tecnológicos que vem ocorrendo nos últimos anos, a quantidade de metais pesados vem aumentando gradativamente (Cogo et al., 2020).

O uso de fertilizantes, agrotóxicos, lixo urbano, e emissões veiculares são considerados as principais fontes antropogênicas de metais pesados nos solos (Adimalla et al., 2019). Adicionalmente, concentrações elevadas destes elementos também podem ocorrer em áreas próximas de complexos industriais (Sun et al., 2019), assim como nas áreas rurais de agricultura altamente tecnificada e em solos ao redor das áreas de mineração (Alamgir et al., 2015). Nesses casos, a contaminação ocorre de forma pontual, havendo uma área de descarga onde a concentração do contaminante é maior, com redução gradativa na concentração à medida que a área se afasta do ponto de descarga (Song et al., 2015).

As indústrias são responsáveis por gerar centenas de toneladas de resíduos químicos por ano. O descarte destes materiais, na maioria das vezes, ocorre no ambiente, resultando em contaminações não apenas no solo, mas também em diversos recursos naturais, como reservatórios de abastecimento humano de água e mananciais (Zakiret al., 2017), além de comprometer o desenvolvimento de plantas em virtude da sua toxicidade (Torres et al., 2017).

O município de Santo Amaro do Estado da Bahia (Brasil) é considerado um dos municípios mais contaminados por chumbo do mundo e isso ocorreu devido ao processo produtivo e beneficiamento de uma metalúrgica francesa, em atividade no local na década de 1940

(Machado et al., 2020). A contaminação ambiental se estendeu para os alimentos, agrícolas e de pesca, causando efeitos adversos na saúde da população local (Magna et al., 2013; Santos et al., 2013).

Os efeitos da toxicidade de um composto, incluindo os metais pesados, está diretamente relacionada à dose, ao tempo de exposição, à forma física e química dos elementos, da via de administração e da absorção (Santos et al., 2017).

A via alimentar é considerada como uma das vias essenciais de intoxicação por metais pesados (Vardhan et al., 2019). As implicações destes elementos na saúde humana envolvem ação neurológica, carcinogênica, teratogênica, danos oxidativos, danos ósseos e outros (El-kady; Abdel-Wahhab, 2018). Os metais pesados limitam atividades proteicas e enzimáticas ao induzir o estresse oxidativo, bem como agem nas vias de sinalização, alterando a expressão de DNA e a homeostase dos sistemas (Kimet al., 2019).

Dos metais pesados, os mais relevantes devido à toxicidade, mesmo em baixa concentração, aos danos à agricultura e à saúde humana são: o Arsênio (As), o Cádmio (Cd), o Mercúrio (Hg), o Chumbo (Pb) e o Cromo (Cr) (Kimet al., 2019).

A contaminação por metais pesados é inodora, ao exceder a tolerância ambiental, podem causar graves danos ecológicos, além de implicar em bioacumulação, por isso, esses elementos são considerados um dos grupos mais poluentes, e se concentram ao longo dos níveis tróficos da cadeia alimentar (Vardhan et al., 2019).

Os vegetais cultivados em áreas próximas a fontes contaminantes de metais pesados podem apresentar concentrações elevadas destes elementos e estas podem ser influenciáveis por tipos distintos de espécies de vegetais. Devido à sua mobilidade e efeitos deletérios e facilidade de dispersão no meio ambiente, especialmente na agricultura que adentra à cadeia alimentar, o objetivo desse estudo foi revisar dados sobre contaminação dos metais pesados em vegetais cultivados em áreas industriais e, com base nos achados, identificar possíveis estratégias para minimizar o impacto desta contaminação.

Material e métodos

Para o desenvolvimento desta revisão da literatura, a busca de dados foi mediada pelos

Descritores em Ciências da Saúde (DeCS) “contaminação do solo e indústrias”; “áreas industriais e vegetais”; “soil contamination and vegetables” e “industrial áreas and vegetables” e “heavy metals and soils”, em bases eletrônicas *Scientific Electronic Library Online* (SciELO), *Literatura Latino Americana e do Caribe em Ciências de Saúde* (Lilacs), *Google Scholar*, *Science Direct* e *Pubmed*. Foram selecionados apenas artigos originais, nacionais e internacionais, publicados no período de 2010 a 2020. Os critérios de exclusão adotados foram artigos de revisão, metanálises ou que não se relacionavam diretamente ao objetivo proposto do estudo. Um total de 13 artigos foram identificados. Com base nos dados encontrados, algumas questões foram consideradas como estratégias para minimizar o impacto socioambiental da contaminação dos metais pesados, sendo utilizadas outras referências complementares

Resultados e discussão

Dados sobre contaminação de produtos agrícolas por metais pesados (2010-2020)

Os resultados dos estudos, encontrados nas bases eletrônicas, sobre contaminação de vegetais em áreas industriais estão apresentados na Tabela 1. De acordo com Klein e Hoehne (2014), foi possível identificar teores elevados de Pb em feijões que foram cultivados no solo coletado na antiga fábrica de acumuladores elétricos no município de Lajeado, Rio Grande do Sul (Brasil), evidenciando assim uma contaminação local decorrente da atividade industrial que ocorria naquela área. Além disso, identificou-se também que a forma como o chumbo se encontrava no solo era totalmente biodisponível para as plantas. Este resultado corrobora com Magna et al. (2013) (Tabela 1), que avaliaram o conteúdo dos metais Pb e Cd em alimentos vegetais, frutas e gramíneas cultivadas em solos situados no entorno de uma metalúrgica, na cidade de Santo Amaro, Bahia (Brasil).

Magna et al. (2013) identificaram que todas as amostras avaliadas continham elevadas concentrações de Pb, superando o valor limite estabelecido pela Organização Mundial de Saúde (OMS) de 0,1-0,3 mgKg⁻¹ em alimentos vegetais. As frutas analisadas como acerola e laranja apresentaram valores para o Cd de 118,2 e 117,3 mgKg⁻¹ respectivamente, superando amplamente o valor recomendado pela OMS de 0,05- 0,2 mgKg⁻¹. Os autores ainda relataram que, situados no entorno da metalúrgica, existe uma quantidade expressiva de quintais/hortas de cultivo de hortaliças e frutas para subsistência, seja pelo

consumo familiar ou como fonte de renda. Desta forma, o consumo destes vegetais é apontado como uma via potencial de intoxicação.

Li et al. (2018) avaliaram os níveis de contaminação em 10 tipos comuns de vegetais comerciais por metais pesados em 8 locais de amostragem coletados nas proximidades da Fundação de Zhuzhou (China) (Tabela 1). Segundo os dados, a parte comestível dos vegetais folhosos é contaminada mais seriamente em comparação aos vegetais não folhosos, principalmente por Hg e Pb, pois são expostos à atmosfera e, portanto, podem assimilar estes metais atmosféricos mais facilmente através da folhagem. Este resultado corrobora com Bi et al. (2018) que analisaram os níveis dos metais pesados em vegetais folhosos cultivados em sete sítios agrícolas, próximos a uma usina municipal de incineração de resíduos sólidos e rodovias de áreas industriais, em Shanghai (China) (Tabela 1). As concentrações de metais pesados nos tecidos vegetais comestíveis variaram entre as espécies vegetais, o que pode ser explicado devido às suas diferentes capacidades de acumulação e propriedades do solo. As maiores concentrações de Pb e Cu foram encontradas no espinafre-d'água. Já as maiores concentrações de As foram encontradas também no espinafre d'água e no repolho chinês (bok choy). Os autores ainda concluíram que os vegetais folhosos como alface e espinafre podem acumular mais Pb e Cd nos tecidos comestíveis do que os vegetais não folhosos.

Song et al. (2015) também avaliaram os níveis de contaminação por metais pesados em 246 amostras de vegetais (folhosos e de fruto), arroz e solo coletados nos distritos industriais de mineração no condado de Suxian, Hunan (China) (Tabela 1). Neste estudo, foram identificadas concentrações maiores de As, Pb, Cu e Cd nas partes comestíveis de folhosos do que dos outros tipos de vegetais. As concentrações determinadas dos metais nas amostras excederam os limites máximos permitidos pelo Critério de Saneamento para Alimentos da China, mais ainda nas amostras coletadas próximas à mineração. O estudo também discute que o cenário de grande população da China implica em compartilhamento limitado das terras, sendo comum o cultivo de vegetais, como também de arroz, em áreas de

Tabela 1. Dados sobre contaminação de vegetais por metais pesados em áreas industriais (estudos publicados em 2010-2020).

Autores	Objetivo	Local do estudo	Amostras	Principais resultados
Klein e Hoehne (2014)	Identificar o teor de Pb em feijões cultivados em solos de antiga fábrica de acumuladores elétricos.	Antiga fábrica de acumuladores elétricos em Lajeado, Rio Grande do Sul (Brasil).	Solo e Feijões plantados na área	Constataram-se elevados teores de Pb no solo e potencial de absorção pelas plantas do Pb do solo.
Magna et al. (2013)	Avaliar o atual conteúdo dos metais Pb e Cd detectados em alimentos vegetais e gramíneas cultivadas em solos.	Três subaéreas, incluindo a área geográfica situada no entorno da metalúrgica no município de Santo Amaro, Bahia (Brasil).	Vegetais e ervas: Acerola, aroeira, alumã, banana, boldo do Chile, capim santo, cana, cidreira, goiaba, limão, laranja, manga e mandioca.	Todas as amostras analisadas continham elevadas concentrações para Pb. Acerola e laranja apresentaram as maiores concentrações de Cd.
Li et al. (2018)	Avaliar os níveis de contaminação por metais pesados em vegetais cultivados em campos agrícolas.	Proximidades da fundição de Zhuzhou (China)	Repolho branco chinês, rabanete branco, couve-flor, repolho chinês, alho-poró, repolho, aipo, broto de alho, alface e cenoura.	Pb e Cd foram os principais contaminantes identificados. Concentrações elevadas de metais pesados nas raízes do repolho chinês, repolho branco chinês, aipo e alface. As folhas de rabanete branco, cenoura e repolho; e caule de couve-flor apresentaram as maiores concentrações de metais pesados.
Bi et al. (2018)	Analisar os níveis dos metais pesados em vegetais folhosos nas áreas industriais.	Pontos agrícolas próximas a áreas industriais de Xangai (China)	Vegetais folhosos: repolho chinês (Bokchoy), repolho verde de Shangai, espinafre aquático e alface.	As maiores concentrações de Pb e Cu foram encontradas no espinafre aquático. O bok choy e o espinafre aquático apresentaram as maiores concentrações de As.
Song et al. (2015)	Analisar as concentrações de As, Pd, Cu e Cd em vegetais.	Distritos industriais de mineração no condado de Suxian, Hunan (China)	Solo e vegetais: arroz, repolho chinês (pak choi), <i>Brassica campestris</i> , vagem, aspargos e pimentão	Concentrações de metais no solo diminuíram abruptamente com o aumento da distância da fonte poluidora. As concentrações dos metais variaram conforme o tipo de vegetal e seguiram a tendência em ordem decrescente: pak choi > <i>B. campestris</i> > aspargos > pimentão > vagem.
Nedelescu et al. (2017)	Determinar as concentrações de quatro elementos tóxicos (Pb, Cd, Cu e Zn) no solo e nos vegetais.	Duas regiões da Transilvânia (Romênia)	Cenoura, batata e cebola amarela.	Um região com Pb e Cd em maior concentração nas cenouras e cebolas amarelas. Outra região com maiores concentrações de Pb e Cd em cebolas amarelas cenouras
Ferri et al. (2015)	Avaliar os níveis de metais típicos de emissão industrial de ferroligas (Mn, Al, Cd, Cr, Cu, Fe, Pb e Zn) em vegetais.	Hortas de três áreas próximas de instalações industriais na província de Brescia (Itália).	Solo e vegetais: espinafre e nabo	As concentrações médias de metais foram significativamente maiores no solo das hortas de áreas industriais. Foram identificadas maiores concentrações de metal em espinafre não lavado <i>versus</i> lavado e ainda menores concentrações no nabo (vegetal de raiz). Metais no vegetal de raiz (nabo) não diferiram entre as áreas.

Islam e Hoque (2014)	Avaliar os níveis de metais pesados na porção comestível de vegetais e avaliar o risco à saúde devido ao consumo de vegetais.	Campos agrícolas próximos à área industrial da cidade de Dhaka (Bangladesh)	Tomate, cabaça, berinjela, abóbora, amaranto verde, amaranto vermelho, pimentões e banana.	Todos os vegetais analisados apresentaram concentrações elevadas de Cr, Ni, Cu, Zn, As, Cd e Pb.
Ahmad e Goni (2010)	Destacar a contaminação de metais pesados em vegetais	Solos agrícolas localizados na Zona de Processamento de Exportação (Bangladesh).	Solo e vegetais: berinjela, pimenta, pimenta dedo de moça, tomate e repolho verde.	Os vegetais apresentaram variadas concentrações de metais. Dentre os vegetais, o tomate apresentou concentrações elevadas de Cu, Cr e Fe; Repolho de Pb, Ni e Zn; Beringela maior em Cd. Pimenta em Fe e Dedo de moça em Fe e Zn.
Inácio et al. (2013)	Determinar a concentração de As, Hg, Cu, e Zn nos solos e vegetais colhidos em hortas particulares	Hortas particulares localizadas no distrito do Complexo Químico de Estarreja (CQE) (Portugal)	Solo e couve, tomate e milho	Verificou-se que 46%, 15% e 11,5% dos solos apresentam concentrações superiores aos valores permitidos na legislação canadense, respectivamente para o As, Cu e Hg, Folhas de couve apresentou maior concentração de As, Hg e Zn. O Tomate apresentou maior teor de Cu.
Antoniadis et al. (2019)	Avaliar os elementos traços disponíveis nas folhas e grãos de milho.	Campos agrícolas adjacente à área industrial de Volos (Grécia)	Grãos e folhas de milho	5% e 40% dos grãos excederam os limites da regulamentação alimentar europeia, respectivamente para Cd e Pb.
Edogbo et al. (2020)	Analisar os riscos de quatro metais pesados (Cd, Cr, Pb e Zn) em vegetais .	Entorno da área industrial do Rio Challawa no estado de Kano (Nigéria)	Espinafre, alface, tomate, batata irlandesa e cebola	Todos os metais pesados analisados no solo foram encontrados nos vegetais comestíveis. A batata irlandesa apresentou maior acúmulo de Cd do que os outros vegetais comestíveis.
Corbi et al. (2013)	Analisar a presença dos metais Cu, Fe, Cd, Zn, Mn, Cr e Ni (comumente utilizados em fertilizantes) em cultivos de bananas	Córregos nos municípios de Cananéia, Jacupiranga e Cajati em São Paulo (Brasil)	Bananas cultivadas no entorno dos córregos	Na água dos córregos foram encontradas concentrações dos elementos Mn, Mg, Pb e Ni. Elevadas concentrações especialmente de Cu e Zn nas bananas cultivadas.

mineração, resultando em concentrações de metais pesados em alimentos e vegetais superiores do que em safras cultivadas em terras não poluídas. O consumo a longo prazo dessas safras pode trazer grandes riscos à saúde humana e, mais gravemente ainda, às crianças.

Nedelescu et al. (2017) (Tabela 1) analisaram vegetais (cenoura, batata e cebola) de duas regiões industriais, na região da Transilvânia (Romênia), para avaliar a situação atual de poluição do solo e bioacumulação de Pb, Cd, Cu e Zn. A quantidade de Pb e Cd excedeu os limites máximos permitidos em cenouras e cebolas amarelas. Os níveis de Cu e Zn estiveram dentro da faixa normal em todas as amostras de vegetais. Além disso, as taxas diárias de ingestão de metais através do consumo local de vegetais excederam os valores limites estabelecidos pela Autoridade Europeia para a Segurança dos Alimentos para Pb (1,2 a 2,4 vezes) e Cd (5,5 a 9,1 vezes), em ambas as regiões, com potenciais efeitos adversos para a saúde da população local. A ingestão de metais pelo consumo de vegetais contaminados pode levar ao acúmulo dessas substâncias no corpo de forma sistêmica, sobrepondo-se aos minerais essenciais.

Ferri et al. (2015) (Tabela 1) avaliaram os níveis de metais típicos de emissão industrial de ferroligas, em espinafres e nabos plantados em 36 hortas de três áreas na província de Brescia (Itália). Uma área se caracterizava por atividade industrial de um século até 2001, a outra por atividade industrial desde 1970, e a terceira região sem histórico de indústria de ferroligas ou outros metais. As concentrações mais altas de metais foram encontradas em espinafres (vegetal folhoso) em todas as áreas de estudo, enquanto as menores concentrações em nabos (vegetal de raiz), o que aponta nível de contaminação atmosférica que influencia no vegetal exposto. Nas hortas domésticas, as concentrações de Fe e Cu em espinafre foram significativamente maiores na área de atividade industrial secular. As concentrações de metais no nabo (vegetal de raiz) não diferiram entre as áreas. As concentrações de Cu em nabos cultivados na região sem atividade industrial foram significativamente maiores do que nas outras. Isso sugere que apesar da região não contar com atividade industrial, a contaminação pelo Cu pode ter sido dispersada e há fontes de contaminação indireta, especialmente pelo solo. Neste estudo, os autores compararam as concentrações de metais em espinafre lavado com o não lavado. A lavagem foi eficiente para redução dos metais, sendo que para o Pb, a concentração foi reduzida em mais de quatro vezes.

Islam e Hoque (2014) (Tabela 1) identificaram contaminação dos vegetais por metais pesados cultivados em campos agrícolas, perto de áreas industriais, na cidade de Daca (Bangladesh). Também na cidade de Daca, Ahmad e Goni (2010) identificaram contaminação na porção comestível de vegetais cultivados em solos localizados na Zona de Processamento de Exportação. Dentre os vegetais analisados, o tomate apresentou contaminação principalmente de Cu, Cr e Fe; o repolho apresentou contaminação principalmente de Pb, Ni e Zn; a berinjela por Cd; as pimentas por Fe e Zn. Esses resultados indicam que populações que vivem na área do estudo provavelmente foram expostas a alguns riscos potenciais à saúde por meio da ingestão de metais por consumo de vegetais cultivados localmente.

Inacio et al. (2013) (Tabela 1) analisaram as concentrações dos níveis de As, Hg, Cu, e Zn nos solos do Complexo Químico de Estarreja (Portugal), em atividade, desde a II Guerra Mundial e em vegetais cultivados em hortas particulares na região. Nesse estudo verificou-se que cerca de 46%, 15% e 11,5% dos solos apresentaram, respectivamente para o As, Cu e Hg, concentrações superiores aos valores permitidos na legislação canadense para solos agrícolas. O couve apresentou maior concentração de As, Hg e Zn enquanto que o tomate, maior concentração de Cu. Os autores relataram que os dados foram preocupantes, pois as comunidades locais cultivavam, ao longo dos anos, os produtos agrícolas analisados em hortas e quintais domésticos.

O milho, base da alimentação local de áreas agrícolas adjacente à região industrial de Volos (Grécia), também foi objeto do estudo de Antoniadis et al. (2019) (Tabela 1). Um total de 20 amostras de grãos e folhas foram analisados. Os limites da regulamentação alimentar europeia foram ultrapassados em 5% dos grãos para o Cd e em 40% em relação ao Pb.

Além do solo e ar, a contaminação por metais pesados também pode ser mediada por meio da água de irrigação contaminada. Edogbo et al. (2020) (Tabela 1) identificaram presença de metais pesados (Cd, Cr, Pb, Zn) nos diferentes tipos de vegetais comestíveis de fazendas irrigadas com água residual da área de Challawa, Kano (Nigéria). A maior concentração de Cd ocorreu na batata irlandesa. De acordo com o autores, a contaminação por Cd pode ser devida aos efluentes de indústrias têxteis, próximas à área, sem tratamento e descarregados nos rios cujos são principais fontes de irrigação de terras

agrícolas durante a estação seca, além de outras atividades domésticas dos moradores.

Em São Paulo (Brasil), Corbi et al. (2013) (Tabela 1), analisaram a presença de metais Cu, Fe, Cd, Zn, Mn, Cr e Ni (comumente utilizados em fertilizantes) em cultivos de bananas situados no entorno de 10 córregos em três municípios. Os autores identificaram presença de vários metais, sendo as maiores concentrações para Cu e Zn. A contaminação por Cu pode ter origem nos esgotos domésticos e industriais ou se originar a partir de lixiviação de produtos agrícolas através das chuvas.

Valores maiores de metais como Fe, Zn, Cu, Mg foram observados, principalmente, em regiões desmatadas de clima seco (Silva et al., 2021), o que pode implicar em um maior lixiviamento de metais do solo.

Com base no exposto, é notório que o cultivo de produtos agrícolas, em áreas industriais e circunvizinhas, é uma prática que põe em potencial risco de toxicidade a população que utiliza estes produtos como alimento. A proibição do cultivo destes produtos seja por meio de campos agrícolas e hortas comerciais e/ou domésticas é inviável devido às implicações sociais e econômicas e que poderiam aumentar a vulnerabilidade nutricional dos residentes.

A geração de compostos químicos contaminantes é algo inerente às atividades industriais e ações de transformação ou reutilização destes compostos deveriam ser primordiais e concomitantes à instalação de toda indústria, o que reflete questões econômicas e políticas em longo prazo. O controle e fiscalização efetivos das indústrias e fonte de contaminação, como o controle na difusão dos efluentes industriais e desenvolvimento de processos de transformação e/ou remoção dos contaminantes nas áreas de descarga, são essenciais para controlar, em parte, a contaminação nas áreas dos entornos industriais.

Como são ações de base e de difícil solução imediata, algumas estratégias podem ser adotadas com intuito de minimizar a contaminação e ingestão de níveis altos destes elementos, e aumentar os fatores de proteção dos vegetais cultivados.

Estratégias para minimização do impacto da contaminação da agricultura por metais pesados

Condições do solo e fatores de proteção dos vegetais

As condições do solo são fundamentais para uma maior disponibilidade destes metais. O Cu, por exemplo, é um nutriente absorvido pelas plantas como íon Cu^{2+} e é considerado um dos sete micronutrientes fundamentais tanto para o desenvolvimento quanto para o crescimento da vegetação, no entanto, em solos ácidos, pode ocorrer toxicidade devido à sua maior disponibilidade. O Zn, tal como o Cu, é fundamental para o desenvolvimento da vegetação, é um nutriente absorvido ativamente pelas raízes como Zn^{2+} , com o processo de absorção sendo altamente dependente do pH do solo (Inácio et al., 2013). Em solos mal drenados, o excesso de chuva ou inundações pode afetar mecanismos de mobilidade de elementos potencialmente tóxicos, como o Fe (Ponting et al., 2021), o que pode influenciar no aumento de absorção pelas plantas cultivadas.

Além destas condições físico-químicas em que as plantas respondem biologicamente, cada espécie exibe uma susceptibilidade e especificidade na absorção dos contaminantes provenientes do solo (Magna et al., 2013) e isso é evidenciado nos estudos de identificação de metais, cujos apontam maiores concentrações de um tipo de metal em determinadas espécies e assim sucessivamente. Adicionalmente, vegetais desenvolvidos em um ambiente contaminado por metais pesados podem responder diferentemente à contaminação, podendo ser sensíveis, desenvolvendo sintomas de toxicidade ou tolerância, com mecanismos que evitem os efeitos maléficos desses elementos (Diaconu et al., 2020).

A tolerância a metais pesados pode ser detectada quando uma planta é capaz de sobreviver em um ambiente com elevadas concentrações desses elementos, onde outras plantas não conseguiriam devido aos seus efeitos tóxicos. Além disto, exposições prévias da planta a locais contaminados aumentam a tolerância a determinados elementos em comparação com a mesma espécie que nunca foi exposta (Boquete et al., 2021). Contudo, essa capacidade pode ser adquirida ao longo do tempo, com o desenvolvimento de mecanismos de adaptação às condições estressantes do meio.

O desenvolvimento de pesquisas que visem identificar formas naturais de aumento de proteção e tolerância das plantas à toxicidade e absorção dos metais pesados também é relevante, bem como o fomento da utilização de técnicas naturais que comprovadamente atuem nesta função.

Técnicas de cultivo agroecológicas

A utilização de materiais que apresentem um menor grau de toxicidade tanto ao homem quanto ao meio ambiente é uma das técnicas apropriadas para minimizar os impactos associados a metais pesados. Como os fertilizantes são meios químicos de dispersão de metais pesados, a substituição destes produtos por outros advindos de técnicas de compostagem natural e adubação orgânica devem ser sempre encorajados. A utilização de biofertilizantes, baseado em insumos agrícolas naturais, pode melhorar parâmetros morfológicos da planta e remediar a descontaminação de solos por metais pesados (Iftikhar et al., 2019).

A vermicompostagem, técnica que utiliza elevadas densidades de minhocas das espécies *Eisenia* para tratamento de resíduos orgânicos, geralmente possui ação corretiva da acidez do solo e sendo bem controlada, pode favorecer a adsorção de metais (Joško et al., 2020).

Alguns fungos podem conferir maior grau de tolerância da planta aos metais como exemplo, por meio da associação também conhecida como rizofiltração ou rizodegradação. Estas estratégias dependem de vários fatores como pH do solo, profundidade, tipo de contaminação dentre outros, e têm sido consideradas como técnicas viáveis (Vyas et al., 2021).

Vishwakarma et al. (2016) discutem que micro-organismos remediaram contaminantes do solo em produtos não tóxicos catalisados por várias enzimas microbianas. No estudo de Iftikharet al. (2019) foram utilizados consórcios microbianos associados com produtos naturais, compreendendo micro-organismos inerentes do solo e extratos orgânicos botânicos, líquidos de peixes com adição de melão e compostagem fúngica, para avaliar crescimento de girassol e diminuição da toxicidade do solo por metais pesados. Os autores identificaram que a planta expressou diferentes estratégias na adsorção dos metais pesados e potencializou características morfológicas em relação às plantas controles. Já as cepas fúngicas, na região rizosférica do girassol, indicaram quelação, adsorção e imobilização dos metais nas células dos fungos, confirmando assim o potencial do biofertilizante para a descontaminação de metais pesados.

Outras técnicas de fitoremediação, fitoextração, fitodegradação, fitoestabilização por meio da utilização de espécies que são plantadas como objetivo de reduzir os metais do solo, revitalizar áreas contaminadas, também poderão ser aplicadas. Espécies como *Artemisia vulgaris*, *Galium mollugo* e *Stellaria holostea* demonstraram função hiperacumuladora em solos

contaminados (Vasileious et al., 2021). Assim, estratégias de utilização de alternativas naturais para remediar contaminação do solo vêm sendo cada vez mais avaliadas. Estas técnicas poderiam ser trabalhadas pelos setores públicos governamentais e universidades juntamente com as populações de áreas industriais que cultivem hortas para consumo próprio ou comercial.

Protocolos de cultivo de vegetais

A correlação entre espécie e biodisponibilidade de vegetais revela a necessidade no desenvolvimento de protocolos que podem orientar populações, que vivem em áreas expostas a estes contaminantes, a evitar o cultivo de determinadas espécies vegetais que apresentam maior influência na absorção a elementos químicos específicos.

Existe uma tendência de que vegetais folhosos apresentem uma maior contaminação por metais pesados devido à influência da deposição destes metais pelo ar atmosférico, como descrita na Tabela 1 (Li et al., 2018; Song et al., 2015; Inácio et al., 2013). Desta forma, o cultivo de vegetais folhosos em áreas industriais deve ser desencorajado. Além disto, a limpeza de cada vegetal em água corrente, como a primeira etapa das técnicas adequadas de higienização, deve ser realizada, por diminuir, em parte, a quantidade de metais pesados na superfície do vegetal (Ferri et al., 2015).

Conclusão

As concentrações de elementos potencialmente tóxicos determinados no solo e vegetais, cultivados próximos às áreas industriais ou fontes de contaminação de metais pesados, indicam um risco potencial para a saúde da população exposta. Alguns fatores podem aumentar este risco como a espécie do vegetal, que além da capacidade absorviva pode receber influência também da deposição atmosférica destes elementos. Vegetais folhosos cultivados em áreas industriais apresentam uma tendência maior de contaminação do que vegetais frutados. Considerando os dados desta revisão, as estratégias que podem ser adotadas com o intuito de minimizar os danos causando pelas altas concentrações de metais pesados em vegetais e produtos agrícolas devem ser pautadas em: técnicas naturais de manejo de cultivo de vegetais; seleção de tipos de vegetais com menor possibilidade de toxicidade para áreas específicas, técnicas para aumentar fatores de proteção do vegetal e descontaminação do solo, controle e fiscalização efetivos nos efluentes industriais.

Referências

- Adimalla, N., Qian, H., Hang, H., 2019. Assessment of heavy metal (HM) contamination in agricultural soil lands in northern Telangana, India: an approach of spatial distribution and multivariate statistical analysis. *Environmental monitoring and assessment* 191, 1-15.
- Alamgir, M., Islam, M., Hossain, N., Kibria, M., Rahman, M., 2015. Assessment of Heavy Metal Contamination in Urban Soils of Chittagong City, Bangladesh. *International Journal of Plant & Soil Science* 7, 362–372.
- Ahmad, J. U., Goni, M. A., 2010. Heavy Metal Contamination in Water, Soil, and Vegetables of the Industrial Areas in Dhaka, Bangladesh. *Environmental Monitoring and Assessment* 166, 347-357.
- Antoniadis, V., Golia, E. E., Liu, Y. T., Wang, S. L., Shaheen, S. M., Rinklebe, J., 2019. Soil and maize contamination by trace elements and associated health risk assessment in the industrial area of Volos, Greece. *Environment International* 124, 79-88.
- Bi, C., Zhou, Y., Chen, Z., Jia, J., Bao, X., 2018. Heavy metals and lead isotopes in soils, road dust and leafy vegetables and health risks via vegetable consumption in the industrial areas of Shanghai, China. *The Science of the Total Environment* 619, 1349-1357.
- Boquete, M. T., Lang, I., Weidinger, M., Richards, C. L., Alonso, C., 2021. Patterns and mechanisms of heavy metal accumulation and tolerance in two terrestrial moss species with contrasting habitat specialization. *Environmental and Experimental* 182, 104336.
- Chu D., 2018. Effects of heavy metals on soil microbial community. *IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science* 113, 012009.
- Cogo, M. M. R., Lopes, A. M., Vielmo, P. G., 2020. Capacidade de absorção, distribuição e efeitos morfológicos causados por cádmio em plantas. *Revista Multidisciplinar de Educação e Meio Ambiente* 1, 56.
- Corbi, J. J., Kleine, P., Trivinho-Strixino S., Dos Santos, A., 2013. Diagnóstico ambiental de metais no sedimento de córregos adjacentes a áreas de cultivo de banana (*Musa* spp.) no Estado de São Paulo, Brasil. *Eclética Química Journal* 38, 136-146.
- Diaconu, M., Pavel, L. V., Hlihor, R. M., Rosca, M., Fertu, D. I., Lenz, M., Corvini, P. X., Gavrilescu, M., 2020. Characterization of heavy metal toxicity in some plants and microorganisms—A preliminary approach for environmental bioremediation. *New biotechnology* 56, 130-139.
- Edogbo, B., Okolocha, E., Maikai, B., Aluwong, T., Uchendu, C., 2020. Risk Analysis of Heavy Metal Contamination In Soil, Vegetables And Fish Around Challawa Area in Kano State, Nigeria. *Scientific African* 7, e00281.
- El-Kady, A. A., Abdel-Wahhab, M.A., 2018. Occurrence of trace metals in food stuffs and their health impact. *Trends in Food Science & Technology* 75, 36-45.
- Ferri, R., Hashim, D., Smith, D. R., Guazzetti, S., Donna, F., Ferretti, E., 2015. Metal contamination of home garden soils and cultivated vegetables in the province of Brescia, Italy: implications for human exposure. *Science of the Total Environment* 518, 507-517.
- Iftikhar, S., Saleem M., Ahmad, K. S., Jaffri, S. B., 2019. Synergistic mycoflora–natural farming mediated biofertilization and heavy metals decontamination of lithospheric compartment in a sustainable mode via *Helianthus annuus*. *International Journal of Environmental Science and Technology* 16, 6735-6752.
- Inácio, M., Neves, O., Pereira, V., Silva, E., 2013. Concentração de As, Cu, Hg e Zn em solos e produtos agrícolas (*Brassicaoleracea* L., *Lycopersiconesculentum* Mill e *Zeamays* L.) numa área industrial no NW de Portugal. *Revista de Ciências Agrárias* 36, 229-237.
- Islam, M. D. S., Hoque, M. F., 2014. Concentrations of heavy metals in vegetables around the industrial area of Dhaka city, Bangladesh and health risk assessment. *International Food Research Journal* 21, 2121.
- Joško, I., Kusiak, M., Oleszczuk, P., 2021. The chronic effects of CuO and ZnO nanoparticles on *Eisenia fetida* in relation to the bioavailability in aged soils. *Chemosphere* 266, 128982.
- Kim, J. J., Kim, Y.S., Kumar, V., 2019. Heavy metal toxicity: na update of chelating therapeutic strategies. *Journal of Trace elements in Medicine and Biology* 54, 226-231.
- Klein, F.C., Hoehne, L., 2014. Determinação de chumbo em solo de uma antiga fábrica de acumuladores elétricos e proposta de remediação. *Revista Destaques Acadêmicos* 6.
- Li, X., Li, Z., Lin, C. J., Bi, X., Liu, J., Feng, X., 2018. Health risks of heavy metal exposure through vegetable consumption near a large-scale Pb/Zn smelter in cent China. *Ecotoxicology and environmental safety* 161, 99-100.

- Machado, L. O. R., Rego, R. F., Silva, G. A., Muller, J. S., Falcão, I. R., 2020. Avaliação da implantação do Protocolo de Vigilância e Atenção à Saúde de ex-trabalhadores e da população expostos a chumbo, cádmio, cobre e zinco em Santo Amaro, Bahia, Brasil. *Revista Brasileira de Saúde Ocupacional* 45.
- Magna, G. A. M., Machado, S. L., Portella, R. B., Carvalho, M. F., 2013. Chumbo e cádmio detectados em alimentos vegetais e gramíneas no município de Santo Amaro-Bahia. *Química Nova* 36, 989-997.
- Nedelescu, M., Baconi, D., Neagoe, A., Iordache, V., Stan, M., Constantinescu, P., Ciobanu, A. M., Vardavas, A. I., Vinceti, M., Tsatsakis, A. M., 2017. Environmental metal contamination and health impact assessment in two industrial regions of Romania. *Science of the Total Environment* 580, 984-995.
- Ponting, J., Kelly, T. J., Verhoef, A., Watts, M. J., Sizmur, T., 2021. The impact of increased flooding occurrence on the mobility of potentially toxic elements in flood plain soil – A review. *Science of the Total Environment*, 754, 142040.
- Santos, L. F. P., Trigueiro, I. N. S., Lemos, V. A., Furtunato, D. M. N., Cardoso, R. C. V., 2013. Assessment of cadmium and lead in commercially important seafood from São Francisco do Conde, Bahia, Brazil. *Food Control* 33, 193-199.
- Santos, L. M. G., Neto, S. A. V., Iozzi, G., Jacob, S. C., 2017. Arsenic, cadmium and lead concentrations in Yerba mate commercialized in Southern Brazil by inductively coupled plasma mass spectrometry. *Ciência Rural* 47.
- Silva, T. G. F., Queiroz, M. G., Zolnier, S., de Souza, L. S. B., Souza, C. A. A., Moura, M. S. B., Alves, H. K. M. et al., 2021. Soil properties and microclimate of two predominant land scapes in the Brazilian semiarid region: Comparison between a seasonally dry tropical Forest and a deforested area. *Soil and Tillage Research* 207, 104852.
- Song, D., Zhuang, D., Jiang, D., Fu, J., Wang, Q., 2015. Integrated health risk assessment of heavy metals in Suxian County, South China. *International journal of environmental research and public health* 12, 7100-7117.
- Sun, L., Guo, D., Liu, K., Meng, H., Zheng, Y., Yuan, Ganghui, Z., 2019. Levels, sources, and spatial distribution of heavy metals in soils from a typical coal industrial city of Tangshan, China. *Catena* 175, 101-109.
- Torres, I. A., Silva, T. M. F., Rodrigues, L. S., Silva, I. J., Costa, T. A., Blanco, B. S., Melo, M. M., 2017. Avaliação físico-química de amostras de água, sedimento e mata ciliar de uma piscicultura localizada em área agroindustrial à margem do Ribeirão da Mata (MG). *Engenharia Sanitária e Ambiental* 22, 773-780.
- Vardhan, K. H., Kumar, P. S., Panda, R. C., 2019. A review on heavy metal pollution, toxicity and remedial measures: Current trends and future perspectives. *Journal of Molecular Liquids* 290, 111197.
- Vasileios, A., Sabry, M. S., Hans-Joachim, S., Rainer, W., Efi, L., Ines, M., Jörg, R., 2021. Phytoremediation potential of twelve wild plant species for toxic elements in a contaminated soil, *Environment International* 146, 106233.
- Vishwakarma, K., Sharma, S., Kumar, N., Upadhyay, N., Devi, S., Tiwari, A., 2016. Contribution of microbial inoculants to soil carbon sequestration and sustainable agriculture. In: Singh D, Singh H, Prabha R (eds) *Microbial inoculants in sustainable agricultural productivity*. Springer, New Delhi, 101-113.
- Vyas, P., Simranje et, S., Vaishali, D., Daljeet, S, D., Joginder, S., 2021. Chapter 10 Rhizoremediation for efficient management of inorganic and organic contaminants in soil. In: *Microbe Mediated Remediation of Environmental Contaminants*. Wood head Publishing, 95-106.
- Zakir, H. M., Hossain, M. A., Alam, M. S. 2017. Metallic pollution in top soils of an urban industrialized city: A case study of Chittagong city. Bangladesh. *Journal of Chemical Biological and Physical Sciences* 7, 835-850.