



**UNIVERSIDADE ESTADUAL DO SUDOESTE DA BAHIA**  
**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA**  
**ÁREA DE CONCENTRAÇÃO EM FITOTECNIA**

**METAIS PESADOS EM VITÓRIA DA CONQUISTA - BA: DISTRIBUIÇÃO E  
POTENCIAIS RISCOS AMBIENTAIS DA CONTAMINAÇÃO**

**JULIANA SANTOS ABRANTES SILVA**

**VITÓRIA DA CONQUISTA**

**BAHIA – BRASIL**

**2025**

JULIANA SANTOS ABRANTES SILVA

**METAIS PESADOS EM VITÓRIA DA CONQUISTA - BA: DISTRIBUIÇÃO E  
POTENCIAIS RISCOS AMBIENTAIS DA CONTAMINAÇÃO**

Dissertação apresentada à Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Agronomia, área de concentração em Fitotecnia, para a obtenção do título de “Mestre”.

Orientador: Prof. Dr. Cácio Luiz Boechat

Co-orientador: Prof. Dr. Kaíque Mesquita Cardoso

VITÓRIA DA CONQUISTA

BAHIA – BRASIL

2025

S581m

Silva, Juliana Santos Abrantes.

Metais pesados em Vitória da Conquista - BA: distribuição e potenciais riscos ambientais da contaminação / Juliana Santos Abrantes Silva, 2025. 46f.

Orientador (a): Dr. Cácio Luiz Boechat.

Dissertação (mestrado) – Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia, Programa de Pós-Graduação em Agronomia, Área de concentração em Fitotecnia. Vitória da Conquista, 2025.

Inclui referência F. 39 – 46

1. Poeira urbana. 2. Frota veicular. 3. Contaminação ambiental. 4. Intensidade de tráfego. 5. Espectrometria. I. Boechat, Cácio Luiz. II. Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia, Programa de Pós – Graduação em Agronomia. III. T.

CDD: 363.7384

*Catálogo na fonte: Karolyne Alcântara Profeta – CRB 5/2134*  
UESB – Campus Vitória da Conquista – BA



**UNIVERSIDADE ESTADUAL DO SUDOESTE DA BAHIA  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA  
Área de Concentração em Fitotecnia**

**Campus de Vitória da Conquista, BA.**

**DECLARAÇÃO DE APROVAÇÃO**

**TÍTULO: “METAIS PESADOS EM VITÓRIA DA CONQUISTA - BA:  
DISTRIBUIÇÃO E POTENCIAIS RISCOS AMBIENTAIS DA  
CONTAMINAÇÃO”**

**AUTOR (A): Juliana Santos Abrantes Silva**

**Aprovada como parte das exigências para obtenção do Título de MESTRE EM  
AGRONOMIA, ÁREA DE CONCENTRAÇÃO EM FITOTECNIA, pela seguinte  
Banca Examinadora:**

Documento assinado digitalmente  
**gov.br** CACIO LUIZ BOECHAT  
Data: 05/08/2025 16:06:34-0300  
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Cácio Luiz Boechat, D.Sc. (UESB)

Documento assinado digitalmente  
**gov.br** KAIQUE MESQUITA CARDOSO  
Data: 01/08/2025 07:57:58-0300  
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Kaíque Mesquita Cardoso, D.Sc. (IFNMG)

Documento assinado digitalmente  
**gov.br** JOSE DOMINGOS SANTOS DA SILVA  
Data: 05/08/2025 15:04:37-0300  
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

José Domingos Santos da Silva, D.Sc. (UFOB)

Documento assinado digitalmente  
**gov.br** THOMAS VINCENT GLOAGUEN  
Data: 01/08/2025 14:56:16-0300  
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Thomas Vincent Gloaguen, D.Sc. (UFRB)

Data de realização: 31 de Julho de 2025.

## **DEDICO**

Aos meus pais, sem vocês, eu nada seria.

## AGRADECIMENTOS

Primeiramente, sou grata a Deus por me deixar chegar tão longe, por todas as bênçãos, força e sabedoria a mim concedidas.

Aos meus pais, João Irenio e Raimunda, por sempre terem me proporcionado tudo, tanto amor, apoio, suporte e dedicação infinita, por sonharem este sonho junto comigo e ao meu irmão, Tulio, por estar sempre ao meu lado e cuidar de mim tanto quanto pôde.

Ao meu orientador, Prof. Dr. Cácio Luiz Boechat, por todo apoio, compreensão, ensinamentos e pela paciência a mim concedidos, sua orientação e conselhos foram, sem dúvidas, essenciais para meu crescimento acadêmico e pessoal.

Ao meu co-orientador, Prof. Dr. Kaíque Mesquita Cardoso, que foi fundamental na construção desse trabalho, sempre disposto a ajudar, auxiliar e aconselhar em todos os momentos.

Ao Prof. Dr. José Domingos Santos da Silva, pelo suporte para durante as análises realizadas.

À UESB, à Coordenação do Curso de Pós-Graduação em Agronomia e a todos os professores, pelo suporte oferecido, pela dedicação constante e pela valiosa oportunidade de aprimoramento profissional.

À UFPI, UFRPE e ao Grupo de Pesquisa Monitoramento Ambiental e Recuperação do Solo pela colaboração na realização das análises laboratoriais.

À UFOB e ao Grupo de Pesquisa em Ciências Ambientais do Cerrado, pela parceria e suporte durante todas as análises realizadas.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pela bolsa concedida.

A todos os meus amigos, que estiveram me apoiando e incentivando durante todo o processo. Em especial, á Ingrid, que ouviu meus desabafos, se estressou junto comigo e foi capaz de me arrancar risadas em todos os momentos.

A todos que não mencionei, mas estiveram presentes nessa trajetória de alguma forma.

Muito Obrigada!

*“Você comerá do fruto  
do seu trabalho, e será  
feliz e próspero. ”*

*Salmos 128:2*

## RESUMO

SILVA, J. S. A. **METAIS PESADOS EM VITÓRIA DA CONQUISTA - BA: DISTRIBUIÇÃO E POTENCIAIS RISCOS AMBIENTAIS DA CONTAMINAÇÃO**. Vitória da Conquista - BA, UESB, 2025. 46 p. (Dissertação: Mestrado em Agronomia; Área de Concentração: Fitotecnia)\* .

A contaminação por metais pesados em ambientes urbanos representa um dos principais desafios ambientais da atualidade, especialmente em função do crescimento das cidades e do aumento contínuo da frota veicular. Este estudo teve como objetivo avaliar a distribuição e os potenciais riscos ambientais e à saúde humana associados à presença de metais pesados em poeira sedimentada nas vias urbanas do município de Vitória da Conquista – BA. As amostras foram coletadas em 30 pontos com diferentes intensidades de tráfego (baixo, médio e alto), preparadas por digestão assistida por micro-ondas e analisadas por espectroscopia de absorção atômica para quantificação dos elementos Al, Ca, Fe, K, Mg, Na e dos metais pesados Cr, Cu, Mn, Pb e Zn. Foram aplicados os índices de Contaminação (IC), Fator de Enriquecimento (EF) e Risco Ecológico Potencial (PERI) para avaliação ambiental. Os resultados indicaram que os metais Cu, Pb e Zn apresentaram concentrações significativamente mais elevadas em áreas de tráfego intenso, refletindo a influência direta das emissões veiculares. O IC indicou níveis baixos de contaminação em todas as áreas, enquanto o EF evidenciou enriquecimento antrópico moderado a significativo para Cu e Pb. Já o PERI revelou risco ecológico muito baixo, embora com tendência crescente proporcional ao aumento da intensidade do tráfego. Embora os impactos imediatos ainda sejam limitados, há indícios de acúmulo progressivo de contaminantes em regiões de maior tráfego, o que reforça a necessidade de estratégias de monitoramento contínuo, políticas públicas de mobilidade sustentável e ações mitigadoras para preservar a qualidade ambiental e a saúde da população urbana.

**Palavras-chave:** poeira urbana, frota veicular, contaminação ambiental, intensidade de tráfego, espectrometria.

---

\* Orientador: Prof. Dr. Cácio Luiz Boechat, UFPI e Coorientador Prof. Dr. Kaique Mesquita Cardoso, IFNMG.

## ABSTRACT

SILVA, J. S. A. **HEAVY METALS IN VITÓRIA DA CONQUISTA – BA: DISTRIBUTION AND POTENTIAL ENVIRONMENTAL RISKS OF CONTAMINATION.** Vitória da Conquista – BA, UESB, 2025. 46 p. (Dissertation: Master's in Agronomy; Area of Concentration: Crop Science)\*

Heavy metal contamination in urban environments is one of the main environmental challenges of the present day, especially due to urban growth and the continuous increase in vehicle fleets. This study aimed to assess the distribution and potential environmental and human health risks associated with heavy metals present in settled dust collected from urban roads in the municipality of Vitória da Conquista – BA. Samples were collected at 30 points with varying traffic intensities (low, medium, and high), prepared through microwave-assisted acid digestion, and analyzed by atomic absorption spectrometry to quantify the elements Al, Ca, Fe, K, Mg, and Na, as well as the heavy metals Cr, Cu, Mn, Pb, and Zn. The Contamination Index (CI), Enrichment Factor (EF), and Potential Ecological Risk Index (PERI) were applied for environmental risk assessment. The results indicated that Cu, Pb, and Zn concentrations were significantly higher in high-traffic areas, reflecting the direct influence of vehicular emissions. The CI indicated low contamination levels across all sampled areas, while the EF revealed moderate to significant anthropogenic enrichment for Cu and Pb. The PERI values showed a very low ecological risk, although with an increasing trend in proportion to traffic intensity. Although immediate impacts are still limited, there are indications of progressive contaminant accumulation in areas with greater traffic density, reinforcing the need for continuous monitoring strategies, public policies for sustainable urban mobility, and mitigation measures to preserve environmental quality and safeguard public health.

**Keywords:** urban dust, vehicle fleet, environmental contamination, traffic intensity, spectrometry.

---

\* Advisor: Prof. Dr. Cácio Luiz Boechat, UFPI; Coadvisor: Prof. Dr. Kaique Mesquita Cardoso, IFNMG.

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 01</b> – Mapa de Localização do Município de Vitória da Conquista – BA.....	22
<b>Figura 02</b> – Mapa Exploratório - Reconhecimento de solos do município de Vitória da Conquista - BA. (Embrapa/SUDENE, 1973).....	23
<b>Figura 03</b> – Mapa de pontos amostrais no município de Vitória da Conquista – BA.....	24
<b>Figura 04</b> – Filtragem das amostras retiradas do micro-ondas.....	26
<b>Figura 05</b> – Box-plot das concentrações de Al, Ca, Cr, Cu, Fe, K, Mg, Mn, Na, Pb e Zn em amostras de material particulado sedimentado em vias públicas da cidade de Vitória da Conquista - BA. A linha horizontal interna das caixas representa a mediana, as extremidades das caixas representam o primeiro e o terceiro quartil, os limites das barras verticais representam os valores máximo e mínimo e os círculos representam os valores extremos.....	29
<b>Figura 06</b> – Representação gráfica da concentração dos elementos avaliados em pontos de baixo fluxo veicular.....	33
<b>Figura 07</b> – Representação gráfica da concentração dos elementos avaliados em pontos de médio fluxo veicular.....	34
<b>Figura 08</b> – Representação gráfica da concentração dos elementos avaliados em pontos de intenso fluxo veicular.....	34

## LISTA DE TABELAS

<b>Tabela 01</b> – Valores mínimos, máximos, média e desvio padrão da concentração de elementos e metais pesados em áreas de baixo fluxo veicular.....	32
<b>Tabela 02</b> – Valores mínimos, máximos, média e desvio padrão da concentração de elementos e metais pesados em áreas de médio fluxo veicular.....	32
<b>Tabela 03</b> – Valores mínimos, máximos, média e desvio padrão da concentração de elementos e metais pesados em áreas de intenso fluxo veicular.....	33
<b>Tabela 04</b> – Índice de Contaminação (IC) dos metais pesados nos diferentes níveis de tráfego urbano em Vitória da Conquista – BA.....	35
<b>Tabela 05</b> – Fator de Enriquecimento (EF) dos metais pesados nos diferentes níveis de tráfego urbano em Vitória da Conquista – BA.....	36
<b>Tabela 06</b> – Índice de Risco Ecológico Potencial (PERI) total calculado para os diferentes níveis de tráfego urbano em Vitória da Conquista – BA.....	37

## LISTA DE SIGLAS

Al	Alumínio
Ar	Arsênio
BA	Bahia
°C	Graus Celsius
Ca	Cálcio
Cd	Cádmio
Co	Cobalto
CONOMA	Conselho Nacional do Meio Ambiente
Cr	Cromo
Cu	Cobre
DENATRAN	Departamento Nacional de Trânsito
EAA	Espectrômetro de Absorção Atômica
EF	Fator de Enriquecimento
FAO	Food and Agriculture Organization
Fe	Ferro
g	Gramas
h	Horas
HCl	Ácido Clorídrico
Hg	Mercúrio
HI	Índice de Perigo à Saúde Humana
HNO <sub>3</sub>	Ácido nítrico
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IC	Índice de Contaminação
ICP	Plasma Indutivamente Acoplado
IDH	Índice de Desenvolvimento Humano
K	Potássio
Kg	Kilogramas
m	Metros
mg	Miligramas
Mg	Magnésio
Min	Minutos
mL	Mililitros
mm	Milímetros

Mn	Manganês
MP	Metal pesado
Ni	Níquel
PA	Para Análise
Pb	Chumbo
PMVC	Prefeitura Municipal de Vitória da Conquista
RENAEST	Registro Nacional de Sinistros e Estatísticas de Trânsito
S	Estanho
UTM	Universal Transversa de Mercator
USEPA	United States Environmental Protection Agency
µm	Micrômetros
W	Watts
Zn	Zinco

## Sumário

<b>1. INTRODUÇÃO .....</b>	<b>15</b>
<b>2. REFERENCIAL TEÓRICO .....</b>	<b>17</b>
<b>2.1. Contaminação por metais pesados.....</b>	<b>17</b>
<b>2.1.1. Principais metais pesados .....</b>	<b>18</b>
<b>2.1.2. Fontes de contaminação por metais pesados.....</b>	<b>18</b>
<b>2.2. Efeitos da contaminação por metais pesados .....</b>	<b>20</b>
<b>2.2.1. Impactos no solo, recursos hídricos e biodiversidade .....</b>	<b>20</b>
<b>2.2.2. Efeitos na saúde humana .....</b>	<b>21</b>
<b>2.3. Índices de risco ecológico e a saúde humana.....</b>	<b>21</b>
<b>2.4 Considerações gerais .....</b>	<b>22</b>
<b>3. MATERIAL E MÉTODOS .....</b>	<b>23</b>
<b>3.1. Área de Estudo.....</b>	<b>23</b>
<b>3.2. Coleta e Amostragem .....</b>	<b>25</b>
<b>3.3. Preparação de amostras e digestão assistida por micro-ondas .....</b>	<b>26</b>
<b>3.4. Determinação dos metais .....</b>	<b>27</b>
<b>3.5. Análise Estatística.....</b>	<b>28</b>
<b>3.6. Avaliação da Contaminação e dos Riscos.....</b>	<b>28</b>
<b>4. RESULTADOS E DISCUSSÃO .....</b>	<b>30</b>
<b>4.1. Avaliação da concentração de elementos e metais nas amostras .....</b>	<b>30</b>
<b>4.2. Avaliação da contaminação e dos riscos por meio de índices ambientais .....</b>	<b>36</b>
<b>5. CONCLUSÕES.....</b>	<b>39</b>
<b>6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>40</b>

## 1. INTRODUÇÃO

A expansão urbana e o aumento do fluxo veicular têm gerado preocupação crescente quanto à qualidade ambiental das cidades, sobretudo no que diz respeito à contaminação por metais pesados. As emissões veiculares representam uma das principais fontes antropogênicas de metais no ambiente urbano, contribuindo significativamente para a poluição do ar, do solo e dos recursos hídricos. Segundo Lough *et al.* (2005), as partículas depositadas no solo urbano podem concentrar altos níveis de metais como chumbo, cádmio, cromo e zinco, frequentemente associados ao desgaste de pneus, freios e à combustão incompleta de combustíveis fósseis.

O desgaste de componentes automotivos, como pneus e pastilhas de freio, além das emissões dos escapamentos, libera elementos tóxicos, que se depositam na superfície das vias e podem ser carregados pelo vento e pela chuva, afetando diretamente a saúde humana e os ecossistemas urbanos (Ali *et al.*, 2019; Lima *et al.*, 2024). Diversos estudos destacam a importância da análise da poeira urbana como uma ferramenta eficaz para o monitoramento ambiental, uma vez que ela reflete a deposição acumulada de poluentes oriundos de diversas fontes, especialmente o tráfego veicular, a indústria e a atividade civil urbana (De Miguel *et al.*, 2007; Gunawardana *et al.*, 2015).

Nas últimas décadas, a poluição por metais pesados vem sendo estudada em centros urbanos em diversas partes do mundo (Lima *et al.*, 2024; Mostafa *et al.*, 2024; Andrade *et al.*, 2023). Essas informações são fundamentais para entender os impactos ambientais e à saúde pública causados pela poluição, bem como para possibilitar a adoção de políticas públicas para mitigar os riscos causados.

De acordo com dados do Departamento Nacional de Trânsito (DENATRAN), em 2024 a frota nacional de veículos no Brasil atingiu 123,97 milhões de unidades, representando um crescimento de 4,0% em relação a 2023. Esse aumento contínuo da frota veicular tem implicações significativas para a qualidade do ar e a saúde pública, especialmente em áreas urbanas com tráfego intenso. Carvalho *et al.* (2024) citam que a emissão de poluentes como chumbo, cádmio e arsênio, cujos efeitos à saúde são amplamente reconhecidos, podem causar doenças respiratórias, cardiovasculares e até câncer.

O estudo dos metais pesados nas áreas urbanas do Brasil é de extrema relevância, especialmente devido ao aumento contínuo da frota veicular, que é uma das principais fontes de poluição atmosférica nas grandes cidades. Apesar do reconhecido impacto da

poluição veicular, os estudos voltados à contaminação urbana por metais pesados no país ainda são limitados. De acordo com Shi *et al.* (2020), a distribuição espacial desses contaminantes está fortemente correlacionada ao volume de tráfego, ao tipo de uso do solo e à densidade populacional. Isso significa que áreas centrais, com maior movimentação de veículos e concentração humana, tendem a apresentar níveis mais elevados de contaminação.

Nesse contexto, a análise da poeira urbana se apresenta como uma estratégia eficaz para compreender a dinâmica de emissão e deposição desses poluentes, fornecendo subsídios para a gestão ambiental e para o desenvolvimento de estratégias de mitigação (Lima *et al.*, 2024). Essa abordagem permite não apenas identificar os principais elementos contaminantes, mas também avaliar sua distribuição espacial e sua relação com o gradiente de fluxo veicular nas áreas urbanas.

Além disso, a composição da poeira urbana fornece informações importantes sobre a mobilidade, biodisponibilidade e potencial toxicológico dos metais pesados presentes no ambiente (Charlesworth *et al.*, 2011). Essa abordagem tem sido amplamente utilizada em pesquisas internacionais como método não invasivo e economicamente viável para a identificação de áreas críticas e para o estabelecimento de políticas públicas de mitigação ambiental (Wei *et al.*, 2015).

Os impactos da contaminação por metais pesados vão além das questões ambientais, afetando também a saúde humana. Elementos tóxicos, mesmo em concentrações reduzidas, podem se acumular em organismos vivos e desencadear doenças graves, como problemas neurológicos, cardiovasculares e renais (Kim *et al.*, 2019; Vardhan *et al.*, 2019). Compreender o comportamento e a distribuição dos metais pesados em poeira urbana é fundamental para o diagnóstico ambiental e para a avaliação de riscos à saúde humana, especialmente de grupos vulneráveis como crianças e idosos (Zheng *et al.*, 2010; Wang *et al.*, 2021). Estudos recentes reforçam que a exposição contínua a metais presentes na poeira urbana pode causar uma série de efeitos crônicos, como danos neurológicos, distúrbios respiratórios, doenças renais e cardiovasculares (Ferreira-Baptista; de Miguel, 2005; Vardhan *et al.*, 2019).

Dessa forma, o presente trabalho temo como objetivo investigar a influência do tráfego nas características químicas da poeira urbana, quantificar as concentrações dos elementos Al, Ca, Fe, K, Mg, Na e dos metais pesados Cd, Cr, Cu, Mn, Pb e Zn em poeira sedimentada nas vias do município de Vitória da Conquista – BA e gerar índices de riscos ecológico e a saúde humana plotados em mapas de distribuição.

## 2. REFERENCIAL TEÓRICO

### 2.1. Contaminação por metais pesados

Segundo a FAO (2018), o termo "metais pesados" (MPs) abrange metais e metalóides com alta densidade atômica (acima de  $4,5 \text{ g cm}^{-3}$ ), como chumbo (Pb), cobre (Cu), mercúrio (Hg), estanho (Sn) e zinco (Zn), os quais podem causar toxicidade e representar riscos à saúde humana. As propriedades químicas dos MPs são os fatores que exercem maior influência, visto que entre as principais características desses elementos, também denominados "elementos traço", destacam-se os elevados níveis de reatividade e a capacidade de bioacumulação nos organismos vivos (Souza; Morassuti; Deus, 2018).

Pode-se definir MPs como elementos metálicos que possuem alta densidade e elevado número atômico, que se apresentam tóxicos, mesmo em baixas concentrações (Tchounwou *et al.*, 2012), nessa definição, incluem-se metais, semimetais e não metais, que podem ser encontrados presentes em rochas e em áreas com adição de rejeitos industriais, biossólidos e alguns agroquímicos em grandes quantidades (Estrela; Chaves; Silva, 2018).

Os MPs são componentes naturais encontrados na crosta terrestre e incorporadas aos organismos vivos através dos alimentos, da água e do ar (Sousa *et al.*, 2021). No solo, os MPs, 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).

Segundo a Resolução nº 420, de 28 de dezembro de 2009, do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA, 2009), que estabelece diretrizes e procedimentos para a gestão ambiental de áreas contaminadas no território nacional, uma área pode ser considerada contaminada quando os níveis de substâncias químicas presentes em solos ou águas subterrâneas ultrapassam os Valores de Investigação. Esses valores indicam concentrações acima das quais existe a possibilidade de riscos à saúde humana ou ao meio ambiente, justificando, portanto, a necessidade de medidas de avaliação e, quando necessário, de remediação da área impactada.

Atualmente a contaminação por metais pesados no meio ambiente é considerada como um sério problema mundial, devido à sua elevada toxicidade e seu fator de acumulação em organismos (Liu *et al.*, 2015). Esse tipo de metal não passa por

biodegradação e apresentam baixa solubilidade em água, dessa forma, se tornam ameaças para o ambiente (Teixeira *et al.*, 2020; Mouro *et al.*, 2019). 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).

### **2.1.1. Principais metais pesados**

Os metais pesados podem ser agrupados em duas categorias principais: os essenciais, que desempenham funções biológicas nos organismos vivos, e os não essenciais, que não apresentam qualquer papel fisiológico conhecido. Entre os elementos químicos considerados metais pesados, os mais relevantes devido à toxicidade, mesmo em baixas concentrações, aos danos à agricultura e à saúde humana são: Arsênio (As), Cromo (Cr), Cádmio (Cd), Mercúrio (Hg) e o Chumbo (Pb) (Kim *et al.*, 2019).

Embora alguns metais sejam prejudiciais, como o Pb, Hg, Cd, outros são essenciais para o desenvolvimento das funções vitais dos organismos, a exemplo do Ferro (Fe), Zinco (Zn), Cobre (Cu), Manganês (Mn), Níquel (Ni) e Cobalto (Co), no entanto, quando em excesso são prejudiciais ou mesmo letais, sendo muito tênue a margem entre a essencialidade e a toxicidade (Chu, 2018; Marschner, 1995), enquanto outros não têm qualquer função biológica conhecida, como Cd, Pb e Hg (Souza; Morassuti; Deus, 2018).

A toxicidade desses elementos está diretamente relacionada a fatores como a forma química em que se apresentam, a via de exposição, o tempo de contato e a susceptibilidade do organismo afetado. Além disso, muitos desses metais são cumulativos, ou seja, tendem a se armazenar no organismo ao longo do tempo, podendo desencadear efeitos crônicos e, em alguns casos, irreversíveis (Tchounwou *et al.*, 2012).

### **2.1.2. Fontes de contaminação por metais pesados**

Os metais pesados podem ser inseridos no ambiente através de diversas fontes, como exemplo: naturais, agrícolas, industriais, de efluentes domésticos, atmosféricas e outras (Souza; Morassuti; Deus, 2018).

O uso de fertilizantes, agrotóxicos, lixo urbano, e emissões veiculares são considerados as principais fontes antropogênicas de MPs nos solos (Adimalla *et al.*, 2019), sendo introduzidos por meio de vapor, partículas de gases de combustão,

cinzas e outros e podem ser dispersados por arraste de sedimentos, lixiviação em águas superficiais, infiltração em águas subterrâneas, dispersão por ventos e acumulando-se na cadeia alimentar (Fernandes & Silva, 2021).

De fontes naturais, a principal é a composição do material geológico, tipo de rocha e condições ambientais que provocam o desgaste desse material (Souza; Morassuti; Deus, 2018). Para Souza *et al.* (2015), as fontes mais significativas desses materiais são o intemperismo do material, que libera esses elementos em formas dissolvidas e/ou particuladas, e a atividade vulcânica, responsável por aproximadamente 80% das concentrações naturais. Incêndios florestais também exercem uma influência importante no transporte de alguns metais pesados em muitos ambientes (Souza; Morassuti; Deus, 2018), além da atividade biogênica (Souza; Nobrega; Pontes, 2017).

As fontes de MP em solos agrícolas incluem fertilizantes inorgânicos e orgânicos, calagem, lodo de esgoto, águas de irrigação e pesticidas. Fertilizantes fosfatados apresentam níveis variados de Cd, Cr, Ni, Pb e Zn, dependendo de suas respectivas origens (Souza; Morassuti; Deus, 2018). Fertilizantes agrícolas, como, os superfosfatos (superfosfato simples e triplo), foram associados ao fornecimento de metais pesados, como Zn, Cu e Ni (Alves *et al.*, 2025).

A atividade industrial contribui maciçamente no aporte excessivo dos metais pesados para o ecossistema (Rocha & Azevedo, 2015). Como fontes industriais, podem ser citadas: mineração, refinamento, transporte de minérios, fundição, acabamento de metais, reciclagem de metais, tecidos, curtumes, microeletrônica, fertilizantes, pesticidas e tintas (Francischetti, 2004; Andrade *et al.* 2010; Souza; Morassuti; Deus, 2018). A emissão de metais pesados durante a operação de mineração varia conforme o tipo de extração realizado (Souza; Morassuti; Deus, 2018).

As emissões de veículos são uma fonte significativa de contaminação nessas áreas urbanas, um problema exacerbado pelas frotas de veículos em expansão (Lima *et al.*, 2024). Metais pesados originados das emissões dos escapamentos de veículos e do desgaste de componentes automotivos podem se acumular nas superfícies das estradas sob a forma de material particulado (Ali *et al.*, 2019).

Particularmente, os automóveis foram documentados como os principais contribuintes de metais pesados em poeira, pois o desgaste dos freios e pneus produz partículas em nanoescala contendo Cu, Cd, Fe, Mo, Ni e Zn (Elnazer *et al.* 2015; Žibret, 2019). Significativamente, poeira de estrada é considerado o principal local de

concentração de poluentes em ambientes urbanos, acumulando-se em ruas e calçadas (Aguilera *et al.* 2021).

## **2.2. Efeitos da contaminação por metais pesados**

Metais pesados, por serem capazes de desencadear reações químicas que não são metabolizadas pelos organismos vivos — os quais não possuem mecanismos eficientes para sua degradação —, tendem a se acumular progressivamente ao longo da cadeia alimentar (Duffus, 2002). A acumulação de MPs é um processo complexo e que atinge quase todos os aspectos do crescimento, desenvolvimento e sobrevivência de um organismo (Souza; Morassuti; Deus, 2018), podendo por exemplo, influenciar negativamente a biologia de peixes e a saúde humana por meio do consumo de peixes contaminados (Savassi, 2019).

Organismos expostos a esses elementos não conseguem metabolizá-los nem os eliminar de forma eficiente, o que resulta em acúmulo progressivo nos tecidos, principalmente em órgãos como fígado, rins e cérebro (Souza; Morassuti; Deus, 2018). Esse processo afeta diretamente a sobrevivência, o crescimento, a reprodução e o comportamento de diferentes espécies, podendo gerar consequências ecossistêmicas graves, como o declínio de populações e a perda de biodiversidade (Santos *et al.*, 2017).

### **2.2.1. Impactos no solo, recursos hídricos e biodiversidade**

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 (Vardhan *et al.*, 2019).

A incineração de resíduos urbanos gera gases contendo altos teores de metais, especialmente Hg, Pb e Cd, que podem ser solubilizados na água e contaminar organismos aquáticos integrantes da cadeia alimentar (Delman & Almeida, 2022). Indústrias como as metalúrgicas, de tintas, de cloro e de polímeros fazem uso de MP que, quando descartados de forma inadequada no ambiente, contaminam principalmente os corpos d'água e os lençóis freáticos (Souza *et al.*, 2018).

No ambiente aquático, os efeitos são particularmente preocupantes. Metais pesados dissolvidos na água ou adsorvidos em sedimentos podem ser facilmente

assimilados por organismos filtradores, como moluscos e crustáceos, que por sua vez são consumidos por peixes, aves e mamíferos aquáticos. Essa contaminação atinge também o ser humano, por meio da ingestão de peixes contaminados, o que representa uma importante via de exposição (Savassi, 2019).

### **2.2.2. Efeitos na saúde humana**

Devido à toxicidade, persistência e bioacumulação de metais pesados, a exposição prolongada à poeira contaminada pode afetar a saúde humana. O chumbo (Pb) foi identificado como um metal provavelmente cancerígeno para humanos (Aminiyan *et al.*, 2018). A exposição contínua, mesmo a baixas doses, pode levar a efeitos cumulativos e crônicos, afetando os sistemas neurológico, renal, imunológico e reprodutivo. Estudos indicam que certos metais, como chumbo, cádmio e mercúrio, estão associados ao desenvolvimento de doenças neurodegenerativas, câncer, alterações hormonais, infertilidade e malformações congênitas (Barros; Carvalho; Ribeiro, 2017; Colla *et al.*, 2014).

A presença acumulativa de metais tóxicos no organismo humano pode desencadear doenças graves, como o saturnismo, a doença de Minamata e diferentes tipos de câncer (Barros; Carvalho; Ribeiro, 2017). Além disso, o contato com a pele pode resultar em dermatite alérgica e, em casos mais raros, em ulcerações cutâneas que deixam cicatrizes, perfurações no septo nasal, distúrbios neuromusculares, irritações, cefaleia, náuseas e episódios de desmaios (Colla *et al.*, 2014).

Crianças, gestantes e idosos são considerados grupos mais vulneráveis aos efeitos da contaminação por metais pesados. Em crianças, por exemplo, a exposição ao chumbo pode afetar negativamente o desenvolvimento cognitivo e o desempenho escolar, mesmo em concentrações abaixo dos limites considerados seguros por agências reguladoras (USEPA, 2012).

### **2.3. Índices de risco ecológico e a saúde humana**

A poeira da rua, dada sua composição complexa resultante de uma mistura de fontes naturais e antropogênicas, serve como um excelente indicador da presença de metais em ambientes urbanos (Lima *et al.*, 2024). Na poeira urbana abundam partículas finas misturadas com altas concentrações de metais pesados (Aguilera *et al.*, 2022).

Portanto, a poeira urbana pode ser uma importante via de exposição a metais pesados para os habitantes de uma cidade (Andrade *et al.*, 2023).

Estudos recentes têm demonstrado que os metais presentes na poeira urbana, como Pb, Cd, As, Ni e Zn, apresentam potencial tóxico significativo, principalmente devido à sua biodisponibilidade e persistência no ambiente. A exposição contínua a esses metais pode ocorrer por inalação, ingestão acidental ou contato dérmico, afetando especialmente grupos vulneráveis como crianças, idosos e trabalhadores urbanos (Li *et al.*, 2021; Zhang *et al.*, 2022).

Para avaliar os riscos envolvidos, diversos índices têm sido aplicados, como o Índice de Contaminação (IC), o Fator de Enriquecimento (EF), o Índice de Risco Potencial Ecológico (PERI) e o Índice de Perigo à Saúde Humana (HI). Esses índices permitem classificar o grau de contaminação e estimar possíveis efeitos tóxicos no meio ambiente e na saúde pública (Hakanson, 1980; USEPA, 2001).

Por exemplo, o PERI considera não apenas a concentração dos metais, mas também o seu fator de toxicidade, oferecendo uma visão mais abrangente do risco ecológico. Já o HI avalia a exposição humana aos metais por diferentes vias, sendo considerado crítico quando supera o valor de 1, indicando risco potencial à saúde (Cui *et al.*, 2019).

Além disso, a distribuição espacial desses metais está fortemente relacionada ao tráfego veicular, à atividade industrial e à densidade populacional. Ambientes urbanos densamente povoados e com intensa atividade antrópica tendem a apresentar maiores concentrações de contaminantes na poeira (Lu *et al.*, 2023).

## **2.4. Considerações gerais**

A contaminação por metais pesados representa um dos mais graves desafios ambientais da atualidade, devido à sua toxicidade, persistência no ambiente e capacidade de bioacumulação. Os metais-traço afetam negativamente os ecossistemas e a saúde humana, sendo particularmente perigosos em ambientes urbanos, onde a poeira da rua atua como um importante vetor de exposição.

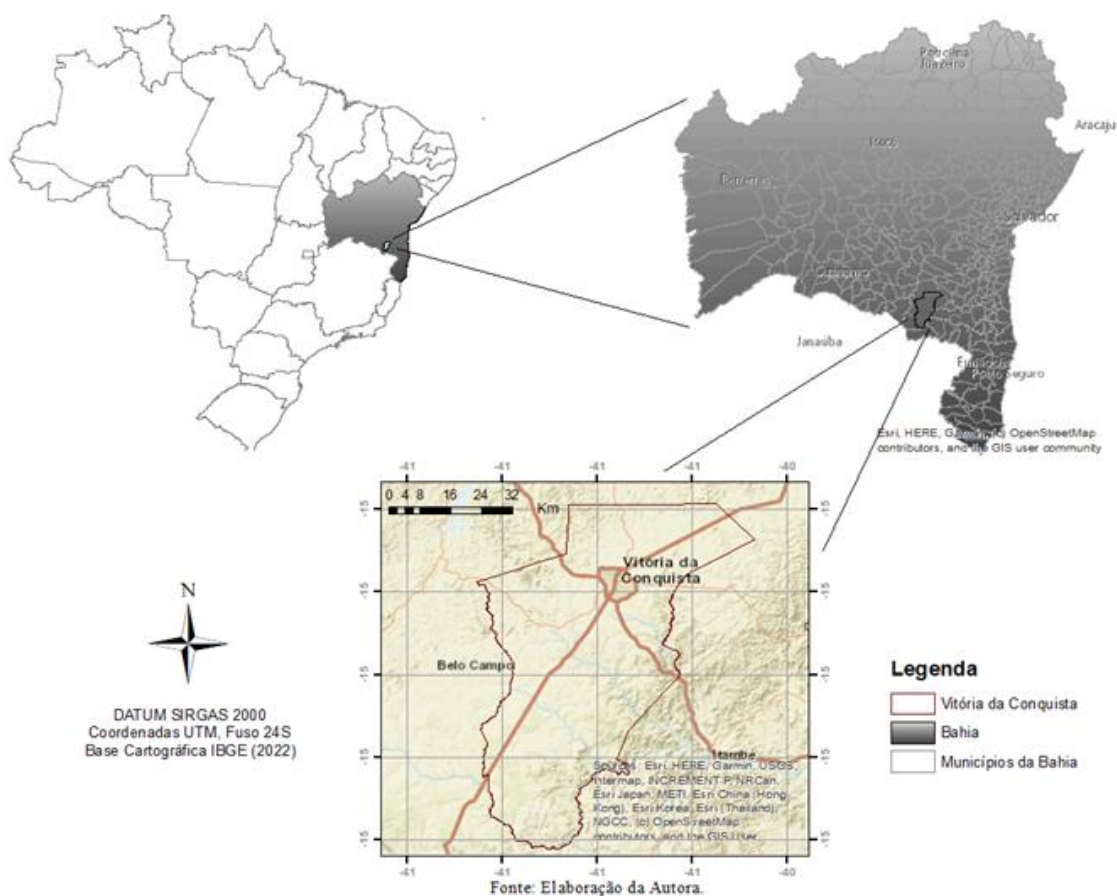
Portanto, torna-se fundamental o desenvolvimento de estratégias de controle e remediação que sejam eficientes e sustentáveis. A compreensão aprofundada dos processos de contaminação, dos efeitos ecotoxicológicos e das tecnologias de remediação

é essencial para o enfrentamento do problema, contribuindo para a construção de práticas mais seguras e ambientalmente responsáveis na ocupação e uso do solo.

### 3. MATERIAL E MÉTODOS

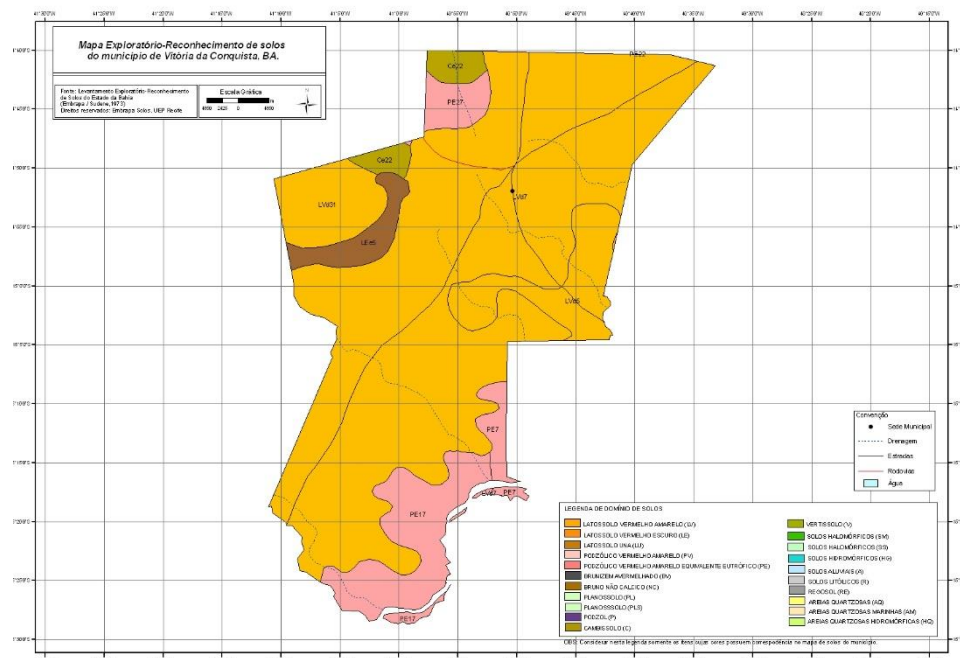
#### 3.1. Área de Estudo

O estudo foi conduzido no município Vitória da Conquista - BA (Figura 01), localizado na região do Sudoeste da Bahia, coordenadas 14°51'58" de latitude Sul e 40°50'22" de longitude Oeste com uma altitude entre 860 e 1200 m, clima de transição entre úmido e subúmido, com características semiáridas. A temperatura média anual varia de 20°C a 24°C, com verões amenos (23°C) e invernos entre 15°C e 17°C. De acordo com a classificação de Köppen, o clima é do tipo Cwb, caracterizado por chuvas no verão e verões moderadamente quentes (Cabral, Veiga e Mata, 2015).



**Figura 01** – Mapa de Localização do Município de Vitória da Conquista – BA.

De acordo com o levantamento exploratório-reconhecimento de solos no estado da Bahia realizado pela Embrapa (Figura 02), o município possui predominantemente o solo do tipo Latossolo Vermelho-Amarelo, que é conhecido por ser profundo, bem intemperizado e rico em óxidos de Fe Al.



**Figura 02** – Mapa Exploratório - Reconhecimento de solos do município de Vitória da Conquista - BA. (Embrapa/SUDENE, 1973) Fonte: <https://solosne.cnps.embrapa.br/index.php?link=ba>.

Segundo o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2024), o município é a capital regional do Sudoeste do estado, possui área de 3.254,186 km<sup>2</sup> e população estimada de 394.024 habitantes, com Índice de Desenvolvimento Humano (IDH) de 0,678. A cidade se estabelece como principal centro regional, polarizando mais de 40 municípios na Bahia e no norte do estado de Minas Gerais (Santos & Carvalho, 2015).

O protagonismo regional de Vitória da Conquista decorre, em grande medida, da concentração de serviços especializados, com ênfase nos setores de saúde, educação superior e comércio (PMVC, 2025). Segundo O estudo *Gestão do Território* elaborado pelo IBGE (2025), o município se sobressai como um relevante centro de gestão pública e empresarial, sendo o terceiro no estado da Bahia em gestão pública e o quinto em gestão empresarial.

Marcelino (2021) em sua pesquisa, afirma que Vitória da Conquista teve sua ocupação influenciada pelo clima, sendo a pecuária a primeira atividade econômica de

relevância e a agricultura praticada era de subsistência, para posteriormente, ser considerado o polo cafeeiro da região. A economia do município também é influenciada pela expressiva atuação do setor industrial, com destaque para as atividades de transformação e extração mineral (PMVC, 2012).

O município destaca-se em uma das regiões de maior crescimento no país, segundo o Registro Nacional de Sinistros e Estatísticas de Trânsito (RENAEST, 2024), Vitória da Conquista possui uma frota de 188.881 veículos, sendo que destes 146.434 são ativos, além de ter como principal via de acesso à rodovia Presidente Dutra (BR-116), que é considerada a maior rodovia do Brasil.

### 3.2. Coleta e Amostragem

As coletas das amostras de poeira sedimentada foram realizadas no mês de novembro de 2024 em trinta locais estrategicamente escolhidos para representar a rede rodoviária da cidade, focando nas principais vias urbanas, caracterizadas por tráfegos intenso, médio e baixo (Figura 03).

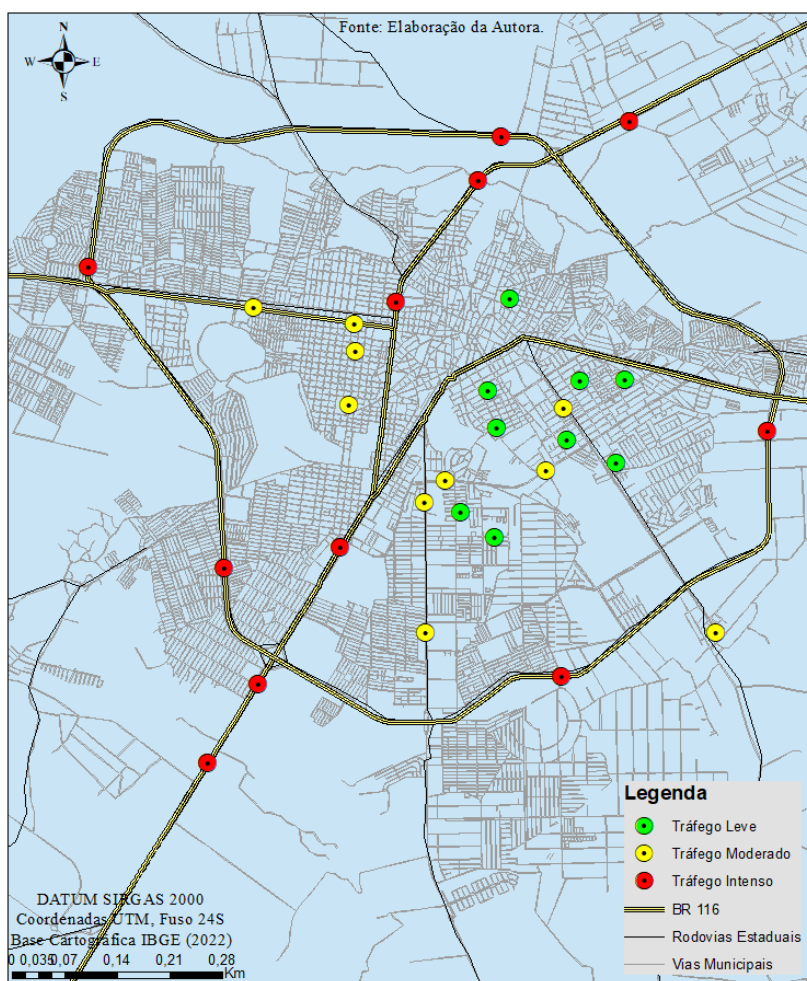


Figura 03 – Mapa de pontos amostrais no município de Vitória da Conquista – BA.

Em cada ponto de amostragem foram coletadas oito amostras simples, sendo quatro em cada lado da via com o auxílio de um gabarito com dimensões de  $1,0 \times 1,0$  m ( $1,0 \text{ m}^2$ ) distanciadas a 1 m uma da outra. O material dentro do gabarito foi varrido com vassoura com cerdas de plástico, coletadas com pás de plástico e tamissadas em peneira confeccionadas em aço inoxidável de 2,0 mm. Em seguida, as amostras foram acondicionadas em saco plástico identificado formando uma amostra composta por ponto.

As coordenadas geográficas das amostras de solo foram obtidas com o auxílio de um GPS Garmin, configurado com a projeção UTM e Datum Sirgas 2000 (Sistema de Referência Geocêntrico para as Américas).

Os dados de tráfego veicular foram obtidos por meio de observação direta nos pontos selecionados para o estudo. A contagem de veículos foi realizada em três diferentes horários considerados de maior fluxo: Por volta das 08:00h da manhã, ao meio dia e ao final da tarde por volta das 17:30h. Em cada horário a contagem ocorreu em um intervalo contínuo de dez minutos, sendo esse procedimento repetido para todos os pontos analisados.

Ao término da obtenção dos dados, foi calculada a média do número de veículos registrados nos três horários para cada local, de forma a representar de maneira mais equilibrada a intensidade do tráfego nas vias avaliadas. Com isso, foram definidos os seguintes gradientes de tráfego: <20.000 veículos ao dia (baixa intensidade), entre 20.000 e 50.000 veículos ao dia (intensidade moderada) e >50.000 veículos ao dia (alta intensidade).

### **3.3. Preparação de amostras e digestão assistida por micro-ondas**

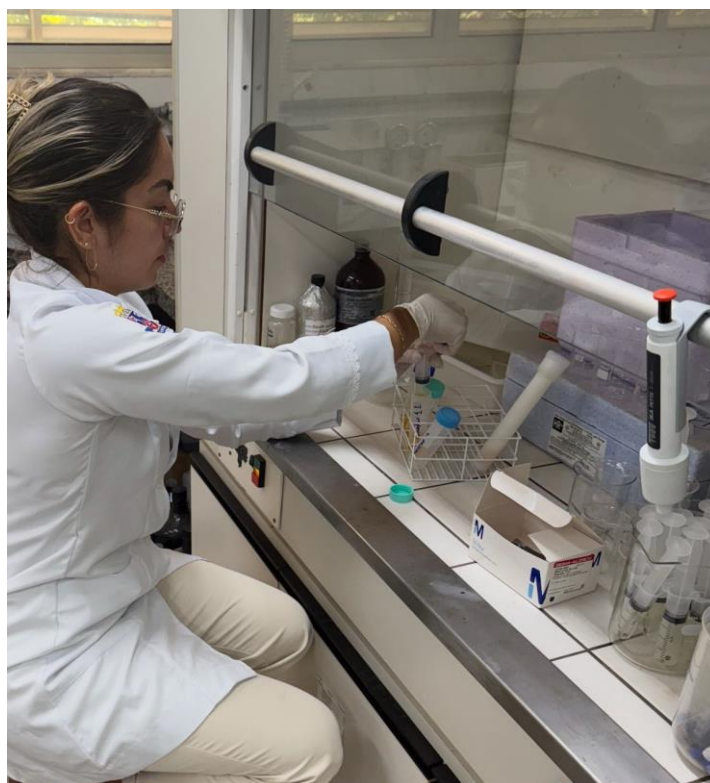
As amostras foram encaminhadas ao laboratório, tamissadas uma segunda vez em peneiras de aço inoxidável com abertura de malha de  $425 \mu\text{m}$  e pesadas 0,5 gramas de cada amostra em balança de precisão analítica.

O material foi transferido para tubos de Teflon® específicos para forno de micro-ondas e adicionado 10,0 mL de ácido nítrico P.A. Merck ( $\text{HNO}_3$ ), com os tubos devidamente lacrados, as amostras foram submetidas a digestão por micro-ondas.

A digestão das amostras de solo em triplicata foi realizada em forno de microondas, marca CEM, modelo MARS6. Aproximadamente 0,5 g de solo foi digerido com 10 mL de ácido nítrico, em pré-aquecimento por 5 min, a uma potência de 1.000 W,

até atingir a temperatura de  $175 \pm 5$  °C, mantida por 10 min. Em seguida, a amostra foi resfriada por cerca 30 min, mantida no interior do aparelho.

As amostras foram filtradas com auxílio de seringas e filtros Millex® com membrana de acetato de celulose com poros de 0,45 µm (Figura 04). Os extratos foram transferidos para balões volumétricos completando-se o volume para 50,0 mL com água ultrapura.



**Figura 04** – Filtragem das amostras retiradas do micro-ondas.

### **3.4. Determinação dos metais**

As determinações multielementares de Al, Ca, Cd, Cu, Fe, K, Mg, Mn, Na, Ni, Pb e Zn foram realizadas utilizando-se um espectrômetro de emissão atômica com plasma induzido por micro-ondas MP AES 4200 da Agilent Technologies (Melbourne, Austrália). Nitrogênio foi extraído do ar utilizando-se um gerador de nitrogênio 4107 (Agilent Technologies, Melbourne, Austrália). O alinhamento da tocha e a calibração do comprimento de onda de cada elemento foram realizados utilizando-se uma solução de calibração em meio de HNO<sub>3</sub> semelhante às amostras, sendo otimizados automaticamente pelo instrumento com o MP Expert Software (versão 1.5.1.0, Agilent Technologies, Melbourne, Austrália).

### 3.5. Análise Estatística

Para a análise descritiva dos dados obtidos nas amostras, foram construídos diagramas de caixa (box plots) com o objetivo de representar visualmente a distribuição das concentrações dos elementos Al, Ca, Fe, K, Mg, Na e dos metais pesados Cd, Cr, Cu, Mn, Pb e Zn entre os diferentes pontos de coleta, agrupados conforme a intensidade do tráfego.

As análises estatísticas foram realizadas com o auxílio do software R®, no qual foi aplicado o teste de Kruskal-Wallis, adotando-se um nível de significância de 10% ( $p < 0,10$ ). Com esse teste é possível verificar se ao menos um dos grupos apresenta distribuição significativamente diferente dos demais.

### 3.6. Avaliação da Contaminação e dos Riscos

Para complementar a avaliação da presença de metais pesados na poeira sedimentada em Vitória da Conquista – BA, foram aplicados três índices amplamente utilizados em estudos ambientais:

- Índice de Contaminação (IC) =  $\frac{Ci}{Bi}$

O IC é calculado pela razão entre a concentração de um metal na amostra e seu valor de background (valor natural de referência). De acordo com Hakanson (1980), valores de IC menores que 1 indicam baixo nível de contaminação.

Para a determinação dos backgrounds, foram utilizados os valores de referência de qualidade (QRVs) estabelecidos por Cardoso *et al.* (2023) no solo de do município, que calcularam o percentil 75 (P75) como referência natural para diversos elementos (Cr = 54,51; Cu = 7,89; Mn = 124,59; Pb = 5,98; Zn = 31,66 mg·kg<sup>-1</sup>). Para o Fe, foi adotado o valor médio local de 24,3 mg·kg<sup>-1</sup> proposto no mesmo estudo. Para os elementos não contemplados nesses trabalhos (Al, Ca, K, Mg e Na), utilizaram-se os valores médios da crosta terrestre de Taylor & McLennan (1985).

- Fator de Enriquecimento (EF) =  $\frac{Ci}{Cref} / \frac{Bi}{Bref}$

O EF compara a proporção de um metal em relação a um elemento de referência com a mesma proporção na crosta terrestre. Valores de EF entre 1 e 3 indicam leve

enriquecimento, entre 3 e 5 indicam enriquecimento moderado, e valores acima de 5 sugerem enriquecimento significativo de origem antrópica (Wei & Yang, 2010).

Para o cálculo, o Fe foi utilizado como elemento de normalização (Sutherland, 2000), onde  $C_{ref}$  corresponde à concentração de Fe na amostra e  $B_{ref}$  ao valor de background de Fe.

- Índice de Risco Potencial Ecológico (PERI) =  $\sum(T \times \frac{C_i}{B_i})$

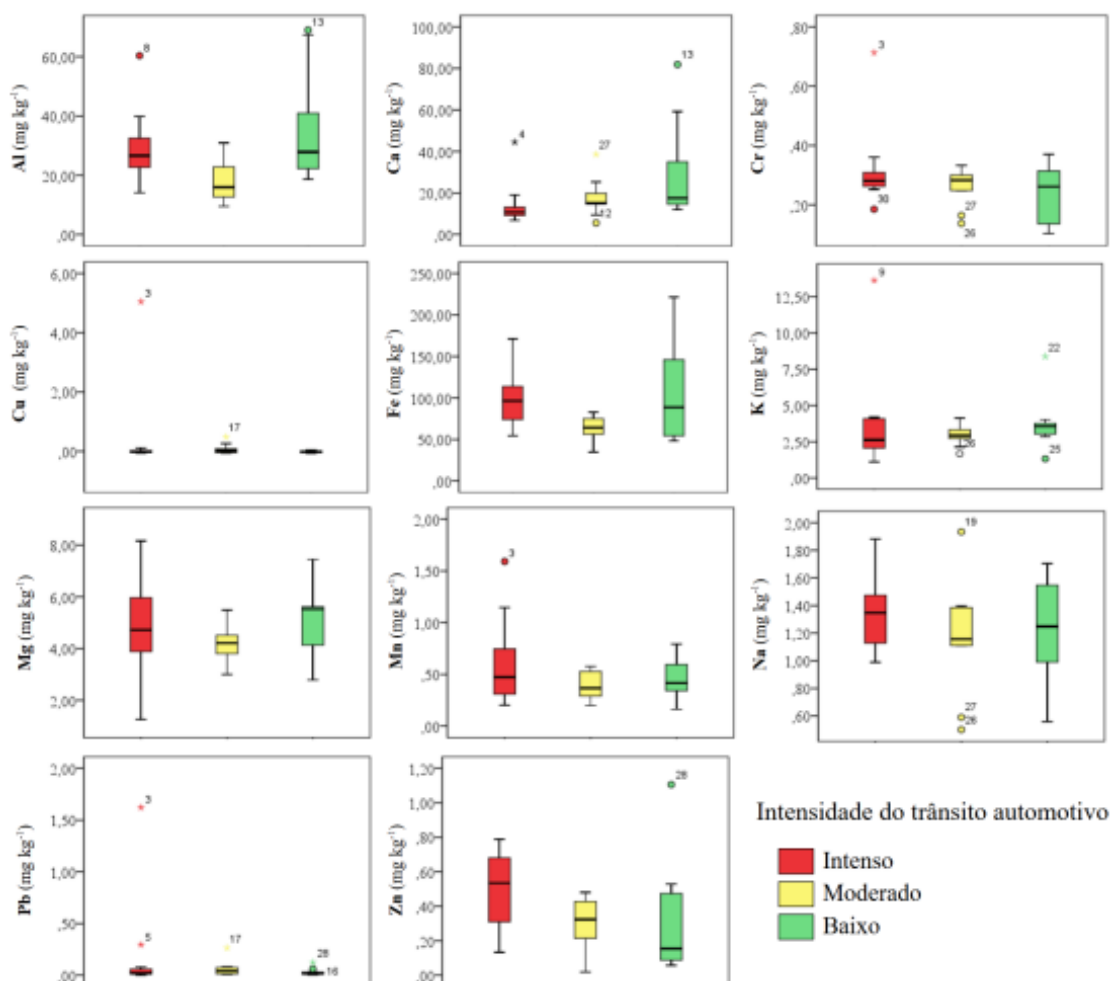
O PERI considera o fator de toxicidade de cada metal, atribuindo pesos diferenciados conforme seu potencial de causar danos ao ecossistema (Hakanson, 1980).

Os cálculos foram realizados com base nas médias das concentrações dos metais por categoria de tráfego (baixo, médio e alto) e os resultados foram posteriormente interpretados de acordo com as faixas de risco estabelecidas na literatura.

## 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1. Avaliação da concentração de elementos e metais nas amostras

Na Figura 5 são apresentados diagramas das concentrações dos elementos Ca, Fe, K, Mg e Na, e dos metais pesados Al, Cr, Cu, Mn, Pb e Zn nas amostras de poeira sedimentada coletadas em vias da cidade de Vitória da Conquista – BA. Com exceção, do elemento cádmio (Cd), onde os valores das concentrações foram menores que o limite de detecção do método e portanto, os dados não foram considerados nas análises estatísticas. A análise gráfica permite observar a distribuição dos dados e a variabilidade entre os pontos de coleta, agrupados conforme a intensidade do tráfego.



**Figura 05** – Box-plot das concentrações de Al, Ca, Cr, Cu, Fe, K, Mg, Mn, Na, Pb e Zn em amostras de material particulado sedimentado em vias públicas da cidade de Vitória da Conquista - BA. A linha horizontal interna das caixas representa a mediana, as extremidades das caixas representam o primeiro e o terceiro quartil, os limites das barras verticais representam os valores máximo e mínimo e os círculos representam os valores extremos.

De acordo com o teste de Kruskal-Wallis a 10% de probabilidade houveram diferenças significativas entre os locais de coleta, agrupados pela estratificação da intensidade do trânsito automotivo para os elementos: Al [ $\chi^2(2) = 8,23$ ;  $p < 0,10$ ]; Ca [ $\chi^2(2) = 6,86$ ;  $p < 0,10$ ]; Fe [ $\chi^2(2) = 5,45$ ;  $p < 0,10$ ] e Zn [ $\chi^2(2) = 4,81$ ;  $p < 0,10$ ]. Esses resultados indicam influência da intensidade de tráfego sobre as concentrações desses elementos.

De modo geral, as concentrações apresentaram baixa magnitude, totalizando menos de 0,1% em massa, tal comportamento pode ser atribuído à natureza mineralógica do material particulado, à granulometria fina das amostras e ao predomínio de fontes naturais de poeira urbana.

As concentrações médias indicam predomínio de Fe e Al em todas as áreas, corroborando estudos de Ferreira-Baptista e Miguel (2005) e Lima *et al.* (2024), que associam esses elementos a contribuições litogênicas, especialmente em solos do tipo Latossolo Vermelho-Amarelo, ricos em óxidos de ferro e alumínio. A elevada presença de Al e Fe está, portanto, relacionada à composição mineralógica local e à suspensão de partículas do solo urbano

Os elementos Ca, K, Mg e Na apresentaram comportamento estável entre os grupos de tráfego, com variações limitadas e ausência de significância estatística. Esses elementos são típicos de fontes naturais e da matriz mineral do solo urbano, podendo também refletir a influência de materiais de construção e deposição de poeira atmosférica (Roganović *et al.*, 2025). Em alguns pontos de baixa intensidade de tráfego, observou-se aumento das concentrações de Ca, provavelmente devido à abrasão de cimento e cal presentes em calçadas e pavimentos (Mostafa *et al.*, 2024).

Os metais traço Cu, Zn, Pb, Cr e Mn, geralmente associados a fontes antrópicas, apresentaram padrões distintos. Cu e Cr mostraram distribuição homogênea entre os grupos, sem diferença estatística significativa, indicando influência limitada do tráfego sobre suas concentrações. Apesar disso, níveis pontuais de Cu mais elevados podem estar relacionados ao desgaste de pastilhas de freio e emissões localizadas (Lima *et al.*, 2023; Mostafa *et al.*, 2024).

O Zn apresentou variação expressiva entre os grupos de tráfego, com diferença significativa no teste de Kruskal-Wallis [ $\chi^2(2)=4,81$ ;  $p<0,10$ ]. Esse elemento é classicamente associado ao desgaste de pneus, lubrificantes e à corrosão de peças galvanizadas. Sua presença mais elevada em áreas de tráfego intenso confirma o papel das atividades veiculares como principal fonte emissora, semelhante aos resultados

encontrados por Lima *et al.* (2023) e Mostafa *et al.* (2024) em áreas urbanas de maior movimentação.

O Mn e o Pb, embora não tenham apresentado significância estatística, mostraram valores pontualmente elevados. O Mn pode ter origem tanto natural quanto antrópica, especialmente em decorrência da queima de combustíveis com aditivos à base de manganês (MMT), conforme discutido por Lima *et al.* (2024). Já o Pb, mesmo após a proibição do uso de chumbo em combustíveis, pode ainda derivar de fontes residuais, como tintas, solos contaminados ou desgaste de componentes metálicos.

Zn apresentou variação expressiva nas concentrações entre os diferentes grupos de tráfego, com presença de valores discrepantes. O teste de Kruskal-Wallis indicou diferença significativa [ $\chi^2(2) = 4,81$ ;  $p < 0,10$ ]. Zn é um metal frequentemente associado ao desgaste de pneus, lubrificantes e à degradação de peças galvanizadas, sendo amplamente documentado como um indicador de poluição urbana associada ao tráfego automotivo (Lima *et al.*, 2023; Lima *et al.*, 2024). Mostafa *et al.* (2024) no Cairo, Egito, também encontraram elevadas concentrações de Zn em vias de tráfego intenso, associando o elemento ao desgaste de pneus e à lixiviação de materiais de construção.

É possível observar que os pontos com maior fluxo veicular tendem a apresentar maiores concentrações de metais associados ao tráfego, enquanto os elementos majoritariamente litogênicos (Fe, Al, K, Mg, Na) mantiveram-se relativamente constantes entre os grupos. Essa tendência é coerente com observações em outras cidades estudadas anteriormente (Lima *et al.*, 2023; Mostafa *et al.*, 2024), nas quais a contribuição veicular é perceptível, mas de magnitude inferior à de grandes centros urbanos.

As concentrações ( $\text{mg kg}^{-1}$ ) dos metais nas áreas de tráfego de baixa intensidade são demonstradas na Tabela 01, na qual pode se observar as seguintes variações: Al de 18,64 a 68,98; Ca de 11,95 a 81,88; Cr de 0,10 a 0,37; Cu de -0,02 a 0,05; Fe de 48,89 a 221,32; K de 1,32 a 8,38; Mg de 2,79 a 7,45; Mn de 0,16 a 0,79; Na de 0,56 a 1,70; Pb de 0,00 a 0,12 e Zn de 0,06 a 1,11.

É possível observar a predominância de Al seguido do Fe, refletindo a contribuição litogênica do solo local. O Ca apresentou maior variabilidade, possivelmente associada à abrasão de materiais de construção, enquanto os demais elementos e metais exibiram valores baixos, compatíveis com o reduzido tráfego automotivo.

**Tabela 01** – Valores mínimos, máximos, média e desvio padrão da concentração de elementos e metais pesados em áreas de baixo fluxo veicular.

<b>Medidas</b>	<b>Al</b>	<b>Ca</b>	<b>Cr</b>	<b>Cu</b>	<b>Fe</b>	<b>K</b>	<b>Mg</b>	<b>Mn</b>	<b>Na</b>	<b>Pb</b>	<b>Zn</b>
Mínimo	18,64	11,95	0,10	-	48,89	1,32	2,79	0,16	0,56	0,00	0,06
Máximo	68,98	81,88	0,37	0,05	221,32	8,38	7,45	0,79	1,70	0,12	1,11
Média	35,74	30,23	0,24	-	101,69	3,76	5,07	0,48	1,19	0,03	0,32
Desvio Padrão	19,56	24,60	0,10	0,04	60,50	1,90	1,39	0,21	0,40	0,04	0,34

As concentrações ( $\text{mg kg}^{-1}$ ) dos elementos avaliados nas áreas de tráfego de média intensidade são apresentadas na Tabela 02, na qual pode se observar as seguintes variações: Al de 9,52 a 30,90; Ca de 5,53 a 38,57; Cr de 0,14 a 0,33; Cu de -0,06 a 0,48; Fe de 34,80 a 82,74; K de 1,68 a 4,14; Mg de 3,00 a 5,49; Mn de 0,20 a 0,58; Na de 0,50 a 1,93; Pb de 0,01 a 0,26 e Zn de 0,02 a 0,48.

As médias de Fe e Al permanecem elevadas, porém com menor amplitude de variação. Nota-se um aumento discreto nas concentrações de Cu e Zn, sugerindo o início da influência das fontes veiculares, como desgaste de pastilhas de freio e pneus. Entretanto, a ausência de significância estatística indica que o impacto ainda é limitado.

**Tabela 02** – Valores mínimos, máximos, média e desvio padrão da concentração de elementos e metais pesados em áreas de médio fluxo veicular.

<b>Medidas</b>	<b>Al</b>	<b>Ca</b>	<b>Cr</b>	<b>Cu</b>	<b>Fe</b>	<b>K</b>	<b>Mg</b>	<b>Mn</b>	<b>Na</b>	<b>Pb</b>	<b>Zn</b>
Mínimo	9,52	5,53	0,14	-	34,80	1,68	3,00	0,20	0,50	0,01	0,02
Máximo	30,90	38,57	0,33	0,48	82,74	4,14	5,49	0,58	1,93	0,26	0,48
Média	18,30	17,55	0,26	0,07	63,53	2,94	4,21	0,39	1,17	0,06	0,31
Desvio Padrão	7,24	9,10	0,06	0,17	14,88	0,70	0,67	0,13	0,41	0,08	0,14

As concentrações ( $\text{mg kg}^{-1}$ ) dos elementos estudados nas áreas de tráfego de alta intensidade são demonstradas na Tabela 03, na qual pode se observar as seguintes variações: Al de 14,10 a 60,36; Ca de 6,73 a 44,48; Cr de 0,18 a 0,71; Cu de -0,05 a 5,05; Fe de 54,49 a 171,26; K de 1,12 a 13,63; Mg de 1,26 a 8,16; Mn de 0,20 a 1,59; Na de 0,99 a 1,88; Pb de 0,00 a 1,62 e Zn de 0,13 a 0,79.

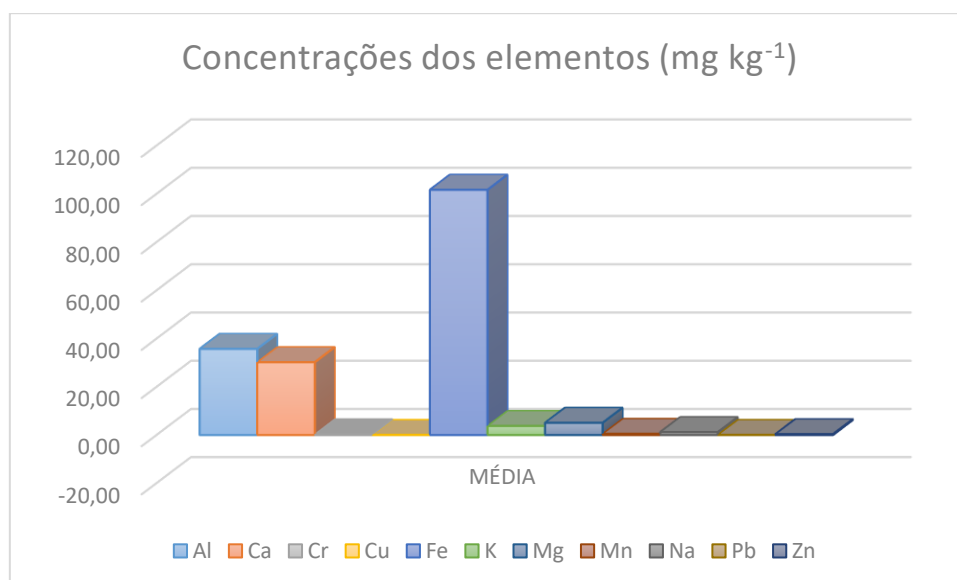
Observa-se aumento expressivo nas concentrações de Cu e Zn, além de maior dispersão para Fe e Al. O Zn destacou-se pela diferença estatística significativa entre os grupos, associando-se a fontes típicas do tráfego automotivo, como desgaste de pneus e

lubrificantes. O Pb apresentou valores isoladamente elevados, possivelmente relacionados a fontes residuais, como tintas e materiais metálicos urbanos.

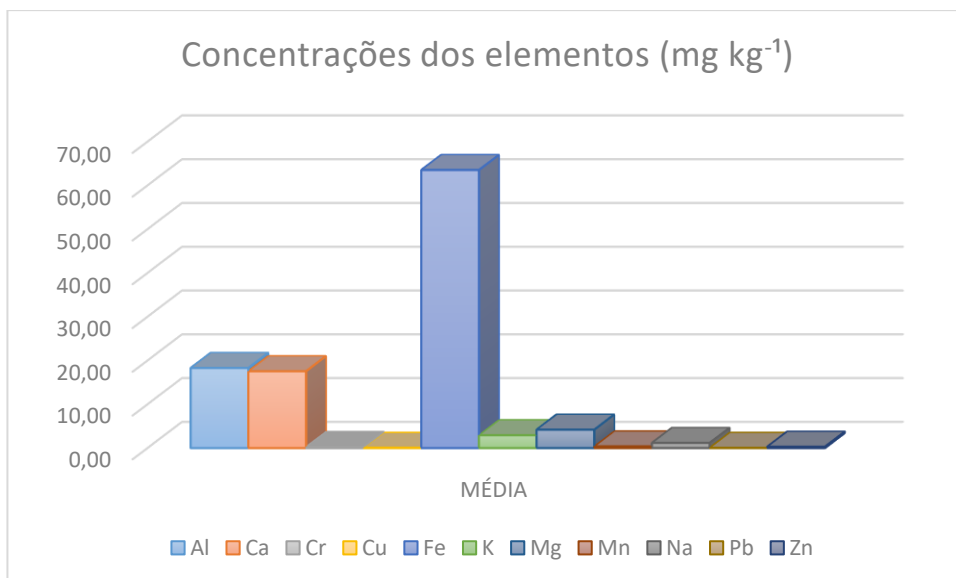
**Tabela 03** – Valores mínimos, máximos, média e desvio padrão da concentração de elementos e metais pesados em áreas de intenso fluxo veicular.

Medidas	Al	Ca	Cr	Cu	Fe	K	Mg	Mn	Na	Pb	Zn
Mínimo	14,10	6,73	0,18	-0,05	54,49	1,12	1,26	0,20	0,99	0,00	0,13
Máximo	60,36	44,48	0,71	5,05	171,26	13,63	8,16	1,59	1,88	1,62	0,79
Média	29,32	14,15	0,32	0,45	100,97	3,76	4,70	0,62	1,33	0,19	0,49
Desvio Padrão	12,43	10,58	0,14	1,53	38,77	3,45	1,98	0,43	0,26	0,48	0,23

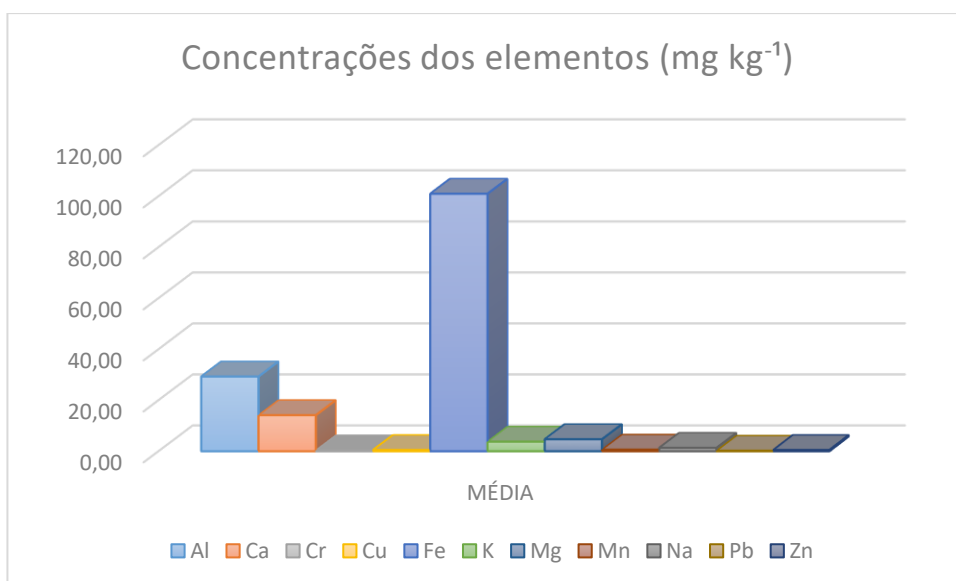
As Figuras 6, 7 e 8 ilustram as concentrações médias dos elementos nos três níveis de tráfego analisados. A distribuição gráfica evidencia tendência de aumento gradual das concentrações de metais associados ao tráfego (Cu, Zn, Pb e Cr) com o incremento da intensidade veicular. Essa relação é mais pronunciada nos valores medianos, sugerindo acúmulo progressivo desses elementos em vias de maior movimentação. Fe e Al mantiveram-se estáveis, reforçando seu caráter litogênico.



**Figura 06** – Representação gráfica da concentração dos elementos avaliados em pontos de baixo fluxo veicular.



**Figura 07** – Representação gráfica da concentração dos elementos avaliados em pontos de médio fluxo veicular.



**Figura 08** – Representação gráfica da concentração dos elementos avaliados em pontos de intenso fluxo veicular.

No geral, houve uma semelhança na concentração de metais na composição química das amostras de poeira em diferentes condições de tráfego, com maior concentração de Fe e Al, semelhante ao que foi encontrado na cidade de Recife por Lima *et al.*, 2024, que relacionaram esse resultado com o solo encontrado ao longo das estradas, visto que apresenta solo do tipo Latossolo, que é conhecido por ser rico em óxidos de Fe e Al.

Todas as vias analisadas apresentaram maior concentração de Ferro que de qualquer outro metal analisado. Analisando as médias dos MPS, Fe foi o de maior concentração, seguido de Al. Vias pouco movimentadas apresentaram maiores concentrações de metais, principalmente aquelas que são rotas de ônibus (maior utilização de freios). Ferreira-Baptista e Miguel (2005) encontram altos níveis de Pb na cidade de Luanda, na Angola, diferente dos resultados obtidos nesse trabalho e em outras cidades do Brasil, tal situação pode ser explicada à proibição do chumbo tetraetila como aditivo na gasolina no Brasil.

#### 4.2. Avaliação da contaminação e dos riscos por meio de índices ambientais

A aplicação dos índices ambientais permitiu avaliar de forma integrada a contaminação por metais pesados na poeira sedimentada urbana e a influência do tráfego veicular em Vitória da Conquista – BA. A partir dos valores de referência locais (QRVs, percentil 75), estabelecidos por Cardoso *et al.* (2023; 2024) para os solos da região, foi possível identificar variações importantes nos índices de contaminação (IC), fator de enriquecimento (EF) e risco ecológico potencial (PERI).

Em todas as áreas analisadas, os valores de IC (Tabela 04) para os metais avaliados permaneceram, em sua maioria, abaixo de 0,01, com exceção do Cu em tráfego de alta intensidade, Pb em tráfego de média e alta intensidade e Zn em baixa e alta intensidade veicular. Os resultados sugerem que a contaminação ainda se encontra em níveis baixos. O Cu apresentou IC de até 0,0570 nas vias de tráfego intenso, o Pb atingiu 0,0318 e o Zn chegou a 0,0155, sugerindo acúmulo expressivo desses elementos em áreas mais movimentadas.

Os baixos valores de IC observados em Vitória da Conquista são semelhantes aos encontrados por Lima *et al.* (2024) em Recife – PE e por Gunawardana *et al.* (2015) para Cr e Zn em Colombo, Sri Lanka, que também identificaram baixos níveis de IC para Cu, Pb e Zn em áreas urbanas pavimentadas.

**Tabela 04** – Índice de Contaminação (IC) dos metais pesados nos diferentes níveis de tráfego urbano em Vitória da Conquista – BA.

Metal	Baixo Tráfego	Médio Tráfego	Alto Tráfego
Al	0,0004	0,0002	0,0004
Ca	0,0006	0,0004	0,0003

Cr	0,0044	0,0048	0,0059
Cu	-	0,0089	0,0570
Fe	0,0042	0,0026	0,0042
K	0,0002	0,0001	0,0004
Mg	0,0004	0,0003	0,0050
Mn	0,0039	0,0031	0,0007
Na	0,0001	0,0001	0,0001
Pb	0,0050	0,0100	0,0318
Zn	0,0101	0,0098	0,0155

Ao se analisar o FE (Tabela 05), os resultados indicaram valores expressivos para o Cu (13,73) e o Pb (7,65) em vias de tráfego intenso, caracterizando enriquecimento antrópico significativo. Em Luanda, Angola, Ferreira-Baptista e De Miguel (2005) também reportaram valores de  $EF > 6$  para Pb em ruas de tráfego elevado, reforçando o papel do tráfego como principal fonte de enriquecimento urbano.

O Zn também apresentou valores acima de 2 em todos os níveis de tráfego, indicando enriquecimento leve, apontando para contribuições constantes de fontes como desgaste de pneus, peças galvanizadas e lubrificantes (Lima *et al.*, 2023; Mostafa *et al.*, 2024). O Cr e o Fe apresentaram valores acima de 1, indicando enriquecimento leve a moderado, possivelmente relacionado à composição do solo e ao desgaste de componentes metálicos.

**Tabela 05** – Fator de Enriquecimento (EF) dos metais pesados nos diferentes níveis de tráfego urbano em Vitória da Conquista – BA.

<b>Metal</b>	<b>Baixo Tráfego</b>	<b>Médio Tráfego</b>	<b>Alto Tráfego</b>
<b>Al</b>	0,11	0,09	0,09
<b>Ca</b>	0,14	0,13	0,07
<b>Cr</b>	1,05	1,82	1,41
<b>Cu</b>	-	3,39	13,73
<b>Fe</b>	1,00	1,00	1,00
<b>K</b>	0,04	0,06	0,05
<b>Mg</b>	0,09	0,12	0,09
<b>Mn</b>	0,92	1,20	1,20
<b>Na</b>	0,01	0,02	0,01
<b>Pb</b>	1,20	3,84	7,65
<b>Zn</b>	2,42	3,75	3,72

Os valores obtidos foram na avaliação do PERI (Tabela 06) foram 0,04 (baixo tráfego), 0,11 (médio tráfego) e 0,47 (alto tráfego), tal resultado aponta risco ecológico

muito baixo, o que é semelhante ao reportado por Aguilera *et al.* (2022) na Cidade do México, onde o PERI também se manteve abaixo de 10 na maior parte da malha urbana.

**Tabela 06** – Índice de Risco Ecológico Potencial (PERI) total calculado para os diferentes níveis de tráfego urbano em Vitória da Conquista – BA.

<b>Grupo de Tráfego</b>	<b>PERI Total</b>
<b>Baixo</b>	0,04
<b>Médio</b>	0,11
<b>Alto</b>	0,47

Embora todos estejam muito abaixo do limite de 150, que indica risco ecológico relevante, é importante notar o crescimento progressivo com o aumento da intensidade do tráfego, o que sugere que, em um cenário de expansão urbana, esses valores podem se tornar mais críticos a longo prazo.

## 5. CONCLUSÕES

Os resultados demonstraram que, embora as concentrações absolutas dos metais tenham se mantido, em geral, abaixo dos valores de referência para solos, houve um aumento consistente nas médias de Cr, Cu, Pb e Zn nas áreas de tráfego médio e alto. A análise estatística evidenciou diferenças significativas para alguns elementos (como Al, Ca, Fe e Zn), sugerindo uma relação entre o fluxo veicular e a presença desses contaminantes.

Em relação aos índices ambientais avaliados, o IC indicou níveis baixos de contaminação em todas as áreas, enquanto o EF revelou enriquecimento antrópico expressivo para Cu e Pb nas vias de tráfego intenso, possivelmente associado ao desgaste de freios, pneus, combustíveis e lubrificantes e o PERI, por sua vez, apontou um risco ecológico baixo, embora crescente com o aumento do tráfego.

Portanto, é possível dizer que o tráfego urbano é uma fonte relevante de metais pesados na poeira das vias públicas, ainda que os impactos ecológicos imediatos sejam baixos. O processo de urbanização crescente demonstra a necessidade de monitoramento contínuo e de ações preventivas, como melhorias na mobilidade urbana, políticas de redução de emissões veiculares e educação ambiental.

## 6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Adimalla, N.; Qian, H.; Hang, H. 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**, v. 191, p. 1-15, 2019.
- Aguilera, A.; Bautista, F.; Gutiérrez-Ruiz, M.; Cenicerros-Gómez, A. E.; Cejudo, R.; Goguitchaichvili, A. Heavy metal pollution of street dust in the largest city of Mexico, sources and health risk assessment. **Environmental Monitoring and Assessment**, v. 193, n. 4, p. 193, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s10661-021-08993-4>.
- Aguilera, A. Corté, J. L.; Delgado, C.; Aguilar, Y.; Aguilar, D.; Cejudo, R.; Quitana, P.; Goguitchaichvili, A.; Bautista, F. Heavy metal contamination (Cu, Pb, Zn, Fe, and Mn) in urban dust and its possible ecological and human health risk in Mexican cities. **Frontiers in Environmental Science**, v. 195, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.3389/fenvs.2022.854460>.
- Ali, M. U. Liu, G.; Yousaf, B.; Ullah, H.; Abbas, Q.; Munir, M. A. M.; Irshad, S. Biomonitoring and health risks assessment of trace elements in various age- and gender-groups exposed to road dust in habitable urban-industrial areas of Hefei, China. **Environmental Pollution**, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2018.10.084>.
- Alves, M. A. R.; Santos, M. J.; Machado, K. S.; Moura, J. C.; Alvarenga, R. L. M. Biodegradação de corantes por extrato enzimático de Agaricomycetes cultivado em meio líquido. **Journal of Education, Science and Health**, v. 5, n. 2, p. 1–14, 2025. Disponível em: <https://bio10publicacao.com.br/jesh/article/view/549>. Acesso em: 4 jun. 2025.
- Amiyniyani, M.; Baalousha, M.; Amiyniyani, F. Evolution of human health risk based on EPA modeling for adults and children and pollution level of potentially toxic metals in Rafsanjan road dust: a case study in a semi-arid region, Iran. **Environmental Science and Pollution Research**, v. 25, n. 20, p. 19767–19778, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s11356-018-2176>.
- Andrade, A.; Aguilera, A.; Gallegos, Á.; Aguilar, Y.; Quintana, P.; Bautista, F. Heavy metals in urban dust inside and outside homes during the Covid-19 pandemic in

- Mérida, Yucatán, México. **Air Quality, Atmosphere & Health**, v. 16, p. 2337–2349, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s11869-023-01410-4>.
- Andrade, M. T.; Veador, M. A. R.; Menezes, M. A. B.; Alípio, V. C. Análise da concentração de metais pesados no rio Piracicaba, Minas Gerais. *In: XXX Encontro Nacional de Engenharia de Produção*, 2010, São Carlos - SP. **Anais...** São Carlos: ABEPRO - Associação Brasileira de Engenharia de Produção, 2010.
- Barros, D. C.; Carvalho, G.; Ribeiro, M. A. Processo de biossorção para remoção de metais pesados por meio de resíduos agroindustriais: uma revisão. **Revista Biotecnologia & Ciência**, v. 6, n. 1, p. 01–15, 2017.
- BRASIL. **Registro Nacional de Sinistros e Estatísticas de Trânsito (RENAEST)**. Secretaria Nacional de Trânsito – SENATRAN, 2024. Disponível em: <https://www.gov.br/transportes/pt-br/assuntos/transito/arquivos-senatran/docs/renaest>.
- Cabral, L. O.; Veiga, A. J. P.; Matta, J. M. B. da. Climatologia e saúde: o ensino dos elementos meteorológicos e sua relação com a incidência de doenças respiratórias. **Colóquio do Museu Pedagógico**, v. 1, 2015.
- Cardoso, K. M.; Boechat, C. L.; Nascimento, C. W. A.; Escobar, M. E. O.; Silva, D. G.; Lins, S. A. S.; Oliveira, R. L.; Morais, P. G. C. Watershed-scale assessment of environmental background values of soil potential toxic elements from the Caatinga and Atlantic forest ecotone in Brazil. **Chemosphere**, v. 338, 9 p., 2023. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2023.139394>.
- Cardoso, K. M.; Nascimento, C. W. A.; Lins, S. A. S.; Nascimento, C. C.; Oliveira, R. L.; Silva, D. G.; Morais, P. G. C.; Boechat, C. L. Assessing ecological risks and spatial distribution of potentially toxic elements in soils from anthropized environments in a watershed at the caatinga-Atlantic forest ecotone in Brazil. **Environmental Research**, v. 249, p. 118423, 2024. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.envres.2024.118423>
- Carvalho, C. *et al.* Avaliação da poluição do ar e seus efeitos na saúde pública nas grandes cidades brasileiras. **Revista Brasileira de Saúde Ambiental**, v. 38, n. 2, p. 134-145, 2021.
- Charlesworth, S. M.; Everett, M.; McCarthy, R.; Orr, D.; Mediterranean, F.; Hodson, M. E. A review of the distribution of particulate trace elements in urban terrestrial environments and its application to considerations of risk. **Environmental Geochemistry and Health**, v. 33, p. 103–123, 2011.

- Chu, D. Effects of heavy metals on soil microbial community. **IOP Conference Series: Earth and Environmental Science**, v. 113, p. 012009, 2018.
- Cogo, M. M. R.; Lopes, A. M.; Vielmo, P. G. Capacidade de absorção, distribuição e efeitos morfológicos causados por cádmio em plantas. **Revista Multidisciplinar de Educação e Meio Ambiente**, v. 1, p. 56, 2020.
- Colla, L. M.; Rossi, A. de; Deon, M. C.; Dal'Magro, C.; Reinehr, C. O. Biossorção de cromo hexavalente de efluente utilizando resíduos agroindustriais fermentados por cepas de *Aspergillus*. **Science & Engineering Journal**, São Paulo, p. 67–70, dez. 2014.
- CONAMA – Conselho Nacional do Meio Ambiente. Resolução nº 420, de 28 de dezembro de 2009. Dispõe sobre critérios e valores orientadores de qualidade do solo quanto à presença de substâncias químicas e estabelece diretrizes para o gerenciamento de áreas contaminadas. **Diário Oficial da União: seção 1**, Brasília, DF, 30 dez. 2009. Disponível em: <https://www.in.gov.br/web/dou/-/resolucao-n-420-de-28-de-dezembro-de-2009-20198759>. Acesso em: 21 maio 2025.
- Cui, Y.; Zhu, Y. G.; Zhao, Y.; Chen, X. D.; Yang, X. Risk assessment of heavy metals in street dusts for children in an urban area of China. **Science of the Total Environment**, v. 409, n. 23, p. 4602–4610, 2019.
- De Miguel, E.; Iribarren, I.; Charlesworth, S.; Ortiz, I. Metal concentration in urban playground soils in Madrid (Spain): relationship with traffic density. **Environmental Pollution**, v. 156, p. 137–144, 2007.
- Delman, I. P.; Almeida, J. R. Abordagens na mitigação dos efeitos da contaminação por metais pesados na bacia hidrográfica da Baía de Guanabara. **Natural Resources**, v. 12, n. 2, p. 66-73, 2022. Disponível em: <http://doi.org/10.6008/CBPC2237-9290.2022.002.0007>. Acesso em: 07 maio 2025.
- DENATRAN. **Frota de veículos no Brasil. Departamento Nacional de Trânsito**, 2024. Disponível em: <https://www.denatran.gov.br>.
- Duffus, J. H. Heavy metals – a meaningless term? **Pure and Applied Chemistry**, v. 74, n. 5, p. 793–807, 2002. Disponível em: <https://doi.org/10.1351/pac200274050793>. Acesso em: 4 jun. 2025.
- Elnazer, A. A.; Salman, S. A.; Seleem, E. M.; Abu El Ella, E. M. Assessment of some heavy metals pollution and bioavailability in roadside soil of Alexandria-Marsa

- Matruh Highway, Egypt. **International Journal of Ecology**, v. 2015, p. 1–7, 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.1155/2015/689420>.
- Estrela, M. A.; Chaves, L. H. G.; Silva, L. N. Fitorremediação como solução para solos contaminados por metais pesados. **Revista Ceuma Perspectivas**, v. 31, 2018. ISSN 2525-5576.
- FAO – FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS. **World Soil Charter**. Rome: FAO, 2015b. Disponível em: <http://www.fao.org/3/a-i4965e.pdf>. Acesso em: 05e
- Fernandes, J. A. F.; Silva, L. de N. A. Técnicas de biorremediação microbiana de solos contaminados com metais pesados. In: **CONGRESSO BRASILEIRO DE GESTÃO AMBIENTAL**, 12., 2021, Salvador. Anais [...]. Salvador: Instituto Brasileiro de Estudos Ambientais – IBEAS, 2021. Disponível em: <https://www.ibeas.org.br/congresso/Trabalhos2021/PDF/10.pdf>. Acesso em: 01 maio 2025.
- Ferreira-Baptista, L.; De Miguel, E. Geoquímica e avaliação de risco: gestão da poeira das ruas em Luanda, Angola – um ambiente urbano tropical. **Atmospheric Environment**, v. 39, p. 4501–4512, 2005.
- Francischetti, J. Remoção de metais pesados em efluentes líquidos através da filtração adsorptiva. 2004. 81 f. **Dissertação** (Pós-Graduação em Engenharia Química) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2004.
- Gunawardana, C. G.; Egodawatte, S.; Rodrigo, C.; Goonetilleke, A. The influence of traffic on atmospheric metal concentrations in urban road dust. **Atmospheric Environment**, v. 101, p. 246–253, 2015.
- Hakanson, L. An ecological risk index for aquatic pollution control: A sedimentological approach. **Water Research**, v. 14, n. 8, p. 975–1001, 1980.
- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA**. Vitória da Conquista – Panorama. Rio de Janeiro: IBGE, 2024. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/ba/vitoria-da-conquista/panorama>. Acesso em: 26 abril 2025.
- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA**. Gestão do Território. Rio de Janeiro: IBGE, 2025. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/geociencias/organizacao-do-territorio/redes-e-fluxos-geograficos/15795-gestao-do-territorio.html>. Acesso em: 26 abril 2025.

- Kim, J. J.; Kim, Y. S.; Kumar, V. Heavy metal toxicity: an update of chelating therapeutic strategies. **Journal of Trace Elements in Medicine and Biology**, v. 54, p. 226-231, 2019.
- Kumar, A.; Singh, M.; Pandey, S.; Sharma, P. Recent advances in phytoremediation of heavy metals: mechanisms, strategies and applications. **Environmental Nanotechnology, Monitoring & Management**, v. 18, p. 100753, 2022.
- Lima, L. H. V.; Silva, F. B. V.; Araújo, P. R. M.; Alvarez, A. M.; Pôrto, K. C.; Nascimento, C. W. A. Assessing heavy metal contamination in a Brazilian metropolis: a case study with a focus on (bio)indicators. **Environmental Monitoring and Assessment**, v. 196, n. 481, 2024. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s10661-024-12661-8>.
- Li, X.; Gao, H.; Xu, Z.; Liu, L. Sources, spatial distribution and health risk assessment of heavy metals in road dust from a megacity in China. **Environmental Science and Pollution Research**, v. 28, n. 34, p. 46975–46988, 2021.
- Liu, Z. Y. Pan, S.; Sun, Z.; Ma, R.; Chen, L.; Wang, Y.; Wang, S. Heavy metal spatial variability and historical changes in the Yangtze River Estuary and north Jiangsu tidal flat. **Marine Pollution Bulletin**, v. 98, n. 2, p. 115–129, 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2015.07.006>.
- Lough, G. C.; Schauer, J. J.; Park, J. S.; Shah, D. H.; Deminter, J. T.; Witting, C. Emissions of metals associated with motor vehicle roadways. **Environmental Science & Technology**, Washington, v. 39, n. 3, p. 826–836, 2005.
- Marcelino, R. L. Comportamento climático do município de Vitória da Conquista em relação ao El Niño (atualização). **Brazilian Journal of Animal and Environmental Research**, Curitiba, v. 4, n. 2, p. 2156–2173, abr./jun. 2021. DOI: 10.34188/bjaerv4n2-048.
- Mostafa, M. T.; El-Nady, H.; Gomaa, R. M.; Abdelgawad, H. F.; Abdelhafiz, M. A.; Salman, S. A. E.; Khalifa, I. H. Urban geochemistry of heavy metals in road dust from Cairo megacity, Egypt: enrichment, sources, contamination, and health risks. **Environmental Earth Sciences**, v. 83, n. 1, p. 37, 2024.
- Mouro, V. G. S. Martins, A. L. P.; Silva, J.; Menezes, T. P.; Gomes, M. L. M.; Oliveira, J. A.; Melo, F. C. S. A.; Matta, S. L. P. Subacute testicular toxicity to cadmium exposure intraperitoneally and orally. **Oxidative Medicine and Cellular Longevity**, v. 2019, p. 1-14, 2019. Disponível em: <http://doi.org/10.1155/2019/3429635>. Acesso em: 03 de maio de 2025.

- Prefeitura Municipal de Vitória da Conquista (PMVC). **Cidade de Vitória da Conquista: economia.** 2013. Disponível em: <http://www.pmvc.ba.gov.br/v2/economia/>. Acesso em: 07 de maio de 2025.
- Prefeitura Municipal de Vitória da Conquista (PMVC).** Vitória da Conquista aparece entre as cinco maiores cidades da Bahia em gestão empresarial e gestão pública. Publicado em 28 mar. 2025. Disponível em: <https://www.pmvc.ba.gov.br/vitoria-da-conquista-aparece-entre-as-cinco-maiores-cidade-da-bahia-em-gestao-empresarial-e-gestao-publica/>. Acesso em: 26 abril 2025.
- Rocha, C. H. B.; Azevedo, L. P. de. Avaliação da presença de metais pesados nas águas superficiais da Bacia do Córrego São Mateus, Juiz de Fora (MG), Brasil. **Revista Espinhaço**, v. 4, n. 2, p. 33–44, 2015.
- Roganović, J.; Relić, D.; Zarić, M.; Urošević, M. A.; Zinicovscaia, I.; Ilijević, K.; Zarić, N. M. Rare earth elements and health risk assessment of road dust from the vicinity of coal fired thermal power plants. **Chemosphere**, v. 377, 144329, 2025. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2025.144329>.
- Santos, A. V.; Carvalho, M. D. Cooperativismo e economia solidária: formas de organização do trabalho de catação em Vitória da Conquista/BA. **Revista Pegada**, Presidente Prudente, v. 16, n. 2, dez. 2015.
- Santos, L. M. G.; Neto, S. A. V.; Iozzi, G.; Jacob, S. C. Arsenic, cadmium and lead concentrations in Yerba mate commercialized in Southern Brazil by inductively coupled plasma mass spectrometry. **Ciência Rural**, v. 47, 2017.
- Savassi, L. A. Efeitos da contaminação por metais pesados e biomarcadores de impacto ambiental em peixes da bacia do rio São Francisco, MG. 2019. 154 f. **Tese** (Doutorado em Biologia Celular) – Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2019. Disponível em: <https://repositorio.ufmg.br/handle/1843/32082>. Acesso em: 3 jun. 2025.
- Sharma, B.; Singh, S.; Kumar, A. Bioresources and microbial strategies for the remediation of heavy metal-contaminated soils: a comprehensive review. **Journal of Environmental Management**, v. 295, p. 113091, 2021.
- Shi, G.; Wang, X.; Zhang, Y.; Li, H.; Liu, Y.; Liu, J.; Liu, X.; Zhou, Q. Contamination characteristics, ecological risk and source apportionment of urban topsoil heavy metals in China: A meta-analysis. **Science of the Total Environment**, v. 741, p. 140233, 2020.

- Sousa, J. Dos S.; Santos, M. M.; Santos, B. N.; Santos, N. M. M.; Pinto, L. C. Os metais pesados são componentes naturais encontrados na crosta terrestre e incorporados aos organismos vivos através dos alimentos, da água e do ar. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 14, n. 1, p. 322-331, 2021.
- Souza, A. K. R.; Morassuti, C. Y.; Deus, W. B. de. Poluição do ambiente por metais pesados e utilização de vegetais como bioindicadores. **Acta Biomedica Brasiliensia**, v. 9, n. 3, p. 95–106, 2018. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.18571/acbm.189>. Acesso em: 3 jun. 2025.
- Souza, E. F. de; Nobrega, M. A. dos S.; Pontes, M. da S. Musgos como bioindicadores de metais pesados no ambiente. **Acta Biomedica Brasiliensia**, v. 8, n. 2, p. 13, 2017. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.18571/acbm.136>. Acesso em: 4 jun. 2025.
- Souza, V. L. B.; Lima, V.; Hazin, C. A.; Fonseca, C. K. L.; Santos, S. O. Biodisponibilidade de metais-traço em sedimentos: uma revisão. **Brazilian Journal of Radiation Sciences**, v. 3, p. 01–13, 2015.
- Taylor, S. R.; McLennan, S. M. The continental crust: its composition and evolution. Oxford: **Blackwell Scientific Publications**, 1985. 312 p.
- Tchounwou, P. B.; Yedjou, C. G.; Patlolla, A. K.; Sutton, D. J. Heavy metals and toxicity and the environment. *Molecular, Clinical and Environmental Toxicology*, v. 101, n. 1, p. 133–164, 2012.
- Teixeira, D. C. L.; Moreira, I. F. V.; Coelho, M. A.; Amaral, Y. F. Q.; Cupertino, M. do C. Exposure to inorganic environmental contaminants and damage to human health. *Brazilian Journal of Health Review*, v. 3, n. 4, p. 10353-10369, 2020.
- UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY (USEPA). **Risk Assessment Guidance for Superfund: Volume I – Human Health Evaluation Manual (Part A)**. EPA/540/1-89/002, Washington, DC, 2001.
- Vardhan, K. H.; Singh, S. K.; Meena, R. S.; Singh, R. P.; Kumar, S. Heavy metals in urban roadside dust: a case study from India. **Environmental Monitoring and Assessment**, v. 191, n. 2, p. 122, 2019.
- Wang, X.; Li, J.; Yan, Z.; Chen, Y.; Zhang, Q. Spatial distribution and risk assessment of heavy metals in urban dust of a typical industrial city in China. **Environmental Pollution**, v. 268, p. 115880, 2021.

- Wei, B.; Yang, L. A review of heavy metal contaminations in urban soils, urban road dusts and agricultural soils from China. **Microchemical Journal**, v. 94, p. 99–107, 2010.
- Zhang, Y.; Chen, X.; Liu, Y.; Li, J. Ecological and health risk assessment of heavy metals in road dust from a metropolitan city in Southeast Asia. **Chemosphere**, v. 304, p. 135312, 2022.
- Zheng, N.; Wang, Q.; Ning, Z.; Wang, J.; Wang, T.; Zhang, X. Human health risk assessment of heavy metals in street dust of Baoji, NW China. **Science of the Total Environment**, v. 408, n. 19, p. 726–733, 2010.
- Žibret, G. Influences of coal mines, metallurgical plants, urbanization and lithology on the elemental composition of street dust. *Environmental Geochemistry and Health*, v. 41, n. 3, p. 1489–1505, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s10653-018-0228-3>.