



UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO NORTE
CENTRO DE TECNOLOGIA
COORDENAÇÃO DO CURSO DE ENGENHARIA AMBIENTAL

**ÍNDICES DE POLUIÇÃO DO SOLO POR METAIS PESADOS E
RISCOS ECOLÓGICOS E A SAÚDE HUMANA EM LIXÃO NO
SEMIÁRIDO**

ANA CLÁUDIA DE ANDRADE GALVÃO

Natal – RN

2022

ANA CLÁUDIA DE ANDRADE GALVÃO

**ÍNDICES DE POLUIÇÃO DO SOLO POR METAIS PESADOS E
RISCOS ECOLÓGICOS E A SAÚDE HUMANA EM LIXÃO NO
SEMIÁRIDO**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Universidade Federal do Rio Grande do Norte como parte integrante dos requisitos para a obtenção do título de Engenheiro Ambiental.

Orientadora: Profa. Karina Patrícia Vieira da Cunha

BANCA EXAMINADORA

Dra. Karina Patrícia Vieira da Cunha – Orientadora
Universidade Federal do Rio Grande do Norte - UFRN

Ana Paula de França Marinho – Examinadora externa
Universidade Federal do Rio Grande do Norte - UFRN

Giulliana Karine Gabriel Cunha – Examinadora externa
Universidade Federal do Rio Grande do Norte - UFRN

Natal – RN

2022

Universidade Federal do Rio Grande do Norte - UFRN
Sistema de Bibliotecas - SISBI
Catalogação de Publicação na Fonte. UFRN - Biblioteca Central Zila Mamede

Galvão, Ana Cláudia de Andrade.

Índices de poluição do solo por metais pesados e riscos ecológicos e a saúde humana em lixão no semiárido / Ana Cláudia de Andrade Galvão. - 2022.

35 f.: il.

Monografia (Graduação) - Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Centro de Tecnologia, Curso de Engenharia Ambiental, Natal, RN, 2022.

Orientadora: Profa. Dra. Karina Patrícia Vieira da Cunha.

1. Contaminação - Monografia. 2. Toxidade - Monografia. 3. Elementos traços - Monografia. 4. Exposição humana - Monografia. I. Cunha, Karina Patrícia Vieira da. II. Título.

RN/UF/BCZM

CDU 502.2

AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar, gratidão a minha família por todo apoio, por acreditarem em mim. A minha mãe, Marluce Andrade, que me deu a educação que não se pode encontrar nem nas melhores universidades do mundo. Aos meus irmãos, Maria, Paula, Jorge e Roni que são as pessoas mais importantes da minha vida, a minha cunhada/irmã, Clébia Felix pela disposição em me ajudar em todos os momentos difíceis, e principalmente, muita gratidão ao meu marido maravilhoso, Paulo Câmara, que sempre me apoiou e fez ser possível a conclusão desse ciclo.

A minha professora e orientadora, Karina Patrícia, profissional incrível que me norteou neste trabalho com muita dedicação e não me deixou desistir. Gratidão por sempre acreditar em mim, pelas palavras de apoio, carinho, força que me transmitiu ao longo da graduação, principalmente nos momentos finais.

À UFRN, instituição que me acolheu todos esses anos e que me presenteou com amizades verdadeiras, minhas amigas queridas Yanne, Yasmin e Mayara, vocês estarão sempre em meu coração.

Aos meus professores de Engenharia Ambiental, Carlos Junior, Giovana Medeiros, Diego Souza por fazerem eu me apaixonar pelo curso, por transmitirem todo conhecimento de forma leve. À professora Joana Darc, pelos conhecimentos práticos, tornando a aula dinâmica e divertida.

Enfim, agradeço a todos que contribuíram, torceram e acreditam na conclusão desse sonho.

RESUMO

Este estudo foi realizado para determinar índices de poluição do solo por metais pesados, riscos ecológicos e humanos (Crianças e Adultos) em lixão no município de Currais Novos/RN. Amostras deformadas do solo (até 40 cm de profundidade) foram coletadas da área do lixão e de área vizinha com vegetação nativa que serviu de referência local. Os metais analisados foram Cu, Ni, Pb, Zn, Cr e Mn. O solo foi classificado como poluído com potencial risco ecológico classificado em risco considerável para Cu, moderado para Pb e baixo para os demais metais. O potencial geral de efeitos não cancerígenos para a saúde indicou impactos por vias dérmicas tanto para adultos como crianças, e por ingestão para crianças. Existe risco de câncer por via dérmica e ingestão para adultos e crianças. Dessa forma há preocupação com o potencial risco à saúde dos moradores locais, principalmente das crianças que vivem nas proximidades do lixão devido à possibilidade de dispersão de metais pesados para toda a comunidade, levando à exposição ao longo da vida.

Palavras-chave: Contaminação, toxicidade, elementos traços, exposição humana.

ABSTRACT

This study was carried out to determine levels of soil pollution by heavy metals, ecological and human risks (Children and Adults) in a dumpsite in the municipality of Currais Novos/RN. Deformed soil samples (up to 40 cm deep) were collected from the dump area and from a neighboring area that served as a local reference. The analyzed metals were Cu, Ni, Pb, Zn, Cr and Mn. The soil was classified as polluted with potential ecological risk considerable for Cu, moderate for Pb and low for the other metals. The overall potential for non-carcinogenic health effects indicated dermal impacts for both adults and children, and ingestion for children. There is a risk of dermal and ingestion cancer for adults and children. There is concern about the potential health risk to residents, especially children living in the surroundings of the dumpsite, due to the possibility of heavy metals being dispersed throughout the community, leading to lifelong exposure.

Keywords: Contamination, heavy metals, toxicity, trace elements, human exposure.

LISTA DE TABELAS

Tabela 01 - Valores de referência de qualidade (VQR) para os metais pesados analisados no solo do lixão de Currais Novos/RN (em mg kg ⁻¹).....	13
Tabela 2 - Classificação dos parâmetros de grau de poluição – Imp.....	14
Tabela 3 - Classificação dos parâmetros de grau de poluição – Igeo.....	14
Tabela 4 - Classificação dos parâmetros de grau de poluição – PLI.....	15
Tabela 5 - Classificação Er e Ri.....	15
Tabela 6 - Resposta Tóxica para Metais Pesados.....	16
Tabela 7 - Valores padronizados da Taxa de inalação.....	17
Tabela 8 - Valores padronizados de exposição dérmica ao solo.....	18
Tabela 9 - Doses de referência - para não cancerígenos (em mg kg ⁻¹)	19
Tabela 10 - Fatores de declive do câncer - para risco carcinogênico (em mg kg ⁻¹).....	20

SUMÁRIO

1.INTRODUÇÃO	9
2. MATERIAIS E MÉTODOS	11
2.1 Área de Estudo	11
2.2. Coleta e análise das amostras	12
2.3. Avaliação dos índices de poluição de metais pesados.....	13
2.3.1. Índice de poluição por metal (IMP).....	13
2.3.2. Índice de Geoacumulação (Igeo).....	14
2.3.3. Índice de carga de poluição (PLI).....	14
2.4. Métodos de Avaliação de risco a saúde Ecológica e Humana	15
2.4.1. Índice de Potencial risco ecológico	15
2.4.2. Ingestão de metais pesados através do solo.....	16
2.4.3. Inalação de metais pesados através de partículas do solo	16
2.4.4. Contato dérmico com o solo.....	17
2.4.5. Quociente de risco (HQ) e índice de risco (HI).....	18
2.4.6. Risco de câncer (CR).....	19
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO	20
3.1. Índice de poluição por metais (IMP)	22
3.2. Índice de Geoacumulação.....	22
3.3. Índice de Carga de Poluição (PLI)	23
3.4. Índice de potencial risco ecológico	24
3.5. Doses de exposição das vias: Ingestão, Inalação e Contato Dérmico	24
3.6. Quociente de risco (HQ) e índice de risco (HI).....	26
3.7. Risco de Câncer (CR).....	28
4. CONCLUSÃO.....	29
REFERÊNCIAS	30

1.INTRODUÇÃO

Devido ao grande volume de lixo produzido pela população em quantidades cada vez maiores, a destinação final adequada de resíduos sólidos urbanos é considerada como um dos principais problemas de qualidade ambiental das áreas urbanas no mundo. É evidente a necessidade de se promover uma gestão adequada das áreas de disposição de resíduos, no intuito de prevenir ou reduzir os possíveis efeitos negativos ao meio ambiente ou à saúde pública (Albert et al., 2005).

A industrialização tem crescido a cada ano, e este processo vem acompanhado de impactos negativos já que em muitos casos, os insumos e produtos finais dessas atividades contém substâncias com características de toxicidade para o ambiente e para a saúde humana (Brasil, 2010).

Por ser a maneira mais fácil e barata de disposição de rejeitos, o solo recebe grandes quantidades desses resíduos sólidos, na maioria das vezes em lixões, contaminando-os com substâncias químicas, potencialmente tóxicas, carcinogênicas ou mutagênicas (Accioly & Siqueira, 2000). Essa condição de disposição acaba trazendo inúmeros problemas de saúde para a população ao redor dessas áreas.

Os resíduos sólidos urbanos são fontes potenciais de metais pesados (Guedes, 2008). Estes resíduos podem liberar metais, como Cd, Cu, Pb, Mn, Zn, Ni, Hg, ampliando as formas de poluição e contaminação que estes materiais podem causar ao meio ambiente (Moreira et al., 2010).

Os metais pesados que são incorporados nos solos podem seguir diferentes vias de retenção ou transporte. Podem ficar retidos no solo, dissolvidos na solução do solo ou fixados por processos de adsorção, complexação e precipitação (Kabata-Pendias & Pendias, 2001). Também podem ser absorvidos pelas plantas e, assim, ser incorporados na cadeia trófica ou podem passar para o ar por volatilização ou mover-se para águas superficiais ou subterrâneas (Accioly & Siqueira, 2000).

Existem algumas vias de intoxicação do homem através do solo contaminado, podendo se ingestão de solo, contato dérmico e inalação. A ingestão e a inalação do ar são as principais vias de introdução do chumbo e cádmio no organismo humano (Santos, 2011). Os metais pesados são altamente tóxicos, possuem a característica de persistência no ambiente, são bioacumuláveis na cadeia alimentar, uma vez dentro do corpo do homem não irão trazer

nenhum benefício, pois não tem função biológica, e sim malefícios à saúde (Andrade; Moraes, 2013).

A exposição humana aos metais pesados, além do aparecimento de câncer, tem mostrado alguns efeitos toxicológicos que incluem, entre outros, imunotoxicidade, neurotoxicidade e efeitos teratogênicos (Azevedo et al., 2001). Outros efeitos adversos à saúde humana por metais pesados são variados e dependem do tipo de contaminante, da concentração, do tempo de exposição e da susceptibilidade do indivíduo (Carvalho et al., 1991). As crianças estão particularmente mais vulneráveis ao envenenamento por metais, uma vez que nesta fase da vida o cérebro e o sistema nervoso ainda estão em formação e, por estarem mais vulneráveis a ingestão de materiais perigosos devido ao seu comportamento. Além disso, as crianças têm uma maior taxa de absorção e sensibilidade da hemoglobina aos metais pesados em relação aos adultos (Hammond, 1982).

Embora incipientes, estudos estão sendo realizados para monitorar essas áreas de disposição final de resíduos sólidos, afim de avaliar o risco ecológico e a saúde humana devido a exposição aos metais pesados presente no solo, como um estudo realizado por Eze et al., (2020) em lixão da Nigéria.

A avaliação de risco é o processo de determinação e de estimativa da probabilidade de ocorrência de um efeito adverso, em uma pessoa, grupos de pessoas, plantas, animais e/ou na ecologia de uma área específica que esteja exposta a uma substância química (NEPC, 2013). Essa avaliação representa um instrumento importante para o gerenciamento de áreas contaminadas, sendo um conjunto de ações que possibilita identificar e caracterizar os impactos causados pela contaminação, a fim de auxiliar a tomada de decisão quanto à estratégia de remediação mais adequada ou restrição de uso, objetivando a redução de riscos à população e ao meio ambiente (CCME, 1997). A tomada de decisão sobre o modo de intervenção envolve o julgamento do grau de risco a que estão submetidos a população e o ambiente (DEFRA, 2004).

O presente estudo tem o objetivo de estimar e qualificar o nível de contaminação do solo por metais pesados usando diferentes índices de contaminação e de riscos ecológicos e à saúde humana associados a metais pesados em lixão desativados.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

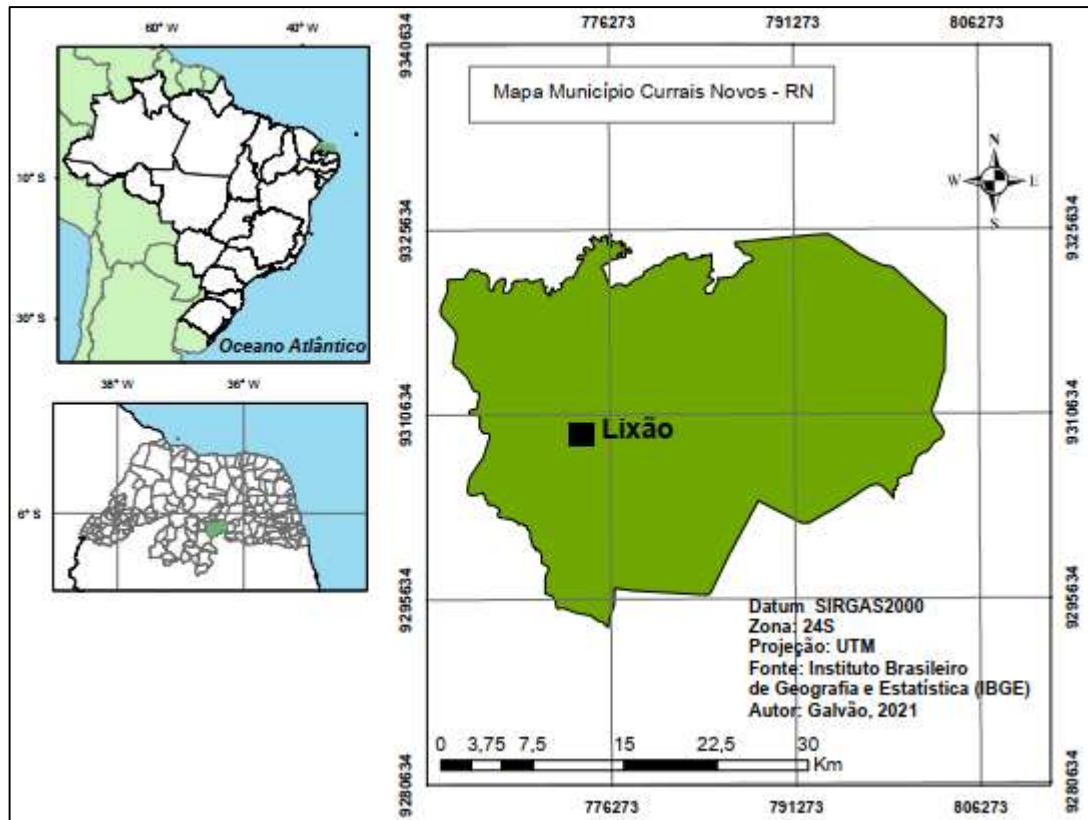
2.1 Área de Estudo

A área de estudo é um lixão desativado há nove anos, até o momento da coleta, que recebeu resíduos sólidos urbanos por cerca de 50 anos. O lixão que possui uma área de 123 hectares e está localizado no município de Currais Novos sob as coordenadas 6°16'47.50" S e 36°31'7.35" O na região do Seridó do estado do Rio Grande do Norte (Figura 1). Em 2021, a população era de 45.022 habitantes no município (IBGE,2021).

O clima da região é classificado como do tipo BSh que predomina o clima semiárido, com temperatura média anual em torno de 27,5 °C (Alvares et al., 2013). O período chuvoso ocorre de fevereiro a abril e a média anual de umidade relativa do ar é de 64% (SEMARH, 2011). O solo predominante é o Neossolo Litólico (Andrade, 2017), que tem como características fertilidade natural alta, textura argilo/arenosa, argilosa ou arenosa, relevo plano, medianamente profundos imperfeitamente a moderadamente drenados (EMBRAPA, 2013).

O município não conta com o serviço de coleta seletiva (SNIS, 2019), o que acarreta na disposição dos resíduos sólidos sem qualquer tratamento prévio, podendo receber qualquer tipo de resíduo, como tóxicos e infecciosos. Além disso, uma prática comum aos lixão da região é a queima dos resíduos a céu aberto (essa atividade é realizada para diminuir o volume), que pode resultar na emissão de substâncias tóxicas no ar em razão da queima de plásticos e de outros materiais. A fumaça tóxica comumente aumenta a concentração de alguns poluentes como metais pesados (mercúrio, chumbo, crômio, cádmio, etc.), além de outros (Rim-Rukeh, 2014).

Figura 1 – Localização da área do lixão no município de Currais Novos/RN.



Fonte: Elaborado pelo autor (2022)

2.2. Coleta e análise das amostras

Amostras deformadas de solo (até 40 cm de profundidade) foram previamente coletadas e analisadas como descrito em Marinho (2020). Cada amostra composta foi formada por cinco amostras simples coletada em caminho percorrido aleatoriamente. Os mesmos procedimentos foram realizados para coleta em área de solos naturais do local com cobertura vegetal preservada próxima ao lixão com a mesma classe de solo indicada para o ponto de localização do lixão (EMBRAPA, 2013), para fins de comparação e conhecimento do grau de contaminação da área do lixão.

Primeiro foi feito o pré-tratamento do solo, para obter a Terra Fina Seca em Estufa (TFSE): o solo foi seco em estufa à 105° C até peso constante, destorroado e peneirado com peneira de 2 mm de abertura (Teixeira et al., 2017).

Após pré-tratamento das amostras, foram analisados os teores dos seguintes metais pesados: Cobre (Cu), Níquel (Ni), Chumbo (Pb), Zinco (Zn), Cromo (Cr) e Manganês (Mn). As digestões das amostras foram realizadas pelo método 3051A (USEPA, 1998). Nesse procedimento, a abertura das amostras foi realizada em sistema fechado por 12 minutos na

rampa de temperatura, tempo necessário para atingir 180 °C, mantendo-se essa temperatura por mais dez minutos. Em seguida, após resfriamento, as amostras foram vertidas para balões de 50 ml, sendo o volume dos balões preenchidos com água destilada. Para leitura dos metais, foi utilizado espectrofotômetro de absorção atômica.

2.3. Avaliação dos índices de poluição de metais pesados

Os valores de referência (VRQ) dos metais pesados para o estado do Rio Grande de Norte considerados neste trabalho foram definidos por Preston et al., (2014) (Tabela 1).

Além do VRQ para o estado do RN, o solo analisado de área próxima ao lixão serviu como controle/referência local (Tabela 1).

Como foi encontrada pouca variação nos teores de metais pesados no solo local quando comparado ao VRQ para o estado do RN, foram escolhidos os VRQ definidos por Preston et al., (2014) para todos os metais, com exceção do Mn, que como não foi definido por Preston et al., (2014), será considerado o teor de solo local. Isso facilitará a comparação do resultado gerado nesse estudo com outros lixões que serão estudados no futuro.

Tabela 1 - Valores de referência de qualidade (VQR) para os metais pesados analisados no solo do lixão de Currais Novos/RN (em mg kg⁻¹)

Cr	Cu	Ni	Pb	Zn	Mn
Solo Local					
31,93	12,87	19,63	10,27	27,27	172,8
Preston et al., (2014)					
30,94	13,69	19,84	16,18	23,85	*

Fonte: Elaborado pelo autor (2022)

(*): Valor não determinado

2.3.1. Índice de poluição por metal (IMP)

O índice de poluição por metais foi aplicado para determinar o grau de contaminação do solo por metais pesados. Essa metodologia permite verificar em que ordem de grandeza o nível natural dos metais foi excedido, e tem por finalidade estimar a contribuição antropogênica desses elementos no solo. Ele é obtido a partir da razão entre a concentração de cada metal (Cn) e seu VRQ (Bn). A equação (1) usada foi proposta por Usero et al. (1997).

Equação (1)

$$\text{Imp} = Cn/Bn$$

A classificação desse índice (Tabela 2), foi interpretada segundo Hakanson (1980).

Tabela 2 - Classificação dos parâmetros de grau de poluição – Imp

Intensidade de poluição	Acumulação no solo
Baixa Contaminação	< 1
Contaminação Moderada	1 – 3
Contaminação Considerável	3 – 6
Contaminação Muito Alta	> 6

Fonte: Hakanson (1980)

2.3.2. Índice de Geoacumulação (Igeo)

O índice de geoacumulação determina a intensidade da contaminação do solo. É uma medida quantitativa de poluição causada por metais pesados no ambiente e foi calculado pela equação (2) proposto por Muller (1969). Onde (Cn) é a concentração dos elementos medidos, (Bn) é o VRQ e a constante 1,5 foi introduzida para minimizar a variação do valor de fundo.

Equação (2)
$$I_{geo} = \log_2 (C_n / 1,5 \times B_n)$$

A comparação é baseada em sete classes de qualificação (Tabela 3), de acordo com Qingjie et al., (2008); e Duodu et al., (2011).

Tabela 3 - Classificação dos parâmetros de grau de poluição – Igeo

Intensidade de poluição	Acumulação no solo
Não poluído	< 0
Pouco a moderadamente poluído	0 – 1
Moderadamente poluído	1 – 2
Moderado a fortemente poluído	2 – 3
Fortemente poluído	3 – 4
Forte a muito fortemente poluído	4 – 5
Muito fortemente poluído	> 5

Fonte: Qingjie et al., (2008); e Duodu et al., (2011)

2.3.3. Índice de carga de poluição (PLI)

O índice de carga de poluição foi calculado para entender o comportamento dos metais no meio ambiente (Gonçalves et al., 2013). Ele representa o número de vezes que a concentração do metal no solo excede o valor de referência, e fornece uma indicação cumulativa do nível geral de toxicidade em uma amostra particular (Martínez et al., 2016). O índice foi

calculado pela equação (3), onde Imp é o índice de poluição por metais calculado anteriormente e Cn é a concentração de cada metal analisado.

Equação (3)
$$PLI = (\text{ImpCr} \times \text{ImpNi} \times \text{ImpPb} \times \text{ImpCu} \times \text{ImpZn} \times \text{ImpMn})^{1/6}$$

O PLI maior que um indica poluição enquanto menor que um indica nenhuma poluição (Tomilson et al.,1980) (Tabela 4).

Tabela 4 - Classificação dos parâmetros de grau de poluição – PLI

Intensidade de poluição	Acumulação no solo
Não poluído	< 1
Poluído	> 1

Fonte: Tomilson et al., (1980)

2.4. Métodos de Avaliação de risco a saúde Ecológica e Humana

2.4.1. Índice de Potencial risco ecológico

O potencial de risco ecológico RI foi calculado de acordo com as equações (4) e (5) (Håkanson, 1980; Hilton et al., 1985; Wang et al., 2011). Onde Er é o potencial de risco ecológico de um contaminante, (Ti) é a resposta tóxica dos metais e Imp é o índice de poluição por metal calculado anteriormente.

Equação (4)
$$Er = Ti \cdot \text{Imp}$$

Equação (5)
$$RI = \sum Er$$

Os limites utilizados para interpretação dos valores de Ri e Er serão os expressos na Tabela 5 (Håkanson, 1980). A resposta tóxica de cada metal está na Tabela 6.

Tabela 5 - Classificação Er e Ri

Er	Potencial risco ecológico	Ri	Riscos ecológico para os metais pesados
< 40	Baixo	< 150	Baixo
40 - 80	Moderado	150 - 300	Moderado
80 - 160	Considerável	300 - 600	Considerável
160 - 320	Alto	> 600	Muito Alto
> 320	Muito alto		

Fonte: Hakanson (1980)

Tabela 6 - Resposta Tóxica (Ti) para Metais Pesados

Metal	Resposta Tóxica
Cr	2
Cu	5
Ni	5
Pb	5
Zn	1
Mn	1

Fonte: Eze et al., (2020)

2.4.2. Ingestão de metais pesados através do solo

A dose de exposição por ingestão de solo (AD_{Iing}) foi estimada de acordo com a equação (6) (ATSDR, 2001).

$$\text{Equação (6)} \quad \text{AD}_{Iing} = \frac{C \times \text{TI} \times \text{FE} \times 10^{-6}}{\text{PC}}$$

Onde:

AD_{Iing} = Dose de exposição por ingestão de solo (mg kg⁻¹ dia⁻¹);

C = Concentração do contaminante (mg kg⁻¹);

TI = Taxa de ingestão de solo (mg dia⁻¹);

FE = Fator de exposição (sem unidade);

PC = Peso corporal (kg);

Um fator de conversão de 10⁻⁶ é necessário para converter a concentração do contaminante do solo (C) de mg kg⁻¹ para mg mg⁻¹.

Para crianças, calcula-se uma taxa de ingestão de solo de 200mg diários, e em adultos, a ingestão de solo é de 100 mg dia⁻¹. Em relação ao peso corporal, foi utilizada uma média aproximada de 16kg para crianças de um a seis anos e 70kg para adultos (ATSDR, 2001). O fator de exposição adotado neste trabalho, foi de sete dias/semana, durante 50 anos, considerando que a exposição humana ocorreu durante todo tempo que o lixão permaneceu ativo.

2.4.3. Inalação de metais pesados através de partículas do solo

Para estimar a dose de exposição por inalação é determinada a frequência de ventilação. Esta é expressa como o volume por minuto, ou seja, o volume de ar que é inalado em um minuto (litros/minuto). A taxa de inalação de ar (m³ dia⁻¹), pode ser identificada na Tabela 7. Em

relação ao peso corporal, foi utilizada uma média aproximada de 16kg para crianças de um a seis anos e 70kg para adultos (ATSDR, 2001). O fator de exposição adotado, foi de sete dias/semana, durante 50 anos, considerando que a exposição humana ocorreu durante todo tempo que o lixão permaneceu ativo.

A dose de exposição por inalação (AD_{Iina}) foi estimada de acordo com a equação (8) (ATSDR, 2001).

$$\text{Equação (8)} \quad \text{AD}_{Iina} = \frac{C \times TI \times FE}{PEF \times PC}$$

Onde:

AD_{Iina} = Dose de exposição por inalação de ar (mg kg⁻¹ dia⁻¹);

C = Concentração do contaminante (mg kg⁻¹);

TI = Taxa de inalação de ar (m³ dia⁻¹);

FE = Fator de exposição (sem unidade);

PEF = Fator de emissão de partícula (1,36x10⁹);

PC = Peso corporal (kg); Fonte:

Tabela 7 - Valores padronizados da Taxa de inalação

Média aproximada	
Idade	Taxa de Inalação (m ³ dia ⁻¹)
< 1 ano	4,5
Criança - 6 - 8 anos	10
Menina - 12 - 14 anos	12
Menino - 12 - 14 anos	15
Mulher - 19 - 65+ anos	11,3
Homem - 19 - 65+ anos	15,2

Fonte: ATSDR, (2001)

2.4.4. Contato dérmico com o solo

A dose de absorção dérmica por contato com solo contaminado (AD_{Ider}) foi estimada de acordo com a equação (9) (ATSDR, 2001).

$$\text{Equação (9)} \quad \text{AD}_{Ider} = \frac{C \times A \times BF \times FE \times 10^{-6}}{PC}$$

Onde:

ADId_{der} = Dose de absorção dérmica por contato com solo ($\text{mg kg}^{-1} \text{ dia}^{-1}$);

C = Concentração do contamine (mg kg^{-1});

A = Quantidade total de solo aderido à pele (mg);

FB = = Fator de biodisponibilidade (sem unidade);

FE = Fato de exposição (sem unidade);

PC = Peso corporal (kg).

Um fator de conversão de 10^{-6} é necessário para converter a concentração do contaminante do solo (C) de mg kg^{-1} para mg mg^{-1} .

A quantidade total de solo aderido na pele (mg) pode ser identificada na Tabela 8, onde é estimado multiplicando-se a área exposta (cm^2) pela concentração de aderência do solo de $0,07 \text{ mg cm}^2$ para adultos e $0,2 \text{ mg cm}^2$ para crianças. Em relação ao peso corporal, foi utilizada uma média aproximada de 16kg para crianças de um a seis anos e 70kg para adultos. O Fator de biodisponibilidade foi considerado 0,1 (ATSDR, 2001). O fator de exposição adotado, foi de sete dias/semana, durante 50 anos, considerando que a exposição humana ocorreu durante todo tempo que o lixão permaneceu ativo.

Tabela 8 - Valores padronizados de exposição dérmica ao solo

Idade /anos	Peso Corporal (kg)	Área total da superfície (cm^2)	% da área exposta	Área exposta (cm^2)	Total do solo aderido (mg)
0-1	10	3.500	30	1.050	210
1-11	30	8.750	30	2.625	525
12-17	50	15.235	28	4.266	299
18-70	70	19.400	24	4.656	326

Fonte: ATSDR, (2001)

2.4.5. Quociente de risco (HQ) e índice de risco (HI)

O quociente de risco e o índice de risco foram avaliados de acordo com o método descrito por Cao et al., (2015) e Man et al., (2010) nas equações (10) e (11), respectivamente, onde ADI são as vias de exposição calculadas anteriormente.

Equação (10)
$$\text{HQ} = \text{ADI}/\text{RfD}$$

Equação (11)
$$\text{HI} = \sum \text{HQ}$$

HQ e / ou HI menor que 1 indica que não há efeitos não cancerígenos. Por outro lado, valores maiores que 1 indicam probabilidade de efeitos não cancerígenos (USEPA, 2015). A avaliação do quociente de risco para as pessoas que vivem dentro da área de estudo foi avaliada usando a dose de referência RfD (Tabela 9) estabelecida pelo Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos (USEPA, 2015). O índice de risco (HI) foi calculado para avaliar o risco potencial de efeitos adversos à saúde por metais pesados no solo do lixão estudado.

Tabela 9 - Doses de referência - para não cancerígenos (em mg k⁻¹)

Metal	RfD oral	RfD dermal	RfD inalação
Cr	0,003	0,000015	0,0001
Ni	0,02	0,0056	0,00009
Pb	0,0035	0,00042	0,00352
Zn	0,3	0,075	0,3
Mn	0,14	0,0008	0,00005
Cu	0,04	0,012	0,04

Fonte: Laniyan & Adewumi, (2019); Battsengel et al., (2020)

2.4.6. Risco de câncer (CR)

O CR foi avaliado multiplicando a ingestão média diária em (mg kg⁻¹ dia⁻¹) por um fator de inclinação do câncer CSF (Tabela 10). O CR causado por um potencial cancerígeno a exposição ao longo da vida foi avaliada usando a equação (12) enquanto o risco total de câncer (CRt) ao longo da vida foi calculado usando a equação (13), onde ADI são as vias de exposição, recalculadas alterando-se o fator de exposição (FE) considerando dose máxima, ou seja, o período de tempo é a vida toda, que de acordo com a ATSDR (2001), são 70 anos.

$$\text{Equação (12)} \quad \text{CR} = \text{ADI} \times \text{CSF}$$

$$\text{Equação (13)} \quad \text{CRt} = \sum \text{CR}$$

O risco carcinogênico é a probabilidade de desenvolver câncer devido à exposição ao longo da vida a um carcinógeno específico. Para carcinógenos, a faixa de risco aceitável ou tolerável é entre 1×10^{-6} (1 em 1.000.000) e 1×10^{-4} (1 em 10.000) (USEPA, 2015).

Tabela 10 - Fatores de declive do câncer - para risco carcinogênico (em mg kg⁻¹)

Metal	CSF oral	CSF dermal	CSF inalação
Cr	0,5	20	41
Ni	0,91	-*	-*
Pb	0,0085	-*	0,042
Zn	-*	-*	-*
Mn	-*	-*	-*
Cu	-*	-*	-*

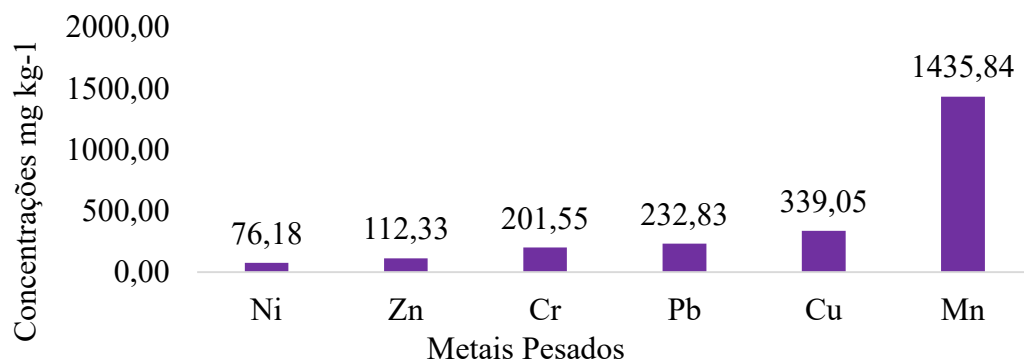
Fonte: Laniyan & Adewumi, (2019); Eze et al., (2020); Battsengel et al., (2020)

(*): Valor não determinado

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

As concentrações médias de metais pesados no solo do lixão variaram de 76,18 a 1435,84 mg kg⁻¹ (Marinho, 2020) (Gráfico 1). O metal pesado em menor concentração é o Ni, e em maior, o Mn. A ordem sequencial das concentrações médias dos metais é Mn > Cu > Pb > Cr > Zn > Ni.

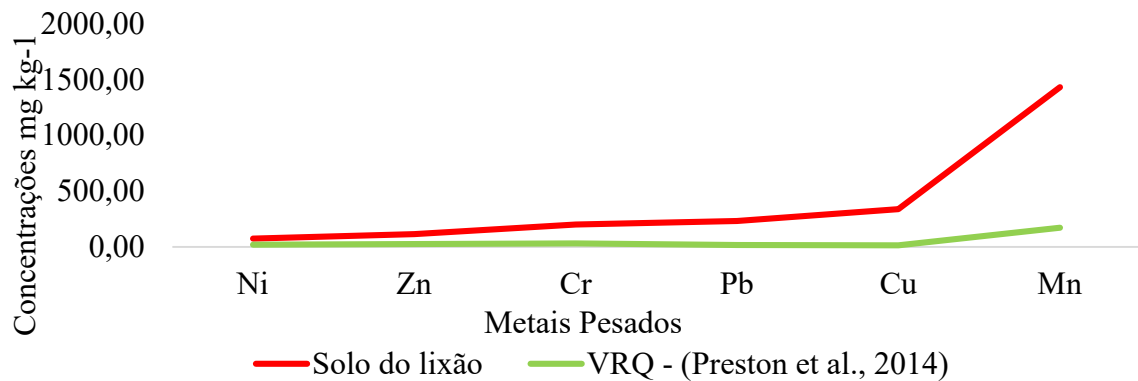
Gráfico 1. Concentrações de Níquel (Ni), Zinco (Zn), Cromo (Cr), Chumbo (Pb), Cobre (Cu) e Manganês (Mn) em solos de lixão desativado no município de Currais Novos/RN.



Fonte: Elaborado pelo autor (2022)

As médias das concentrações encontradas no solo do lixão mostraram-se elevadas em relação aos valores de referência adotados, evidenciando a contaminação do solo por esses metais. (Gráfico 2).

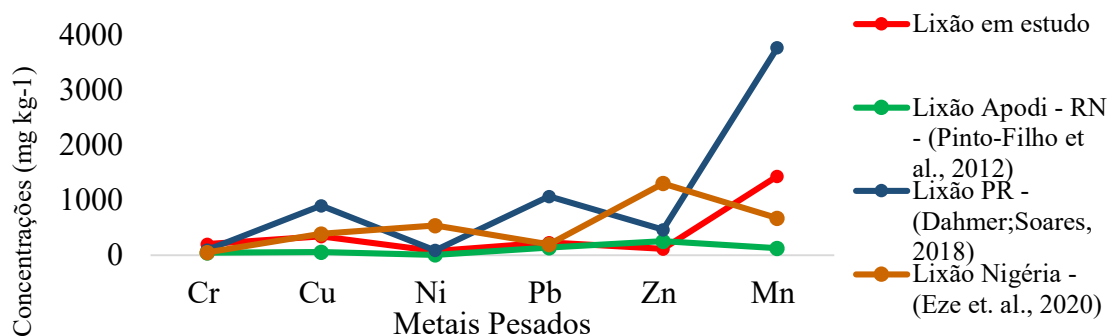
Gráfico 2. Concentrações de metais pesados: Solo lixão x VRQ.



Fonte: Elaborado pelo autor (2022)

Resultado semelhante foi encontrado em solo de lixão em Apodi – RN, onde foram observadas concentrações de 43,5 mg kg⁻¹, 57,6 mg kg⁻¹, 8,9 mg kg⁻¹ e 139 mg kg⁻¹ 256,9 mg kg⁻¹ e 128,4 mg kg⁻¹ respectivamente para os metais, Cr, Cu, Ni, Pb, Zn e Mn (Gráfico 3) por (Pinto-Filho et al., 2012). Em lixão no Paraná, concentrações foram mais elevadas: 99,09 mg kg⁻¹, 897,48 mg kg⁻¹, 90,26 mg kg⁻¹, 1068,05 mg kg⁻¹, 461,20 mg kg⁻¹ e 3767,50 mg kg⁻¹ respectivamente para os metais, Cr, Cu, Ni, Pb, Zn e Mn (Dahmer; Soares, 2018) (Gráfico 3). Essa diferença pode estar associada ao tipo de resíduo depositado no local, como também fator natural, clima. Em regiões úmidas, há uma tendência de formação de solos mais intemperizados que os das regiões áridas/semiáridas. Na Nigéria, onde grande parte dos resíduos vêm da agricultura, principalmente o arroz, foram encontradas concentrações de 51,8 mg kg⁻¹, 389,8 mg kg⁻¹, 540,30 mg kg⁻¹, 195,30 mg kg⁻¹, 1304,30 mg kg⁻¹, e 671 mg kg⁻¹ respectivamente para Cr, Cu, Ni, Pb, Zn e Mn (Eze et al., 2020) (Gráfico 3).

Gráfico 3. Concentrações entre teores de metais pesados encontrados no solo de lixões localizados em outras regiões e do presente estudo.



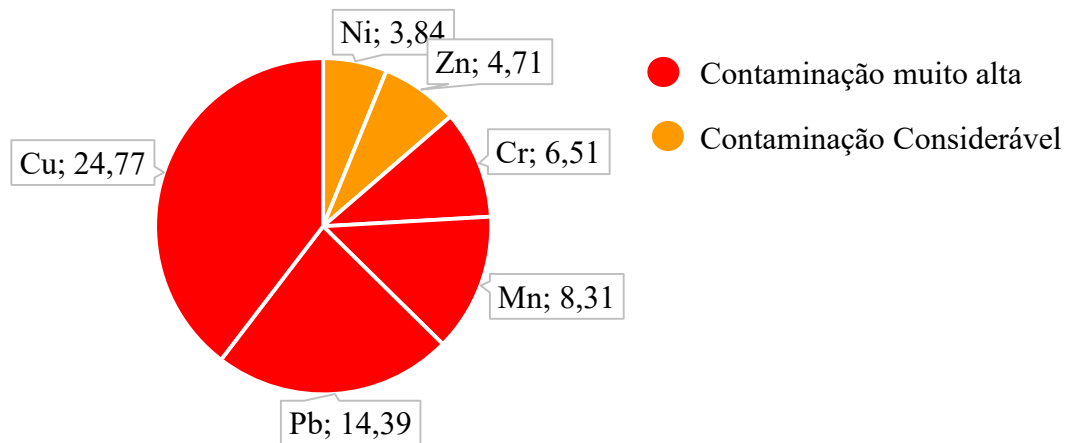
Fonte: Elaborado pelo autor (2022)

3.1. Índice de poluição por metais (IMP)

De acordo com os resultados das análises, os valores para IMP mostraram que o solo do lixão estudado possui contaminação muito alta para Cr, Cu, Pb e contaminação considerável para Ni e Zn em relação a Preston et. al., (2014) e contaminação muito alta para Mn em relação a vegetação nativa (Gráfico 4).

Um estudo feito na Nigéria, Eze et al., (2020) observaram contaminação moderada para Pb, considerável para Mn e mutio alta para Cu, Ni, e Zn.

Gráfico 4. Índice de poluição por metais pesados (IMP) de solo do lixão desativado de Currais Novos/RN.



Fonte: Elaborado pelo autor (2022)

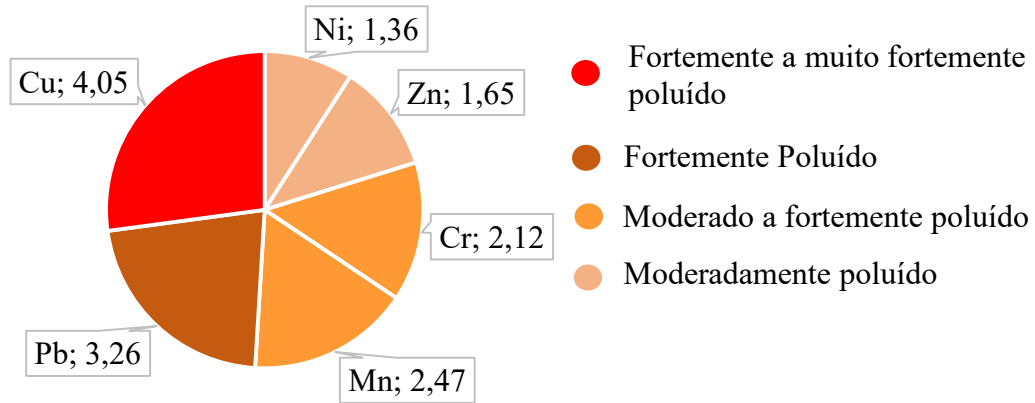
3.2. Índice de Geoacumulação

Os resultados do índice de geoacumulação (Igeo) de metais pesados no solo do lixão indicaram poluição fortemente a muito fortemente poluído por Cu, fortemente poluído por Pb moderado a fortemente poluído por Cr, e moderadamente poluído por Ni e Zn em relação a Preston et al., (2014) e moderado a fortemente poluído por Mn em relação a vegetação nativa (Gráfico 5).

Na Nigéria, Eze et al., (2020) observaram contaminação moderada para Cr, fortemente poluído por Zn e Mn e muito fortemente poluído por Cu, Ni e Pb.

Em outro estudo feito em lixão na Nigéria (Ogundele et al., 2019) os resultados de Igeo de Cr e Mn foram não poluídos a moderadamente poluído. Cu e Ni foram classificados como moderadamente a fortemente poluído, enquanto o Igeo de Pb foi moderadamente poluído.

Gráfico 5. Índice de Geoacumulação (Igeo) de solo do lixão desativado de Currais Novos/RN.



Fonte: Elaborado pelo autor (2022)

A alta concentração desses metais podem trazer prejuízos à bacia hidrográfica em que o lixão se encontra. Devido a dinâmica do solo, existe o risco de carreamento do solo contaminado para áreas adjacentes, como ecossistemas aquáticos no período chuvoso, causando acúmulo de metais na água e no sedimento (Gonçalves et al., 2005). Outro risco refere-se à possibilidade de bioacumulação desses metais em um organismo, caracterizada quando há um aumento na concentração de metais, ao longo de pelo menos duas posições tróficas em uma cadeia alimentar (Santana et al. 2017). Em relação a vegetação, embora o Cu, Ni, Zn e Mn sejam importantes micronutrientes, uma concentração muito alta pode ser tóxica causando problemas como necrose e redução no crescimento do sistema radicular (Soares et al., 2000), necrose das folhas, desfolhamento precoce e diminuição do crescimento aéreo da planta (Grassi-Filho, 2005). A contaminação do solo por chumbo pode resultar em perda de vegetação e toxidez direta para microrganismos, animais e humanos (Huang & Cunningham, 1996; Kabata-Pendias & Pendias, 2000). A do cromo pode resultar em alterações no processo de germinação (Costa, 2020).

3.3. Índice de Carga de Poluição (PLI)

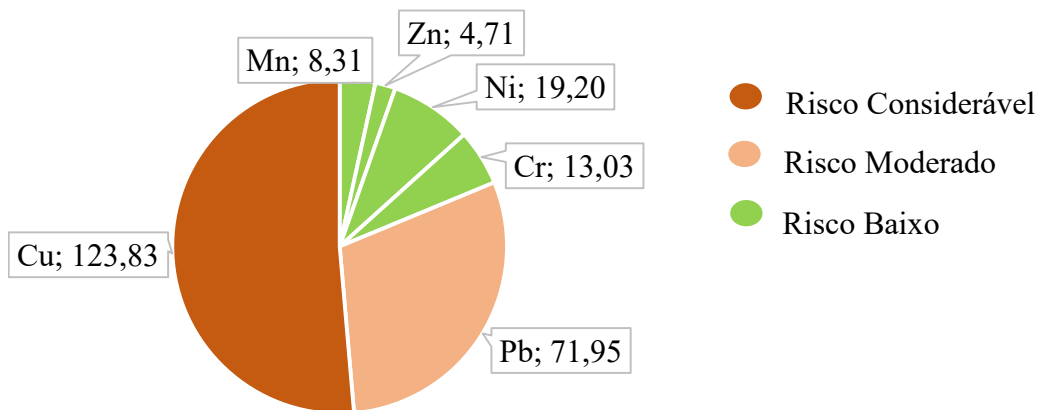
O resultado do índice de carga de poluição (PLI) no solo do lixão estudado indicou valor de 8,39, que de acordo com Tomilson et al.,(1980) valores maiores que um classifica o solo como poluído. Para estudo feito na Nigéria, Eze et al. (2020) relataram PLI com valor maior que 3, também classificando o solo como poluído.

3.4. Índice de potencial risco ecológico

Os valores Er indicaram que os metais exibiram de baixo risco a risco considerável, sendo risco considerável para Cu, risco moderado para Pb e risco baixo para Cr, Ni, Zn e Mn (Gráfico 6). Resultando em um RI foi Moderado.

Eze et al. (2020) relataram em seus estudos que o risco ecológico no solo do lixão estudado na Nigéria, variou de baixo risco a risco significativamente alto. Ficando baixo risco ecológico para Cr e Mn, e significativamente alto para Cu, Pb, Zn e Ni.

Gráfico 06. Índice de potencial risco ecológico do solo contaminado do lixão de Currais Novos/RN.

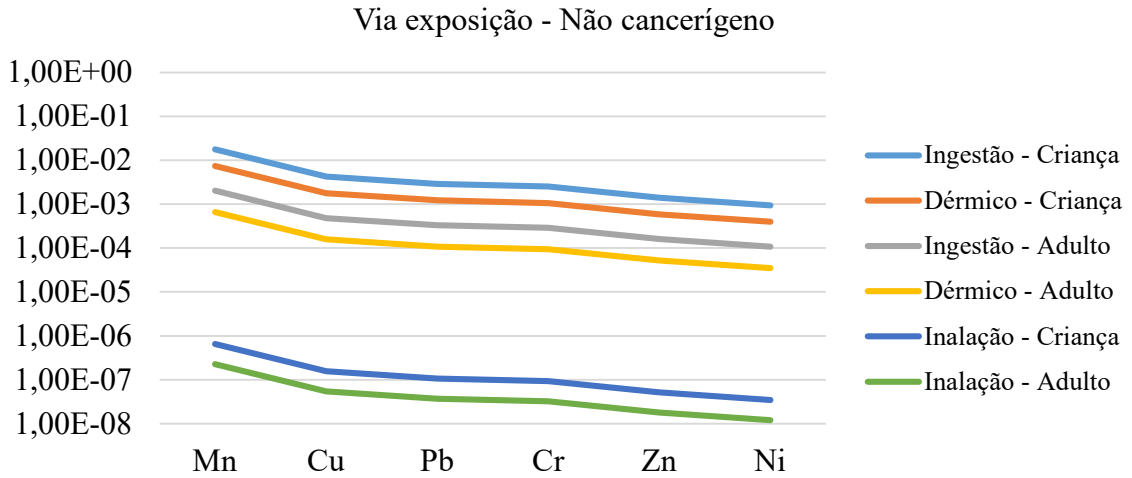


Fonte: Elaborado pelo autor (2022)

3.5. Doses de exposição das vias: Ingestão, Inalação e Contato Dérmico

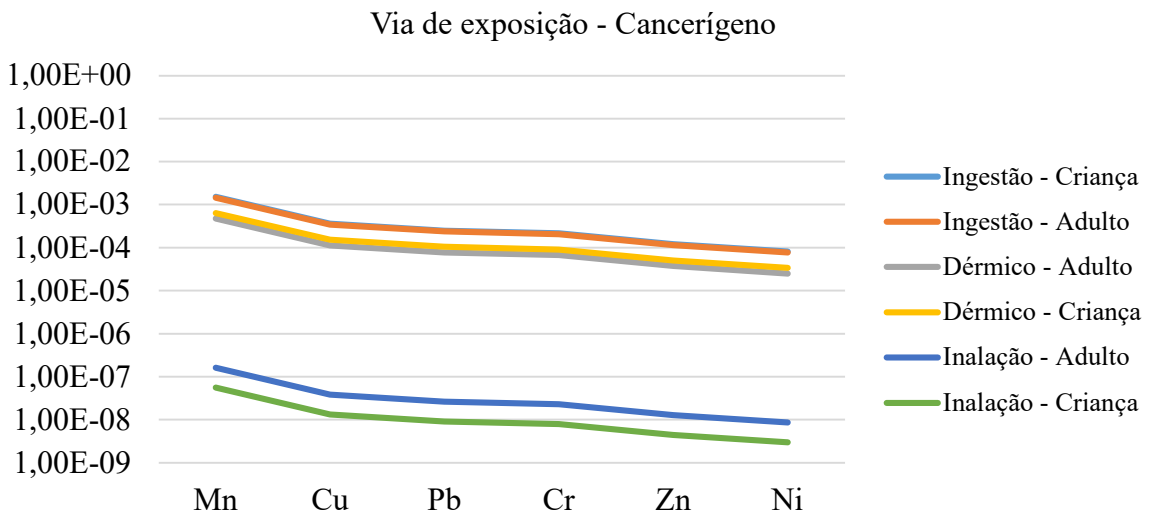
O resultado das doses média diária (ADI) de metais pesados no solo do lixão, por meio de ingestão, inalação e as vias dérmicas para não cancerígenos (Gráfico 7) e para cancerígenos (Gráfico 8) variam a depender do metal.

Gráfico 7. Risco de exposição a efeitos não cancerígeno por diferentes vias de exposição ao solo contaminado do lixão de Currais Novos/RN.



Fonte: Elaborado pelo autor (2022)

Gráfico 8 – Risco de exposição a efeitos cancerígenos por diferentes vias de exposição ao solo contaminado do lixão de Currais Novos/RN.



Fonte: Elaborado pelo autor (2022)

Para não cancerígenos, a ADI mostrou que a via mais exposta é através da ingestão de Mn por crianças. O caminho mínimo de exposição é por inalação de Ni por adultos.

Para os cancerígenos, a ADI também mostrou que a via mais exposta é através da ingestão de Mn e Cu por crianças. O caminho mínimo de exposição é por inalação de Ni e Zn por crianças.

Eze et al., (2020) constataram em lixão na Nigéria que a maior via de exposição é por ingestão de Pb em crianças e a menor é por inalação. ADI para avaliação de risco cancerígeno mostrou que a ingestão foi a maior via de exposição com Pb.

As vias de exposição são os meios pelos quais os contaminantes entram no organismo humano. A exposição por ingestão de solo, pode ocorrer por seu consumo despercebido através das mãos ou da comida, por se levar à boca objetos sujos, ou pela ingestão de material não comestível (USEPA, 1998).

A exposição por inalação pode ocorrer pela emissão direta de gases e partículas de alguma instalação, pela volatilização de compostos que contaminam o solo, pela suspensão de pó e de partículas da superfície do solo (USEPA, 1998).

A adsorção dérmica de contaminantes presentes no solo depende de múltiplos fatores, entre outros: a área da pele exposta ao contaminante e a duração do contato (USEPA, 1998).

As crianças geralmente correm maior risco de exposição. Isso poderia ser devido as atividades de lazer, brincadeiras entre elas, e também o tamanho corporal pequeno e órgãos subdesenvolvidos (Verla et al. 2019). Socialmente, o lixão acaba atraindo pessoas desempregadas que, por não terem onde morar fazem da “catação” de resíduos um meio de sobrevivência, firmando moradias, o que acaba expondo as crianças aos contaminantes (Batista et al., 2010). Essa exposição nem sempre acaba após a desativação dos lixões, pois muitas vezes, a desativação se caracteriza pelo simples abandono da área, sem os devidos procedimentos técnicos necessários (Nogueira, 2015), favorecendo a entrada de crianças e da população em geral nessas áreas.

3.6. Quociente de risco (HQ) e índice de risco (HI)

Os resultados obtidos para quociente de risco (HQ) indicaram valores maiores que um somente na via dérmica para crianças por Cr e Pb. Todas as outras vias resultaram em valores menores que um (Gráfico 9). O (HI) indicou potencial geral de efeitos não cancerígenos nas vias dérmicas tanto para adultos, como crianças e via ingestão para crianças (Gráfico 10). Isso significa tanto a população infantil quando adulta, estão em risco de efeitos não cancerígenos.

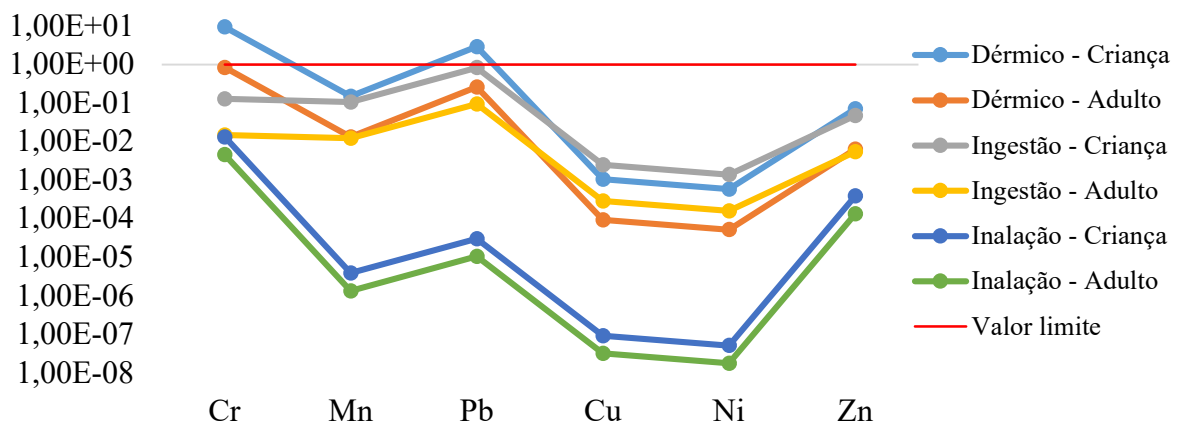
Eze et al. (2020) constataram que os resultados obtidos para quociente de risco (HQ) e índice de risco total (HI) para adultos e crianças no lixão estudado foi inferior a um apenas em via de inalação. Isso significa que tanto o adulto quanto a população infantil estavam em risco de efeitos não cancerígenos.

Um estudo realizado por Ogundele et al., (2019) indicou que para (HQ) de via dérmica para adultos e crianças os valores eram menores que um. No entanto, os valores de (HI) para

adultos e crianças por via dérmica foram maiores que um. Isso significa que tanto a população adulta e infantil estavam em risco de efeitos não cancerígenos.

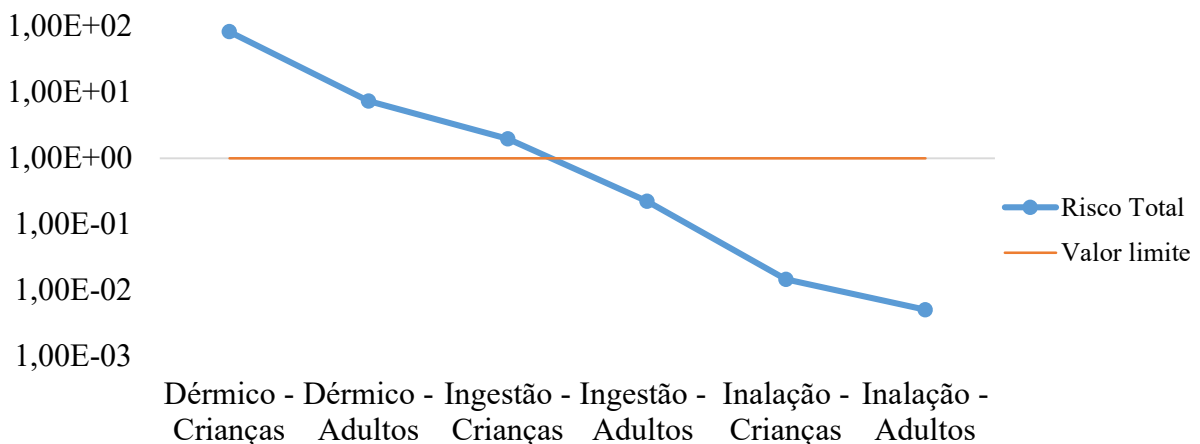
Após os resultados dos riscos, foi constatado que a via de exposição dérmica é o principal contribuinte para o risco não cancerígeno em crianças, seguido pelas vias de ingestão e inalação, sendo Cr o metal mais prejudicial.

Gráfico 9. Risco individual de efeitos não cancerígenos por diferentes vias de exposição ao solo contaminado do lixão de Currais Novos/RN.



Fonte: Elaborado pelo autor (2022)

Gráfico 10. Risco Total de efeitos não cancerígenos por diferentes vias de exposição ao solo contaminado do lixão de Currais Novos/RN.



Fonte: Elaborado pelo autor (2022)

3.7. Risco de Câncer (CR)

Os resultados obtidos para o risco de câncer de metal individual (CR) para inalação tanto para adultos como crianças estão dentro da faixa de risco regulamentada pela Agência de Proteção Ambiental dos EUA de 1×10^{-6} - 1×10^{-4} . O contato dérmico está fora da regulamentação aceitável para Cr, em adultos e crianças. A via de ingestão por Cr para crianças e adultos ficaram ligeiramente acima da regulamentação (Gráfico 11). O (CRt) calculado constatou risco de câncer para via dérmica e ingestão para adultos e crianças (Gráfico 12). Isso significa que tanto o adulto quanto as crianças estavam em risco de efeitos cancerígenos. O (CR) para Cu, Zn e Mn não foi calculado porque eles não tinham fatores de inclinação do câncer.

Para Eze et al., (2020), a via de exposição à ingestão é o principal contribuinte para o risco excessivo de câncer ao longo da vida, seguido pela via dérmica. A via de inalação é a que menos contribui para o risco de câncer.

Esse estudo mostra que nem sempre as vias mais expostas calculadas (ADI) para cada metal serão as principais responsáveis pelos riscos a saúde humana, vai depender de alguns fatores como a toxicidade do metal analisado.

De acordo com os resultados obtidos, foi observado que as crianças correm mais risco que os adultos. A via de exposição dérmica é o principal contribuinte para o risco excessivo de câncer ao longo da vida, seguido pelas vias de ingestão e inalação. Considerando o risco, a decisão para uso futuro do lixão é limitada, não podendo ser a área destinada por exemplo para recreação ou cultivo agrícola.

Gráfico 11. Risco individual de efeitos cancerígenos por diferentes vias de exposição ao solo contaminado do lixão de Currais Novos/RN.

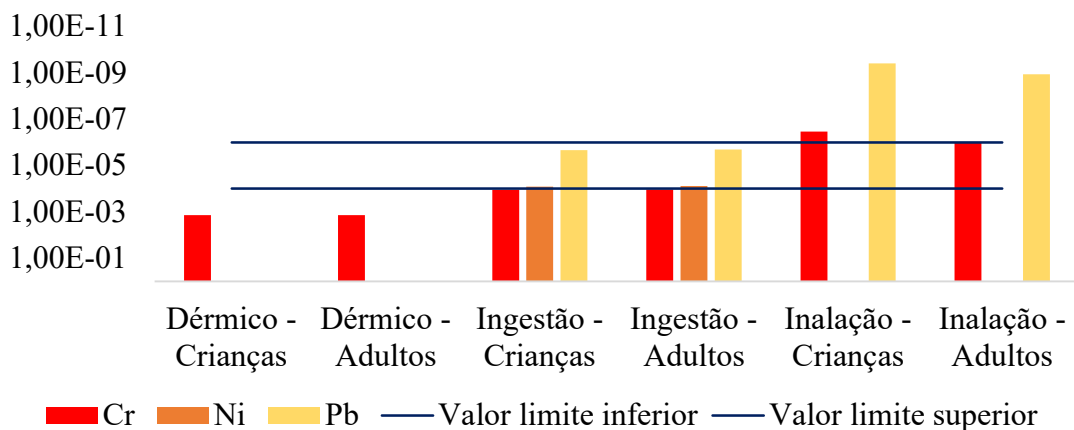
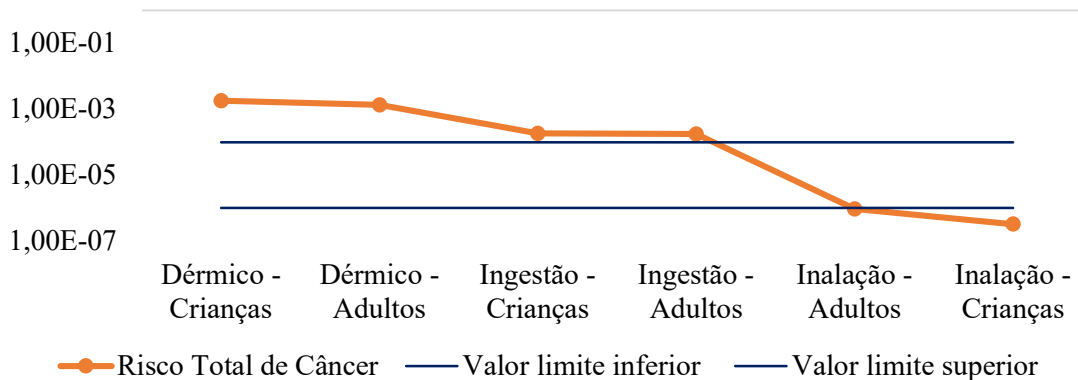


Gráfico 12. Risco total de efeitos não cancerígenos por diferentes vias de exposição ao solo contaminado do lixão de Currais Novos/RN.



Fonte: Elaborado pelo autor (2022)

4. CONCLUSÃO

A disposição final de resíduos sólidos no lixão desativado no município de Currais Novos/RN levou à contaminação dos solos da região em virtude da presença de metais pesados acima dos valores regulatórios para o estado. Em consequência, foram identificados riscos ecológicos e também a saúde humana, inclusive a possibilidade de câncer na população exposta aos solos contaminados com metais pesados.

O solo foi classificado como poluído com potencial risco ecológico classificado em risco considerável para Cu, moderado para Pb e baixo para os demais metais. Em relação a risco a saúde humana, foi constatado tanto risco não cancerígeno como cancerígeno para adultos e crianças expostas ao solo contaminado.

Esse estudo sugere que as crianças correm mais risco que os adultos. As vias mais expostas calculadas (ADI) para cada metal não necessariamente serão as principais responsáveis pelos riscos a saúde humana, vai depender de alguns fatores como a toxicidade do metal analisado.

Essas evidências demonstram a importância de procedimentos técnicos necessários não só no período de ativação do lixão, mas também após a desativação. Além disso, os resultados podem auxiliar na tomada de decisão em relação a projetos para uso futuro e também pode auxiliar em decisões de política pública.

REFERÊNCIAS

Accioly A.M.A & Siqueira J.O. **Contaminação Química e Biorremediação do Solo**. 2000. In: Novais R.F., Alvarez V.V.C.H., Schaefer C.E.G.R. (eds.) *Tópicos em Ciência do Solo*, Viçosa, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, p. 300-307

Afonso, J. C. **Manganês no Brasil: descoberta, extração, consumo e comercialização numa perspectiva histórica**. 2019. *Química Nova*, Rio de Janeiro, Sociedade Brasileira de Química (SBQ). p. 1173-1183

Alberte, E. P. V.; Carneiro, A. P.; Kan, L. **Recuperação de áreas degradadas por disposição de resíduos sólidos urbanos**. 2005. *Diálogos & Ciência - Revista Eletrônica da Faculdade de Tecnologia e Ciências de Feira de Santana*. Ano III.

Alvares, C. A.; Stape, J. I.; Sentelhas, P. C. M. G.; Leonardo, J., & Sparovek, G. **Köppen's climate classification map for Brazil**. 2013 *meteorologische zeitschrift*, 22 (6). p. 711-728.

Andrade, J. M. D. **Perdas de qualidade e contaminação do solo em Minas de Scheelita no semiárido tropical**. 2017. Dissertação (Pós Graduação). Engenharia Sanitária, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal .p.47

Andrade, M. F.; Moraes, L. R. S. **Contaminação por chumbo em Santo Amaro desafia décadas de pesquisas e a morosidade do poder público**. 2013. *Ambiente & Sociedade*, [S.L.], v. 16, n. 2, p. 63-80.

ATSDR – Agência de Substâncias Tóxicas e Registro de Doenças. **Manual de orientação para a avaliação de saúde pública**. 2001. Atlanta, GA: Departamento dos EUA de Saúde e Serviços Humanos, Serviço de Saúde Pública.pp:2.

Azevedo, F. A.; Nascimento, E. S.; Chasin, A. **Aspectos atualizados dos riscos toxicológicos do Mercúrio**. 2001. *TECBAHIA R. BaianaTecnologia*, v. 16, n. 3, p.87-104.

Batista, M. B.; Silva J. M. N.; Souza, E. F.; Diniz do Ó, L. G.; Barbosa, E. A. **O uso do método da listagem de controle na identificação de impactos ambientais negativos: o caso do lixão de uma de médio porte.** 2010. XXX Encontro nacional de engenharia de produção. São Carlos.

Battsengel, E.; Murayama, T.; Fukushi, K.; Nishikizawa, S.; Chonokhuu, S.; Ochir, A.; Tsetsgee, S.; Davaasuren, D. **Avaliação de Risco Ecológico e de Saúde Humana da Poluição por Metais Pesados no Solo do Distrito Ger em Ulaanbaatar, Mongólia.** 2020. Int. J. Ambiente. Res. Saúde Pública, 17, p.4668.

Brasil, **Diretrizes para elaboração de estudo de avaliação de risco à saúde humana por exposição a contaminantes químicos.** 2010. Brasília: DF. p 01. Disponível em: <http://vigilancia.saude.mg.gov.br/index.php/download/diretrizes-para-elaboracao-de-estudo-de-avaliacao-de-risco-a-saude-humana-por-exposicao-a-contaminantes-quimicos/>. Acesso em 10/01/2022.

Cao, S.; Duan, X.; Zhao, X.; Wang, B.; Ma, J.; Fan, D.; Sun, C.; He, B.; Wei, F.; Jiang, G. **Health risk assessment of various metals via multiple exposure pathways on children living near a typical lead-acid battery plant, China.** 2015. Environmental Pollution, [S.L.]. Elsevier BV, v. 200, p. 16-23.

Carvalho, C. E. V.; Lacerda, L. D.; Gomes, M. P. **Heavy metal contamination of the marine biota along the Rio de Janeiro Coast, SE-Brazil.** 1991. Water, Air and Soil Pollution, v. 57-58, p. 645-653.

CCME – Canadian Council of Ministers of the Environment. **Guidance Document on the Management of Contaminated Sites in Canada.** 1997. Winnipeg: CCME Secretariat.

Costa, J. R. S. **Efeitos da toxicidade do cromo em plantas.** 2020. Revinter, Rio de Janeiro, v. 13, n. 13, p. 46-46.

Dahmer, D. I. E.; Soares, P. R. **Determinação De Metais Pseudo-Totais E Disponíveis Em Solo E Sedimentos Em Um Lixão Desativado No Município De Medianeira–Pr.** 2018. 72

f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Ambiental, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Medianeira.

DEFRA – Department For Environment Food And Rural Affairs; EA – Environment Agency. **Model Procedures for the Management of Land Contamination**.2004. Contaminated Land Report 11. Bristol, UK: Environment Agency.

Duodu G.O., Anim A.K., Serfor-Armah Y., Sarfo D.K. **Assessment of the levels of toxic and potentially toxic metals in sediments from the Weija dam Ghana**.2011. Elixir Pollut. p.4320-4324.

EMBRAPA – Empresa Brasileira De Pesquisa Agropecuária. **Sistema Brasileiro de Classificação de solos**.2013. Brasília, DF.

Eze, V. C.; Onwukeme, V.; Enyoh, C. E. **Pollution status, ecological and human health risks of heavy metals in soil from some selected active dumpsites in Southeastern, Nigeria using energy dispersive X-ray spectrometer**.2020. International Journal Of Environmental Analytical Chemistry, [S.L.], p. 1-22.

Gonçalves, C.; Figueira, R. C. L.; Sartoretto, J. R.; Salaroli, A. B.; Ribeiro, A. P.; Ferreira, P. A. L; Mahiques, M. M. **Reconstruction of historical trends in potentially toxic elements from sediment cores collected inbertioga channel, Southeastern Brazil**. 2013. Brazilian journal of Oceanografy, v. 61, n. 2, p. 149-160.

Gonçalves, C. S.; Rheinheimer, D. S.; Pellegrini, J. B. R.; Kirst, S. L. **Qualidade da água numa microbacia hidrográfica de cabeceira situada em região produtora de fumo**.2005. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v.9, n.3, p.391-399.

Grassi Filho, H. **Cobre na planta**. 2005. In: Universidade Estadual Paulista. Faculdade De Ciências Agrônômicas. Departamento de Recursos Naturais. Ciência do Solo.

Guedes, M. R. **Metais pesados em solos: ocorrência**. 2008. Disponível em:<
<https://www.blogs.unicamp.br/geofagos/2008/07/03/metais-pesados-em-solos-ocorrencia/>
.Acesso em: 03/01/2022.

Hakanson L. **An ecological risk index for aquatic pollution control**. 1980. A sedimentological approach. *Water Res*, 14: p. 975-1001.

Hammond, P. C. **Metabolism of Lead**. 1982. in J. J. Chisolm Jr. And D. M. O'Hara (Eds), *Lead Absorption in Children: Management, Clinical, and Environmental Aspects*, Urban and Schwarzenberg, Baltimore, Munich.

Hilton J., Davison W., Ochsenein U. **A mathematical model for analysis of sediment coke data**. 1985. *Chemical Geology*, 48:281-291.

IBGE - Instituto Brasileiro De Geografia E Estatística, Diretoria de Pesquisas, Coordenação de População e Indicadores Sociais. **Estimativas da população residente**. 2021.

Kabata-Pendias A. & Pendias H. **Trace elements in soil and plants**. 2001 3.ed. Boca Raton, CRC Press, p. 413.

Laniyan, T. A. & Adewum, A. J. **Health Risk Assessment of Heavy Metal Pollution in Groundwater Around an Exposed Dumpsite in Southwestern Nigeria**. 2019. *Journal of Health & Pollution* Vol. 9, No. 24.

Man, Y. B.; Sun, X. L.; Zhao, Y. G.; Lopez, B. N.; Chung, S. S.; Wu, S. C.; Cheung, K. C.; Wong, M. H. **Health risk assessment of abandoned agricultural soils based on heavy metal contents in Hong Kong, the world's most populated city**. 2010. *Environment International*, [S.L.], v. 36, n. 6, p. 570-576.

Marinho, A. P. F. **Impactos da disposição de resíduos sólidos urbanos na qualidade de solos das regiões tropical úmida e semiárida potiguar**. 2020. 44f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Sanitária e Ambiental) - Centro de Tecnologia, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal.

Martínez, T.; Tejeda, S.; Estanol, B.; Zuniga, M. A.; Zarazua, G. **Chemical and sequential analysis of some metals in sediments from the North Coast of the Gulf of Mexico**. 2016. *Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry*, v. 309, n. 1, p. 343-350.

Moreira, D. A.; Martinez, M. A.; Souza, J. A. R.; Matos, A. T.; Reis, C. Reis, E. L. **Determinação das características de resíduo sólido urbano aterrado**. 2010. *Engenharia Ambiental, Espírito Santo do Pinhal*, v. 7, n. 1, p. 099 -108.

Müller, G. **Index of geoaccumulation in the sediments of the Rhine River**. 1969. *Geojournal*, 2, 108–118.

NEPC -National Environment Protection Council. **National Environment Protection**. 2013. (Assessment of Site Contamination).Camberra: Office of Parliamentary Counsel.

Nogueira, I. A. **Recuperação De Lixões: Proposta De Metodologia De Apoio À Tomada De Decisão**. 2015. 19 f. TCC (graduação) - Curso de Engenharia Sanitária e Ambiental, Faculdade de Engenharia da Ufjf, Juiz de Fora.

Ogundele, L. T.; Adejoro, I. A.; Ayeku, P. O. **Health risk assessment of heavy metals in soil samples from an abandoned industrial waste dumpsite in Ibadan, Nigeria**. 2019. *Environmental Monitoring And Assessment*, [S.L.], v. 191, n. 5, p. 23-24.

Pinto Filho, J. O.; Souza, M. D.; Santos, E. D.; Gê, D. **Monitoramento Dos Teores Totais E Disponíveis De Metais Pesados No Lixão Do Município De Apodi-Rn**. 2012. *Revista Verde De Agroecologia E Desenvolvimento Sustentável*, V. 7, N. 1, Pág. 141 – 147.

Preston, W.; Nascimento, C. W. A.; Biondi, C. M.; Souza Junior, V. S.; Silva, W. R.; Ferreira, H. A. **valores de referência de qualidade para metais pesados em solo do rio grande do norte**. 2014. *revista brasileira de ciência do solo*, v.38, p.3.

Qingjie G., Jun D., Yunchuan X., Qingfei W., Liqiang Y. **Calculating pollution indices by heavy metals in ecological geochemistry assessment and a case study in parks of Beijing.** 2008. J. China Univ. Geosci., 19(3): p.230-241.

Rim-Rukeh, A. **An Assessment of the Contribution of Municipal Solid Waste Dump Sites Fire to Atmospheric Pollution.** *Open Journal Of Air Pollution.* 2014. Scientific Research Publishing. [S.L.], v. 03, n. 03, p. 53-60

Santana, C.O.; Jesus, T.B. de; Aguiar, W.M.; Franca-Rocha, W. de J.S.; Soares, C.A.C. **Assessment of health risk related to the ingestion of trace metals through fish consumption in Todos os Santos.** 2017. Bay. Environ. Monit.

Santos, L. F. P. **Avaliação dos Teores de cádmio e chumbo em pescado proveniente de São Francisco do Conde, Bahia.** 2011. Universidade Federal da Bahia, Escola de Nutrição. Salvador.

SEMARH-RN. Secretaria Do Meio Ambiente E Dos Recursos Hídricos Do Rio Grande Do Norte. Fonte: www.semarh.rn.gov.br – acesso em 04/02/2022, às 13:00 horas.

Shanker, A., Cervantes, C., Lozatevera, H., & Avudainayagam, S. **Chromium toxicity in plants.** 2005. Environment International, 31(5), p.739–753.

SNIS - Sistema Nacional De Informação Sobre Saneamento. **Municípios e Saneamento -** 2019. Brasília: Manejo de Resíduos Sólidos Urbanos.

Soares, C. R. F. S.; Siqueira, J. O.; Carvalho, J. G.; Moreira, F. M. S.; Graziotti, P. H. **Crescimento e nutrição mineral de Eucalyptus maculata e Eucalyptus urophylla em solução nutritiva com concentração crescente de cobre.** 2000. Revista Brasileira de Fisiologia Vegetal, [S.L.], v. 12, n. 3, p. 213-225.

Teixeira, P. C.; Donagemma, G. K.; Fontana, A.; Teixeira, W. G. **Manual de métodos de análise de solo.** 2017. 3. ed. rev. e ampl. Brasília, DF: Embrapa.

Tomlinson, D.L., Wilson, J.G., Harris, C.R. and Jeffrey, D.W. **Problem in Assessment of Heavy-Metal Levels in Estuaries and the Formation of a Pollution Index.** 1980. Helgoländer Meeresunters, 33, p. 566-575.

USEPA - United States Environmental Protection Agency. **Recommended Use of BW3/4 as the Default Method in Derivation of the Oral Reference Dose** 2015.

_____. **Guidelines for ecological risk assessment.** 1998. EPA/630/R-95/002F. Federal Register, v.63, n.93, p.26846-26924.

_____. **Microwave assisted acid digestion of sediments, sludges, soils, and oils: Method 3051A.** 1998 CD-ROM.

Usero, J., Gonzalez-Regalado, E. & Garcia, I. **Trace metals in the bivalve molluscs ruditapes decussate sand ruditapes philippinarum from the atlantic coast of southern spain.** 1997. environ. int., 23(3): p. 291-298.

Verla, E. N.; Verla, A. W.; Osi, A. F.; Okeke, P. N.; Enyoh, C. E. **Finding a relationship between mobility factors of selected heavy metals and soil particle size in soils from children's playgrounds.** 2019. Environmental Monitoring And Assessment, [S.L.], v. 191, n. 12, p. 392-395.

Wang, L.; Yu, R.; Hu, G.; Tu, X. **Speciation and assessment of heavy metals in surface sediments of Jinjiang River tidal reach, southeast of China.** 2009. Environmental Monitoring And Assessment, [S.L.], v. 165, n. 1-4, p. 491-499.