

POLUIÇÃO DO SOLO POR METAIS PESADOS: UMA REVISÃO DE LITERATURA

Luisa Thaynara Muricy de Souza Silva ¹
Andreia Azevedo Abrantes de Oliveira ²
Júlia Daniele Silva de Souza ³
Severino Martins dos Santos Neto ⁴
Artur Paiva Coutinho ⁵

RESUMO

O aumento da industrialização em todo o mundo tem gerado diversos problemas de contaminação ambiental. Incluindo o solo, que apesar de ser importante para a sustentabilidade humana, comumente é alvo de contaminação por diferentes atividades antrópicas. Assim, o objetivo desse trabalho é realizar uma revisão de literatura acerca da poluição do solo por metais pesados, avaliando trabalhos que destacam as principais fontes de contaminação por metais pesados no solo e os riscos à saúde humana. Vários autores ao redor do mundo destacam diferentes fontes de contaminação do solo por metais pesados. Dentre elas, destacam-se atividades industriais de vários segmentos, atividades agrícolas, atividades de tráfego, mineração, lixões, entre outras. Alguns autores ressaltam os vários riscos à saúde humana decorrente da contaminação por metais pesados. O contato com alguns metais pesados podem gerar riscos cancerígenos e não cancerígenos, causados principalmente por Cr, Zn, Pb, Cu, Ni, Hg, Cd e As, por inalação, ingestão ou contato dérmico, sendo a ingestão a maior via de exposição aos riscos. Dessa maneira, é possível observar que existem várias fontes de poluição do solo por metais pesados que podem causar vários problemas à saúde humana. Esse levantamento é importante para que sejam desenvolvidas políticas de controle de poluição e remediação eficaz do solo, visando um melhor gerenciamento e consequentemente melhoria da qualidade ambiental e da população.

Palavras-chave: Contaminantes, Atividades antrópicas, Riscos à saúde humana.

INTRODUÇÃO

O solo é um recurso natural e representa um importante componente de todos os ecossistemas terrestres, pois é a base para a sustentabilidade dos seres humanos. Além de ser um suporte ao desenvolvimento de alimentos de origem vegetal e animal, servindo ainda como uma barreira natural à contaminação de águas subterrâneas. Entretanto, apesar da importância, o solo, atualmente ainda é propenso à degradação ou declínio de sua qualidade devido ao mau uso e à má gestão das mais diversas maneiras (CARMO et al., 2010; PEREIRA, et al., 2015).

¹ Mestranda do Curso de Engenharia Civil e Ambiental da Universidade Federal de Pernambuco - UFPE, luisataynara12@hotmail.com;

² Mestranda do Curso de Engenharia Civil e Ambiental da Universidade Federal de Pernambuco - UFPE, andriazvdo92@gmail.com;

³ Mestranda do Curso de Engenharia Civil e Ambiental da Universidade Federal de Pernambuco - UFPE, juliadaniele_souza@hotmail.com;

⁴ Doutor em Tecnologias Energéticas e Nucleares pela Universidade Federal de Pernambuco - UFPE, martinsdsn@gmail.com;

⁵ Professor orientador: Doutor pelo em Engenharia Civil da Universidade Federal de Pernambuco - UFPE, arthur.coutinho@yahoo.com.br;

Os solos contaminados com metais pesados tornaram-se um problema sério em muitas partes do mundo. Onde estudos realizados demonstram que altas concentrações de metais pesados no solo podem ser resultantes de diferentes fontes antrópicas, como atividades industriais, agrícolas e de tráfego (BHUIYAN et al., 2010; BASSO et al., 2012; QING; YUTONG; SHENGGAO, 2015; NI et al., 2018; SUN et al., 2018; ESSIEN et al., 2019; WU et al., 2018a; JIA et al., 2019).

Além dos problemas causados ao solo e aos recursos hídricos (ZHANG et al., 2018), esses contaminantes também causam danos à saúde humana sejam através de ingestão, inalação ou contato dérmico (ZHAO et al., 2019; BALTAS et al., 2020). As áreas poluídas por metais pesados, possíveis fontes de metais pesados e riscos à saúde devem ser identificadas para desenvolver políticas de controle de poluição, remediação eficaz do solo e recomendações de seu gerenciamento (XU et al., 2014).

Dessa maneira, o presente trabalho tem como objetivo realizar uma revisão de literatura acerca do tema de poluição e/ou contaminação do solo por metais pesados. Assim, serão analisados trabalhos científicos publicados nos últimos dez anos que estudaram as principais fontes de poluição do solo por metais pesados e os riscos à saúde humana associados.

Principais fontes de poluição do solo por metais pesados

Diversas são as fontes de contaminação do solo por metais pesados investigadas por autores em diferentes locais. Zhang et al. (2015) defendem que as atividades humanas de mineração e fundição, indústria, irrigação por esgoto, desenvolvimento urbano e aplicação de fertilizantes liberaram quantidades consideráveis de metais pesados no solo. Já Kan e Malik (2018), ressaltam que os efluentes têxteis contribuem significativamente para a contaminação dos solos e da água, por apresentar, em sua composição, uma grande variedade de metais pesados, como cromo, arsênio, mercúrio e zinco.

Estudos foram realizados para avaliar o nível de poluição dos solos por metais pesados e as principais fontes de contaminação. Esses estudos revelam níveis que excedem os valores aceitáveis de Zn, Cu, Pb, Ni e Cr, Cd, As e Hg em solos agrícolas (XU et al., 2014; DOABI et al., 2018, HUANG et al., 2018), de Cr, Zn e Pb em solos urbanos (WU et al., 2018b), de Pb, Zn, Cu e Mn em solos florestais (MAZUREK et al., 2017), de Mo, Ag, Cd, Cu, Pb e Zn em solos de jardins de infância (TEPANOSYAN et al., 2017), indicando que a poluição pode vir de fontes antropogênicas.

Alguns índices de poluição são úteis para avaliar o risco ambiental e a degradação do solo por metais pesados. Como o fator de contaminação (CF), que representa o impacto individual de cada metal traçado nos sedimentos. O fator de enriquecimento (EF) que é usado para avaliar o efeito antropogênico no solo. O índice de geoacumulação (Igeo) utilizado para caracterizar a contaminação por metais pesados em sedimentos, comparando a concentração atual com os tempos anteriores. O potencial índice de risco ecológico (PER) para avaliar o grau de riscos ecológicos dos metais no solo. E o índice de carga de poluição (PLI) utilizado para medir o nível de contaminação do solo. Esses parâmetros são utilizados por diversos autores em seus estudos sobre a contaminação do solo por metais pesados (QING; YUTONG; SHENGGAO, 2015; MAZUREK et al., 2017; NI et al., 2018; WU et al., 2018a; WU et al., 2018b; ZHANG et al., 2018; HU et al., 2019; YE et al., 2019).

Também utiliza-se o Sistema de Informação Geográfica (SIG), para modelar e apresentar as mudanças espaço-temporais das fontes de poluição e fatores que afetam os níveis de poluição (ZHANG et al., 2018; BALTAS et al., 2020). Baltas et al. (2020) avaliaram os níveis de concentração de metais pesados, como Cr, Fe, Ni, Cu, Zn, As e Pb, em amostras de solo coletadas de 88 locais de amostragem na província de Sinop, na Turquia. Os autores observaram que, a partir da distribuição espacial dos níveis de concentração dos metais pesados examinados, pôde-se observar que esses são originados de diferentes fontes. Os resultados da análise multivariada, assim como observado por Marrugo-Negrete et al. (2017), mostraram que os níveis de Cr, Ni, Zn, As e Pb na região investigada foram altamente influenciados por fontes antropogênicas.

Jia et al. (2019) utilizaram dados geográficos disponíveis gratuitamente a partir de um mecanismo de pesquisa em conjunto com metodologias de aprendizado de máquina para identificar e classificar empresas potencialmente poluidoras no delta de Yangtze, na China. Um total de 14.801 amostras de solo superficial foram coletadas da área de estudo, e foi calculado o grau de poluição em cada amostra. Os autores observaram que os altos valores do Coeficiente de Variação (CV) dos elementos Cd e Hg, e o mapa de distribuição espacial indicaram que o acúmulo de metais pesados no solo foi afetado significativamente pelas atividades antropogênicas, como indústria química, têxtil e metalúrgica.

Ainda, no local citado anteriormente, Hu et al. (2019) analisaram 915 amostras de solo quanto à concentração de metais pesados. Os autores observaram, assim como Jia et al. (2019), que Hg e Cd são significativamente elevados no solo, com concentrações superiores aos valores

padrão nacionais nas regiões norte e central. Além de relatar poluição por Ni em solos agrícolas da região em estudo.

Yang et al (2018) realizaram uma revisão bibliográfica acerca da poluição do solo por metais pesados na China. Levantando dados de 402 locais industriais e 1041 locais agrícolas. Cinco metais pesados, Pb, As, Cd, Cr e Hg, foram incluídos neste estudo. Os resultados revelaram que a poluição por metais pesados e os riscos associados ao Cd, Pb e As são mais graves e que as maiores concentrações de metais pesados se encontram nas regiões industriais. Estes metais, encontrados em áreas industriais e, ainda o Hg, também foram observados acima dos limites em locais agrícolas na China por Huang et al. (2018). Assim como relatado a poluição de solos agrícolas por Pb e Cd (Wang; Xie; Li, 2015) e Cd e Cu (LIU et al., 2013)

O mapeamento preciso da distribuição espacial das concentrações de poluentes no solo permite a detecção de áreas de alta poluição e facilita a distribuição e controle das fontes de poluição. Por isso, Fei et al. (2019) realizaram modelagem espacial e mapeamento de distribuições de metais pesados (As, Cd, Cr e Pb) nos solos da região de Xangai, China, para isso coletaram um total de 500 amostras do solo superficial. Os autores observaram que a poluição por Cd é principalmente de atividades agrícolas e que a poluição por Cr é atribuída a fontes naturais, enquanto Pb e As têm fontes compostas de poluição.

Em relação aos índices de poluição para avaliar o risco ambiental e a degradação do solo por metais pesados, Zhang et al. (2018) aplicaram PER e Igeo para analisar quantitativamente o status da poluição e as ameaças potenciais, induzidas pelas concentrações de metais pesados em uma região de irrigação nas regiões mais baixas do rio Amarelo, na China. O estudo revelou que Hg e Cd apresentam os maiores riscos ecológicos potenciais. Quanto às fontes dos metais pesados no solo, os autores concluíram que Hg, Zn, Pb, As e Hg podem advir do desenvolvimento industrial, urbanização e transporte. Além de produção agrícola, desinfecção de reservatórios, e atividades pesqueiras como fontes de Cr, Ni, Cu e Cd.

Nas últimas décadas, a poluição do solo agrícola por metais pesados tem sido extensivamente investigada. Huang et al. (2019), realizaram uma meta-análise baseada em artigos primários publicados para avaliar o status atual da poluição agrícola do solo por metais pesados na China, e observaram uma maior poluição por Cd e Hg em áreas de mineração e fundição e áreas industriais que continuaram acumulando-se significativamente. Outro estudo que utilizou dados de artigos pesquisados foi realizado por Kumar et al. (2019), onde coletaram os dados em artigos realizados na Índia e aplicaram em índices de poluição. Os autores

observaram que Cd e As apresentaram alta contaminação em diferentes solos da Índia, e que o Cd apresentou elevado risco ecológico.

Outro estudo em solos agrícolas foi realizado na Colômbia, por Marrugo-Negrete et al. (2017), onde determinou-se a concentração de metais pesados em 83 solos agrícolas irrigados pelo rio Sinú, e encontraram níveis de Cu, Ni, Hg e Zn acima dos níveis permitidos, derivados de fontes antropogênicas. Já Guan et al. (2019) observaram que o solo em terras agrícolas em Wuwei, na China, não está contaminado pelos metais pesados citados no estudo anterior, mas contaminado por Pb resultante de fertilizantes, pesticidas e atividades industriais.

Ye et al. (2019) realizaram uma investigação de nove anos da poluição por metais pesados de solos ribeirinhos, observaram que os níveis de As, Cr, Pb e Cu aumentaram, e que os níveis de Hg e Cd diminuíram durante esse período. A análise fatorial mostrou que o As e o Pb foram identificados como os poluentes de maior preocupação na região, indicando que as fontes prováveis desses e outros metais pesados incluem escape de tráfego, fontes associadas à produção de P, como escoamento agrícola, e fontes associadas à produção de matéria orgânica, como o esgoto.

Ainda em solos ribeirinhos, Zhang et al. (2017) coletaram amostras em zonas úmidas ribeirinhas de inundação sazonal no delta do rio Amarelo (YRD) da China no outono e primavera para investigar os níveis, distribuições e riscos tóxicos de metais pesados nos perfis de solo. A partir do fator de enriquecimento, os autores observaram que As e Cd apresentaram maiores concentrações. Esses metais também apresentaram, a partir da Análise de Componentes Principais (PCA), mesma fonte de contaminação. Enquanto que Cr, Cu, Ni, Pb e Zn compartilham outra fonte semelhante.

Para identificar as fontes de contribuição da poluição por metais pesados no solo, Zhou e Wang (2019) utilizaram também o método PCA. Os autores relataram que o Cr, Mn e Ni resultam de fontes naturais, enquanto que Cd, Hg, Pb e Zn resultam de atividade antropogênicas como atividades industriais, tráfego e deposição atmosférica.

Wu et al. (2018b) determinaram as concentrações e os riscos à saúde de metais pesados em solos urbanos em torno de um local de fabricação de eletrônicos na província de Hubei, na China. Amostras de solos foram coletadas em áreas comerciais, na estrada, terras agrícolas e residenciais em torno da instalação de fabricação de eletrônicos. Em geral, observaram que as áreas ao redor da instalação eletrônica estão sendo poluídas consideravelmente, com destaque para o Cr e o Cd que excederam muito os valores ambientais de qualidade do solo.

Altas concentrações de metais pesados foram encontradas em solos urbanos próximos a uma indústria siderúrgica, na China, onde Cd, Pb, Cu e Zn excederam muito os valores ambientais na região, advindo das atividades industriais, Ni de fonte natural e Cr de fonte mista de processos naturais e antropogênicos (QING; YUTONG; SHENGGAO, 2015). Também, na China, Ni et al. (2018) observaram que, Cu, Cr, Ni e Zn resultavam de fontes naturais, enquanto que Cd e Hg de fontes antropogênicas como práticas agrícolas. Ainda, na China, Sun et al. (2019) encontraram alto nível de poluição do solo por Hg e Cd provenientes de atividades industriais relacionadas ao carvão, irrigação proveniente de águas de esgoto, aplicação de agroquímicos, e emissão de veículos.

Alguns estudos realizados no Brasil retratam a poluição do solo por metais pesados, entre eles, Lima (2015), que determinou no solo os teores de Al, Mn, Zn, Cd, Pb a partir de análise química, em solo do aterro de resíduos sólidos urbanos encerrado de Seropédica. Segundo o autor esse estudo pode servir como indicativo do nível de contaminação deste solo e identificar as tecnologias de remediação de solos contaminados por metais pesados. A partir dos resultados, foi possível observar teores de alumínio e chumbo baixos, pH alcalino moderado e teores de manganês dentro da normalidade. Foi verificado que a área está contaminada pelos metais pesados zinco e cádmio.

Basso et al. (2012) determinaram os teores totais de Zn, Cu, Cr, Ni, Mn e Cd em solo de áreas que são usadas como local de descarte de dejetos líquidos de suínos, em propriedades rurais da região Oeste de Santa Catarina. Os autores constataram que o Zn e Cu são os elementos com maior tendência de acúmulo em áreas que recebem sucessivas aplicações de dejetos líquidos de suínos.

Altos valores do CV pode implicar que os dados não são naturalmente distribuídos, mas influenciados pelas atividades humanas (FEI et al., 2019). Como observado por Fei et al. (2019), os metais pesados As e Pb apresentaram variação moderada, enquanto que o Cr apresentou baixa variação, o que significa que o Cr vem principalmente de fontes naturais, como materiais de origem do solo, assim como observado por Zhou e Wang (2019).

Já Qing, Yutong e Shenghao (2015) encontraram altos valores de CV para Pb, Zn e Cu, indicando que a concentração desses metais pesados diferia bastante em relação a diferentes locais, e para Cd e Cr observaram um grau moderado de variabilidade. Também, altas variações de CV dos metais As, Cd e Zn (KUMAR et al., 2019) e Cu, Mo, Pb e Zn (TEPANOSYAN et al., 2017) foram indicadas como sendo causados por atividades antropogênicas.

Como visto anteriormente, os metais pesados são introduzidos no solo através de diversas fontes. O Quadro 1 mostra alguns metais pesados e suas principais fontes de acordo com diversos autores.

Quadro 1 – Principais fontes de metais pesados no solo de acordo com diversos autores.

Metal Pesado	Fontes	Referência
Pb	Sistemas de tratamento de gases residuais; Produção e reciclagem de baterias; Fabricação de eletrônicos; Indústria siderúrgica; Tráfego; Fábrica de cimento; Emissões de fábricas; Efluentes de minas de carvão; Atividades de mineração	Bhuiyan et al. (2010); Wang (2013); Qing; Yutong; Shenggao (2015); Cutillas-Barreiro et al. (2016); Huang et al. (2018); Sun et al. (2018); Wu et al. (2018b); Kumar et al. (2019); Ye et al. (2019); Baltas et al. (2020)
Zn	Fertilizantes; Tráfego; Fábrica de cimento; Descargas industriais; Fundições de aço; Tingimento de tecidos; Efluentes de minas de carvão; Atividades de mineração	Bhuiyan et al. (2010); Wang (2013); Qing; Yutong; Shenggao (2015); Sun et al. (2018); Wu et al. (2018b); Kumar et al. (2019); Baltas et al. (2020)
As	Mineração; Inseticida; Fertilização; Fabricação de eletrônicos; Tráfego; Emissão industrial;	Bhuiyan et al. (2010); Wu et al. (2018b); Ye et al. (2019); Baltas et al. (2020)
Ni	Fabricação de Aço; Materiais de rocha original; Fertilizantes	Tepanosyan et al. (2017); Wu et al. (2018b); Baltas et al. (2020)
Cd	Indústria têxtil, metalúrgica e química; Práticas agrícolas; Lixões; Mineração de carvão; Fabricação de eletrônicos e cimento; Fundições de aço; Tráfego; Emissões de fábricas;	Wang (2013); Qing; Yutong; Shenggao (2015); Ni et al. (2018); Sun et al. (2018); Wu et al. (2018b); Essien et al., 2019; Kumar et al. (2019); Jia et al. (2019)
Hg	Indústria têxtil, metalúrgica e química; Práticas agrícolas; Tráfego; Fábrica de cimento; Emissão industrial;	Xu et al. (2014); Cutillas-Barreiro et al. (2016); Marrugo-Negrete et al. (2017); Ye et al. (2019); Jia et al. (2019)
Cr	Material parental do solo; Tráfego de veículos; Descargas industriais; Fundições de aço; Detergentes; Fábrica de cimento e couro; Lodo de esgoto; materiais agrícolas;	Xu et al. (2014); Cutillas-Barreiro et al. (2016); Qing; Yutong; Shenggao (2015); Tepanosyan et al. (2017); Wu et al. (2018b); Kumar et al. (2019); Zhao et al. (2019)
Cu	Fábrica de cimento; Fundições de aço; Fertilizantes agrícolas	Wang (2013); Qing; Yutong; Shenggao (2015); Kumar et al. (2019)
Fe	Indústria siderúrgica; Lodo de esgoto; Minas de ferro; Poeira da mina de carvão	Bhuiyan et al. (2010); Kumar et al. (2019)

Mn e Sr	Efluentes de minas de carvão	Bhuiyan et al. (2010);
---------	------------------------------	------------------------

Fonte: Autores, 2019.

Riscos causados à saúde humana pela poluição do solo por metais pesados.

Os riscos que os metais pesados no solo causam para a saúde da população podem ser através de ingestão, inalação ou contato dérmico (ZHAO et al., 2019; BALTAS et al., 2020). Em geral, a ingestão é a via de exposição mais preocupante (YANG et al., 2018).

Alguns parâmetros são identificados para avaliar os riscos à saúde humana. Como os fatores de enriquecimento (EFs), usados para avaliar o grau de impacto humano. A ingestão diária crônica (CDI). O quociente de risco (HQ) para avaliar o risco potencial não carcinogênico de um metal. E o risco carcinogênico (RC/RI), que mostra a possibilidade de desenvolvimento de qualquer tipo de câncer devido à exposição do indivíduo a riscos carcinogênicos (DOABI et al., 2018; WU et al., 2018a; BALTAS et al., 2020). Além do índice de perigo (HI) utilizado para avaliar os riscos à saúde humana decorrentes da presença de metais pesados (QING; YUTONG; SHENGGAO, 2015; HUANG et al., 2018; WU et al., 2018b).

De acordo com Wu et al. (2018a), os riscos de metais pesados por ingestão representaram mais de 99,1% dos riscos de câncer, enquanto os riscos por contato dérmico eram geralmente 20 vezes maiores do que aqueles por inalação. Os autores constataram que o Cr foi o principal contribuinte para os riscos de câncer através da ingestão, enquanto o Zn, Pb e Cu através do contato dérmico. E por inalação o Cr e Zn apresentaram maior risco. Através dos valores de HQ os autores observaram altos riscos não cancerígenos para crianças na área de estudo, assim como observado por outros autores (QING; YUTONG; SHENGGAO, 2015; SAWUT et al., 2018; WU et al., 2018b; LIAN et al., 2019).

Os resultados da análise de risco sugerem que, a ingestão de culturas alimentares, como o trigo (DOABI et al., 2018), batata, repolho (CANDEIAS et al., 2014), arroz, vegetais (HUANG et al., 2018), soja e milho (LIAN et al., 2019), é o principal caminho para introduzir os metais no corpo humano e ameaçar sua saúde. A ingestão, também foi constatada como principal caminho prejudicial à saúde humana por diversos autores (WU et al., 2018a; WU et al., 2018b; LIAN et al., 2019). Já, para Sawut et al. (2018), quanto ao risco cancerígeno, a inalação apresenta-se como principal caminho de exposição para adultos, e inalação e ingestão o principal caminho de exposição para as crianças.

Quanto ao risco cancerígeno Doabi et al. (2018) afirmam que os valores para crianças foram maiores que os adultos. Os autores observaram altos níveis de riscos de Ni em solos agrícolas, possibilidades de câncer em longo prazo para crianças e adultos, e que as crianças podem sofrer riscos potencialmente cancerígenos em sua vida diária por meio de vias de

ingestão inconscientes. Além disso, o risco à saúde representado por metais pesados por ingestão é maior que o risco por inalação para adultos e crianças.

Lian et al. (2019) relataram que a irrigação usando o rio Xi, localizado em Shenyang na China, como fonte de água leva à poluição do solo por metais pesados. Os autores avaliaram o risco à saúde humana de Cd, Pb, Hg e Zn, sendo o Cd o mais prejudicial à saúde. Já Zhao et al. (2019) observaram em seu estudo que o Cr e o Pb foram considerados os de maiores riscos, em Zhangye na China. Em Portugal, Candeias et al. (2014) relataram que As, Cd e Pb apresentam riscos à saúde através da ingestão.

No geral, quando os riscos para a saúde são avaliados, mostram que as crianças são mais suscetíveis aos efeitos não cancerígenos e cancerígenos dos traços de saúde em comparação com os adultos. (DOABI et al., 2018; YANG et al., 2018; LIAN et al., 2019; BALTAS et al., 2020). Os riscos de câncer para crianças eram geralmente 20 vezes maiores do que os adultos, sugerindo que as crianças são muito mais suscetíveis aos efeitos adversos dos metais pesados do solo (WU et al., 2018a). Já, para Yang et al. (2018), o risco de câncer para crianças é menor do que para adultos, pois elas têm menor duração de exposição.

De acordo com Yang et al. (2018) o valor de risco não cancerígeno nas regiões agrícolas é menor em comparação às regiões industriais. Porém, os autores também indicam que parte das terras agrícolas pode representar risco não cancerígeno, através do Pb, para a população circundante. Quanto ao risco cancerígeno os autores observaram o Cd e As como o principal fator, assim como observado por Baltas et al. (2020).

Segundo Doabi et al. (2018), o Ni e o Cr devem receber mais atenção pela possível ocorrência de risco cancerígeno que ameace a saúde humana, já Wu et al. (2018b) afirmam que Cr e As possuem maior risco cancerígeno para crianças e adultos. Outros autores afirmam que o Cd, Cu, Pb e Zn (QING; YUTONG; SHENGGAO, 2015) e As, Cd, Pb e Cr (HUANG et al., 2018; CANDEIAS et al., 2014) também possuem esse risco à saúde humana. As foi o principal colaborador do risco total de câncer (YANG et al., 2018; BALTAS et al., 2020). O Pb é o principal fator de risco não cancerígeno (YANG et al., 2018).

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Diante do exposto é visto que várias são as fontes de metais pesados no solo, como indústrias químicas, metalúrgicas e têxteis, atividades agrícolas, fabricação de eletrônicos e cimento, lixões, tráfego, entre outros. Através do levantamento dos estudos realizados foi

possível observar que vários locais no mundo sofrem com a poluição do solo por esses contaminantes.

Além disso, vários autores relataram os riscos cancerígenos e não cancerígenos à saúde humana. Os principais metais pesados causadores desses riscos são Cr, Zn, Pb, Cu, Ni, Hg, Cd e As, podendo a população estarem expostos à eles por meio da inalação, ingestão ou contato dérmico, sendo a ingestão a maior via de exposição aos riscos.

A revisão de literatura exposta nesse trabalho vem a contribuir para que os tomadores de decisões possam desenvolver políticas que visem o controle da poluição e/ou contaminação do solo, e consequentemente possam realizar técnicas para recuperação e/ou remediação dessas áreas, além que permita um melhor gerenciamento para a disposição inadequada dos resíduos que possuem metais pesados, contribuindo para uma melhor qualidade ambiental das populações afetadas por essas áreas.

REFERÊNCIAS

- BALTAS, H.; SIRIN, M.; GÖKBAYRAK, E.; OZCELIK, A. E. A case study on pollution and a human health risk assessment of heavy metals in agricultural soils around Sinop province, Turkey. **Chemosphere**, v. 24, p. 1125015, 2020.
- BASSO, C. J.; CERETTA, C. A.; FLORES, E. M. M.; GIROTTI, E. Teores totais de metais pesados no solo após aplicação de dejetos líquidos de suínos. **Ciência Rural**, v.42, n.4, p. 653-659, 2012.
- BHUIYAN, M. A.; PARVEZ, L.; ISLAM, M. A.; DAMPARE, S. B.; SUZUKI, S. Heavy metal pollution of coal mine-affected agricultural soils in the northern part of Bangladesh. **Journal of Hazardous Materials**, v. 173, n. 1-3, p. 384-392, 2010.
- CANDEIAS, C.; MELO, R.; ÁVILA, P. F.; SILVA, E. F.; SALGUEIRO, A. R.; TEIXEIRA, J. P. Heavy metal pollution in mine–soil–plant system in S. Francisco de Assis–Panasqueira mine (Portugal). **Applied Geochemistry**, v. 44, p. 12-26, 2014.
- CARMO, A. L.; ANTONINO, A. C. D.; NETTO, A. M.; CORRÊA, M. M. Caracterização hidrodispersiva de dois solos da região irrigada do Vale do São Francisco. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.14, n.7, p.698-704, 2010.
- CUTILLAS-BARREIRO, L.; PÉREZ-RODRÍGUEZ, P.; GÓMEZ-ARMESTO, A.; FERNÁNDEZ-SANJURJO, M. J.; ÁLVAREZ-RODRÍGUEZ, E.; NÚÑEZ-DELGADO, A.; ARIAS-ESTÉVEZ, M.; NÓVOA-MUNOZ, J. C. Lithological and land-use based assessment of heavy metal pollution in soils surrounding a cement plant in SW Europe. **Science of the Total Environment**, v. 562, p. 179-190, 2016.
- DOABI, S. A.; KARAMI, M.; AFYUNI, M.; YEGANEH, M. Pollution and health risk assessment of heavy metals in agricultural soil, atmospheric dust and major food crops in Kermanshah province, Iran. **Ecotoxicology and environmental safety**, v. 163, p. 153-164, 2018.
- ESSIEN, J. P.; INAM, E. D.; IKPE, D. I.; UDOFIA, G. E.; BENSON, N. U. Ecotoxicological status and risk assessment of heavy metals in municipal solid wastes dumpsite impacted soil in Nigeria. **Environmental Nanotechnology, Monitoring & Management**, v. 11, p. 100215, 2019.

- FEI, X.; CHRISTAKOS, G.; XIAO, R.; REN, Z.; LIU, Y.; LV, X. Improved heavy metal mapping and pollution source apportionment in Shanghai City soils using auxiliary information. **Science of the Total Environment**, v. 661, p. 168-177, 2019.
- GUAN, Q.; ZHAO, R.; PAN, N.; WANG, F.; YANG, Y.; LUO, H. Source apportionment of heavy metals in farmland soil of Wuwei, China: Comparison of three receptor models. **Journal of Cleaner Production**, v. 237, p. 117792, 2019.
- HU, B.; SHAO, S.; FU, Z.; LI, Y.; NI, H.; CHEN, S.; ZHOU, Y.; JIN, B.; Shi, Z. Identifying heavy metal pollution hot spots in soil-rice systems: A case study in South of Yangtze River Delta, China. **Science of The Total Environment**, v. 658, p. 614-625, 2019.
- HUANG, Y.; CHEN, Q.; DENG, M.; JAPENGA, J.; LI, T.; YANG, X.; HE, Z. Heavy metal pollution and health risk assessment of agricultural soils in a typical peri-urban area in southeast China. **Journal of environmental management**, v. 207, p. 159-168, 2018.
- HUANG, Y.; WANG, L.; WANG, W.; LI, T.; HE, Z.; YANG, X. Current status of agricultural soil pollution by heavy metals in China: A meta-analysis. **Science of the Total Environment**, v. 651, p. 3034-3042, 2019.
- JIA, X.; HU, B.; MARCHANT, B. P.; ZHOU, L.; SHI, Z.; ZHU, Y. A methodological framework for identifying potential sources of soil heavy metal pollution based on machine learning: A case study in the Yangtze Delta, China. **Environmental Pollution**, v. 250, p. 601-609, 2019.
- KHAN, S.; MALIK, A. Toxicity evaluation of textile effluents and role of native soil bacterium in biodegradation of a textile dye. **Environ Sci Pollut Res**. v. 25, n. 5, p. 4446–4458, 2018.
- KUMAR, V.; SHARMA, A.; KAUR, P.; SIDHU, G. P. S.; BALI, A. S.; BHARDWAJ, R.; THUKRAL, A. K.; CERDA, A. Pollution assessment of heavy metals in soils of India and ecological risk assessment: A state-of-the-art. **Chemosphere**, v. 216, p. 449-462, 2019.
- LIAN, M.; WANG, J.; SUN, L.; XU, Z.; TANG, J.; YAN, J.; ZENG, X. Profiles and potential health risks of heavy metals in soil and crops from the watershed of Xi River in Northeast China. **Ecotoxicology and environmental safety**, v. 169, p. 442-448, 2019.
- LIMA, A. N. **Análise do monitoramento da contaminação ambiental do solo do aterro de resíduos sólidos urbanos encerrado de Seropedica**. 166f. 2015. Dissertação (Mestrado em Ciência) – Escola Nacional de Saúde Pública Sergio Arouca, Rio de Janeiro. 2015.
- LIU, G.; TAO, L.; LIU, X.; HOU, J.; WANG, A.; LI, R. Heavy metal speciation and pollution of agricultural soils along Jishui River in non-ferrous metal mine area in Jiangxi Province, China. **Journal of Geochemical Exploration**, v. 132, p. 156-163, 2013.
- MARRUGO-NEGRETE, J.; PINEDO-HERNÁNDEZ, J.; DÍEZ, S. Assessment of heavy metal pollution, spatial distribution and origin in agricultural soils along the Sinú River Basin, Colombia. **Environmental research**, v. 154, p. 380-388, 2017.
- MAZUREK, R.; KOWALSKA, J.; GAŚIOREK, M.; ZADROŻNY, P.; JÓZEFOWSKA, A.; ZALESKI, T.; ORŁOWSKA, K. Assessment of heavy metals contamination in surface layers of Roztocze National Park forest soils (SE Poland) by indices of pollution. **Chemosphere**, v. 168, p. 839-850, 2017.
- NI, M.; MAO, R.; JIA, Z.; DONG, R.; LI, S. Heavy metals in soils of Hechuan County in the upper Yangtze (SW China): Comparative pollution assessment using multiple indices with high-spatial-resolution sampling. **Ecotoxicology and environmental safety**, v. 148, p. 644-651, 2018.
- PEREIRA, A. C. C.; LIMA, E. S. A.; SANTOS, A. M.; SOBRINHO, N. M. B. A. **Análise e monitoramento de metais pesados no solo**. In book: Valores orientadores de qualidade de solos no Espírito Santo, Edition: 2015, Chapter: Capítulo 4. p. 71-89, 2015.
- QING, X.; YUTONG, Z.; SHENGGAO, L. Assessment of heavy metal pollution and human health risk in urban soils of steel industrial city (Anshan), Liaoning, Northeast China. **Ecotoxicology and environmental safety**, v. 120, p. 377-385, 2015.

- SAWUT, R.; KASIM, N.; MAIHEMUTI, B.; HU, L.; ABLIZ, A.; ABDUJAPPAR, A.; KURBAN, M. Pollution characteristics and health risk assessment of heavy metals in the vegetable bases of northwest China. **Science of the total environment**, v. 642, p. 864-878, 2018.
- SUN, L.; GUO, D.; LIU, K.; MENG, H.; ZHENG, Y.; YUAN, F.; ZHU, G. Levels, sources, and spatial distribution of heavy metals in soils from a typical coal industrial city of Tangshan, China. **Catena**, v. 175, p. 101-109, 2019.
- SUN, Z.; XIE, X.; WANG, P.; HU, Y.; CHENG, H. Heavy metal pollution caused by small-scale metal ore mining activities: A case study from a polymetallic mine in South China. **Science of the Total Environment**, v. 639, p. 217-227, 2018.
- TEPANOSYAN, G.; MAGHAKYAN, N.; SAHAKYAN, L.; SAGHATELYAN, A. Heavy metals pollution levels and children health risk assessment of Yerevan kindergartens soils. **Ecotoxicology and environmental safety**, v. 142, p. 257-265, 2017.
- WU, J.; LU, J.; LI, L.; MIN, X.; LUO, Y. Pollution, ecological-health risks, and sources of heavy metals in soil of the northeastern Qinghai-Tibet Plateau. **Chemosphere**, v. 201, p. 234-242, 2018a.
- WU, W.; WU, P., YANG, F.; SUN, D. L.; ZHANG, D. X.; ZHOU, Y. K. Assessment of heavy metal pollution and human health risks in urban soils around an electronics manufacturing facility. **Science of the Total Environment**, v. 630, p. 53-61, 2018b.
- WANG, Q.; XIE, Z.; LI, F. Using ensemble models to identify and apportion heavy metal pollution sources in agricultural soils on a local scale. **Environmental Pollution**, v. 206, p. 227-235, 2015.
- WANG, X. S. Magnetic properties and heavy metal pollution of soils in the vicinity of a cement plant, Xuzhou (China). **Journal of Applied Geophysics**, v. 98, p. 73-78, 2013.
- XU, X.; ZHAO, Y.; ZHAO, X.; WANG, Y.; DENG, W. Sources of heavy metal pollution in agricultural soils of a rapidly industrializing area in the Yangtze Delta of China. **Ecotoxicology and environmental safety**, v. 108, p. 161-167, 2014.
- YANG, Q.; LI, Z.; LU, X.; DUAN, Q.; HUANG, L.; BI, J. A review of soil heavy metal pollution from industrial and agricultural regions in China: pollution and risk assessment. **Science of the total environment**, v. 642, p. 690-700, 2018.
- YE, C.; BUTLER, O. M.; DU, M.; LIU, W.; ZHANG, Q. Spatio-temporal dynamics, drivers and potential sources of heavy metal pollution in riparian soils along a 600 kilometre stream gradient in Central China. **Science of the Total Environment**, v. 651, p. 1935-1945, 2019.
- ZHANG, G.; BAI, J.; ZHAO, Q.; JIA, J.; WEN, X. Heavy metals pollution in soil profiles from seasonal-flooding riparian wetlands in a Chinese delta: Levels, distributions and toxic risks. **Physics and Chemistry of the Earth, Parts A/B/C**, v. 97, p. 54-61, 2017.
- ZHANG, P.; QIN, C.; HONG, X.; KANG, G.; QIN, M.; YANG, D.; PANG, B.; LI, Y.; HE, J.; DICK, R. P. Risk assessment and source analysis of soil heavy metal pollution from lower reaches of Yellow River irrigation in China. **Science of the Total Environment**, v. 633, p. 1136-1147, 2018.
- ZHANG, X.; ZHONG, T.; LIU, L.; OUYANG, X. Impact of Soil Heavy Metal Pollution on Food Safety in China. **PLoS ONE**, v. 10, n. 8, 2015.
- ZHAO, R.; GUAN, Q.; LUO, H.; LIN, J.; YANG, L.; WANG, F.; PAN, N.; Yang, Y. Fuzzy synthetic evaluation and health risk assessment quantification of heavy metals in Zhangye agricultural soil from the perspective of sources. **Science of the Total Environment**, v. 697, p. 134126, 2019.
- ZHOU, X.; WANG, X. Impact of industrial activities on heavy metal contamination in soils in three major urban agglomerations of China. **Journal of Cleaner Production**, v. 230, p. 1-10, 2019.