



UNIVERSIDADE ESTADUAL DE MARINGÁ
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
Programa de Pós-Graduação em Ciência de Alimentos

**OCORRÊNCIA, AVALIAÇÃO DA EXPOSIÇÃO E
CARACTERIZAÇÃO DE RISCO AOS METAIS NÃO
ESSENCIAIS (Al, As, Cd e Pb) EM *Lactuca sativa* L.
CULTIVADOS EM HORTAS URBANAS EM UM MUNICÍPIO
NO SUL DO BRASIL**

VERIDIANA DE ALMEIDA FLORES DE OLIVEIRA

Maringá 2025

Dados Internacionais de Catalogação-na-Publicação (CIP)
(Biblioteca Central - UEM, Maringá - PR, Brasil)

O48o

Oliveira, Veridiana de Almeida Flores de

Ocorrência, avaliação da exposição e caracterização de risco aos metais não essenciais (Al, As, Cd e Pb) em *Lactuca sativa* L. cultivados em hortas urbanas em um município no sul do Brasil / Veridiana de Almeida Flores de Oliveira. -- Maringá, PR, 2025. 33 f. : il., figs., tabs.

Orientador: Prof. Dr. Miguel Machinski Junior .
Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual de Maringá, Centro de Ciências Agrárias, Programa de Pós-Graduação em Ciência de Alimentos, 2025.

1. Alface (*Lactuca sativa* L.). 2. Hortas urbanas - Região Sul - Brasil. 3. Metais não essenciais . 4. Metais tóxicos. 5. Segurança alimentar. I. Machinski Junior , Miguel , orient. II. Universidade Estadual de Maringá. Centro de Ciências Agrárias. Programa de Pós-Graduação em Ciência de Alimentos. III. Título.

CDD 23.ed. 664.805

Elaine Cristina Soares Lira - CRB-9/1202

VERIDIANA DE ALMEIDA FLORES DE OLIVEIRA

"OCORRÊNCIA, AVALIAÇÃO DA EXPOSIÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DE RISCO AOS METAIS NÃO ESSENCIAIS (AL, AS, CD E PB) EM *Lactuca sativa* L. CULTIVADOS EM HORTAS URBANAS EM UM MUNICÍPIO NO SUL DO BRASIL"

Dissertação apresentada à Universidade Estadual de Maringá, como parte das exigências do Programa de Pós-graduação em Ciência de Alimentos, para obtenção do grau de Mestre em Ciência de Alimentos.



Prof. Dr. Benício Alves de Abreu Filho



Prof. Dr. Samuel Botião Nerilo



Prof. Dr. Miguel Machinski Junior
Orientador

Maringá – 2025

Orientador

Prof. Dr. Miguel Machinski Junior

BIOGRAFIA

Veridiana de Almeida nasceu em 26 de outubro, na cidade de Niterói, região metropolitana do Rio de Janeiro. Graduada em Tecnologia de Alimentos pela Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR) em Londrina, também é analista de alimentos habilitada pela mesma instituição. Sua trajetória profissional inclui experiências em pesquisa microbiológica e desenvolvimento de produtos no setor alimentício. Durante o mestrado, aprofundou seus estudos sobre contaminantes emergentes, com ênfase em metais não essenciais em hortaliças provenientes de hortas comunitárias. Além disso, possui ampla experiência como curadora de produtos, atuando na avaliação da qualidade de matérias-primas para o desenvolvimento de alimentos e cosméticos seguros. Seu trabalho alia conhecimento técnico, segurança e sustentabilidade, contribuindo para escolhas mais conscientes no mercado.

Dedico

A *Elhoim* Deus, meu guia e sustento, dedico este trabalho. Foi pela Sua graça e direção que consegui trilhar o caminho até este propósito. A Ti, Senhor, toda honra, glória.

AGRADECIMENTOS

Agradeço, primeiramente, a *Elhoim*, meu Deus, fonte de toda força e direção. A Ti, Senhor, toda honra, glória e gratidão, pois em cada desafio e conquista senti tua mão me guiando e inspirando. Este trabalho é reflexo do Teu amor e propósito em minha vida.

À Maria Helena, que nunca desistiu de mim, que me amou de forma incondicional e esteve ao meu lado nos momentos mais desafiadores. Suas orações e conselhos foram um suporte essencial nessa caminhada, e serei eternamente grata por sua presença em minha vida.

Ao meu orientador, professor Miguel, meu agradecimento especial por confiar em mim e pelas orientações que me ajudaram a finalizar este projeto. Sua presença e apoio marcaram profundamente essa trajetória.

À Juliana Castro, por sua dedicação e acompanhamento ao longo desta jornada. Seus ensinamentos foram importante para o desenvolvimento deste trabalho.

À minha amiga Fernanda Castro, que esteve comigo nos momentos cruciais de mudança em minha vida, sempre compartilhando amizade sincera e apoio verdadeiro. À Carol Trentini, uma incentivadora incansável, que esteve ao meu lado para tudo o que precisei. Juntas, vivemos momentos de descontração e alegria, sempre cercados por nossas comidas – um bom café, vinho e focaccia que tornaram nossa amizade ainda mais especial.

Ao professor Bruno Lemos, que me recebeu com generosidade em seu laboratório na UFABC, proporcionando uma experiência única e marcante em minha trajetória acadêmica.

Por fim, dedico este trabalho a mim mesma, pela determinação e coragem de seguir em frente. Esta conquista é fruto de muito esforço e dedicação, e olhar para trás com orgulho é, sem dúvida, uma das maiores recompensas dessa jornada.

APRESENTAÇÃO

Esta dissertação de mestrado está apresentada na forma de um artigo científico.

VERIDIANA DE ALMEIDA FLORES DE OLIVEIRA, CAROLINE CRISTINE AUGUSTO, BRUNO LEMOS BATISTA, CAROLINE WOLF TRENTINI SCHIPFER, HAWARD ANTUNNY DA SILVA AMÉRICO, VANDERLY JANEIRO, RAÍSSA FERREIRA DO PRADO PIMENTA BORRASCA, JULIANA CRISTINA CASTRO, MIGUEL MACHINSKI JUNIOR. OCCURRENCE, EXPOSURE EVALUATION AND RISK CHARACTERIZATION OF NON-ESSENTIAL METALS (Al, As, Cd and Pb) IN *Lactuca sativa* L. GROWN IN URBAN VEGETABLE GARDENS IN A MUNICIPALITY IN SOUTHERN BRAZIL. SUBMETIDO NA REVISTA: FOOD AND CHEMICAL TOXICOLOGY.

GENERAL ABSTRACT

The increase in demand for natural products, including leafy vegetables, also increases concern about the safety and quality of these foods. Among the leafy vegetables, lettuce (*Lactuca sativa* L.) stands out as one of the largest consumption worldwide due to its easy cultivation, available throughout the year. Lettuce is a source of fiber, iron, folate, vitamin C and bioactive compounds such as polyphenols and carotenoids, which have antioxidant and anti-inflammatory properties. In Brazil, although there are studies on metal contamination in food, there is no data applied specifically to vegetables grown in urban community gardens that evaluate the risk of weekly intake. Thus, considering the absence of data on the toxicological risks associated with metals (Al, As, Cd and Pb) present in lettuce from urban gardens in Brazil, this study investigated the non-carcinogenic and carcinogenic toxicological risk due to the exposure of the population to metals by consumption of lettuce grown in these gardens. Thus, the objectives of this research were: (1) to characterize and quantify the occurrence of Al, As, Cd and Pb in curly lettuce in urban gardens in a municipality in southern Brazil; (2) estimate the weekly consumption of metals in the adult population and characterizing the health risks associated with this exposure. The lettuce samples were collected in 15 different community gardens located in the municipality of south Brazil, southern Brazil from a total of 42. The methodology adopted for sampling samples had as variables: aspects such as the location of the gardens - NH and FP; and the type of water used for irrigation - WS and WW. The gardens were selected randomly, ensuring a representative sample of gardens located in valleys and neighborhoods. For each garden selected, three samples were collected in different beds, being performed measurements in duplicate for each metal in each sample (lettuce). The experimental design followed an unbalanced 2x2 factorial scheme, considering the combinations between location and type of water supply. In each garden three beds were selected and from each bed a plant (1, 2 and 3) of curly lettuce (*Lactuca sativa* L.) was collected. The total weight of each sample ranged from 60 to 80 grams (g). This investigation was carried out by means of a toxicological analysis of minerals and health risk assessment by exposure to non-essential metals (Aluminum - Al, Arsenic - As, Cadmium - Cd and Lead - Pb) in lettuce (n = 45), using mass spectrometry with inductively coupled plasma (ICP-MS). The levels identified in curly lettuce for aluminum (Al), arsenic (As), cadmium (Cd) and lead (Pb) ranged from 4.2 to 40.0 mg kg⁻¹, 0.0008 to 0.0248 mg kg⁻¹, 0.0003 to 0.0244 mg kg⁻¹ and 0.0038 to 0.2509 mg kg⁻¹, respectively. The average concentrations found in the samples for maximum allowable limits for this culture were within the limit. Only 45 samples were analyzed, 8.89% were unsuitable for consumption (n=4). The estimated weekly intakes for all metals analyzed were lower than the provisional tolerable weekly intake (PTWI) not presenting a health risk to consumers. The two main toxicity risks were the hazard quotient (HQ) for non-carcinogenic risk characterization and the inclination factor (SF) for carcinogenic risk characterization. As and Cd Presented value less than one (1) this way did not demonstrate acceptable level of adverse risk. For the carcinogenic risk of As, it was observed that in this study, the calculated risk exceeded this limit with a value of 6.7×10^{-6} , ie, the risk of 6.7 people to develop cancer in one million inhabitants. These results can be used in a beneficial way and applied to manage and communicate the health risks for consumers of lettuce from urban gardens in southern Brazil.

Keywords: Leafy vegetables, Occurrence, Toxic metals, Risk characterization, Food safety.

RESUMO GERAL

O aumento da demanda por produtos naturais, incluindo as hortaliças folhosas, tem levado a preocupação com a segurança e qualidade destes alimentos. Dentre as hortaliças folhosas, a alface (*Lactuca sativa* L.) destaca-se como uma de maior consumo mundial devido ao seu fácil cultivo, disponibilidade ao longo de todo ano. A alface é fonte de fibras, ferro, folato, vitamina C e compostos bioativos, como polifenóis e carotenoides, que apresentam propriedades antioxidantes e anti-inflamatórias. No Brasil, embora existam estudos sobre contaminação por metais em alimentos, não há dados aplicados de forma específica para hortaliças cultivadas em hortas comunitárias de cultivo urbano que avaliam o risco de ingestão semanal. Assim, considerando a ausência de dados sobre os riscos toxicológicos associados aos metais (Al, As, Cd e Pb) presentes em alface de hortas urbanas no Brasil, este estudo caracterizou o risco toxicológico não carcinogênico e carcinogênico devido a exposição da população aos metais pelo consumo de alface cultivada nestas hortas. Desta forma, os objetivos desta investigação foram: (1) caracterizar e quantificar a ocorrência de Al, As, Cd e Pb em alface tipo crespa em hortas urbanas em um município no Sul do Brasil; (2) estimar o consumo semanal dos metais na população adulta e (3) caracterizar os riscos à saúde associados a essa exposição. As amostras de alface foram coletadas em 15 hortas comunitárias distintas localizadas no município do sul do Brasil de um total de 42. A metodologia adotada para a amostragem teve como variáveis: os aspectos como a localização das hortas, ou seja, áreas urbanas de bairros (NH) e região de fundo de vale (FP); e o tipo de água utilizada para irrigação: o abastecimento público (WS) e de poço artesiano (WW). Para cada horta sorteada, foram coletadas três amostras em diferentes canteiros, sendo realizadas medições em duplicata para cada metal em cada amostra (alface). Delineamento experimental seguiu um esquema fatorial desbalanceado 2x2, considerando as combinações entre localização e tipo de fornecimento de água. Em cada horta foram selecionados três canteiros e de cada canteiro foi coletada uma planta (1, 2 e 3) de alface crespa, (*Lactuca sativa* L.). O peso total de cada amostra variou de 60 a 80 gramas (g). Esta investigação foi realizada por meio de análise toxicológica de elementos inorgânicos e avaliação de risco à saúde pela exposição dos metais não essenciais (Alumínio – Al, Arsênio – As, Cádmiio – Cd e Chumbo – Pb) em alface (n = 45), utilizando a espectrometria de massas com plasma indutivamente acoplado (ICP-MS). Os níveis identificados na alface crespa para alumínio (Al), arsênio (As), cádmio (Cd) e chumbo (Pb) variaram de 4,2 a 40,0 mg kg⁻¹, 0,0008 a 0,0248 mg kg⁻¹, 0,0003 a 0,0244 mg kg⁻¹ e 0,0038 a 0,2509 mg kg⁻¹, respectivamente. As concentrações médias encontradas nas amostras estavam dentro dos limites máximos permitidos estabelecidos na legislação brasileira. Das 45 amostras analisadas, 8,89% estavam inadequadas para consumo (n=4). As ingestões semanais estimadas para todos os metais analisados foram inferiores a ingestão semanal tolerável provisória (PTWI) não oferecendo risco a saúde dos consumidores. A caracterização do risco a saúde foi realizada pela determinação do quociente de perigo (HQ) para caracterização de risco não carcinogênico e para o risco carcinogênico foi usado o fator de inclinação (SF) para os metais analisados. As e Cd Apresentarem valor inferior a 1 (um) de HQ, desta forma não apresentaram risco não carcinogênico. No o consumo de alface diário das hortas comunitárias demonstraram que o As demonstrou um risco de 6,7×10⁻⁶, ou seja, risco de 6,7 pessoas desenvolverem câncer em um milhão de habitantes. Esses resultados podem ser usados para gerenciar e comunicar os riscos à saúde para os consumidores de alface de hortas urbanas no Sul do Brasil.

Palavras chaves: Hortaliças folhosas, Ocorrência, Metais tóxicos, Caracterização do risco, Segurança alimentar.

Occurrence, exposure evaluation and risk characterization of non-essential metals (Al, As, Cd and Pb) in *Lactuca sativa* L. grown in urban vegetable gardens in a municipality in Southern Brazil

Veridiana de Almeida Flores de Oliveira^a, Caroline Cristine Augusto^b, Bruno Lemos Batista^b; Caroline Wolf Trentini Schipfer^a, Haward Antunny da Silva Américo^c, Vanderly Janeiro^c; Raíssa Ferreira do Prado Pimenta Borrasca^d, Juliana Cristina Castro^e, Miguel Machinski Junior^e

^a Postgraduate Program in Food Science, State University of Maringá, Av. Colombo, 5790, Maringá 87020-900, PR, Brazil;

^b Center for Natural and Human Sciences, at the Federal University of ABC, Postal Code 09210-580, Santo André 09210-580, SP, Brazil;

^c Department of Statistics, State University of Maringá;

^d Postgraduate Program in Health Sciences, State University of Maringá;

^e Department of Health Basic Sciences, State University of Maringá;

E-mail addresses:

Veridiana de Almeida Flores de Oliveira: veri_blid@hotmail.com

Caroline Cristine Augusto: Bruno Lemos Batista: bruno.lemos@ufabc.edu.br

Caroline Wolf Trentini Schipfer: carolwtrentini@gmail.com

Haward Haward Antunny da Silva Américo: antunnyamerico@gmail.com

Vanderly Janeiro: vjaneiro@uem.br

Raíssa Ferreira do Prado Pimenta Borrasca: raaiprado@gmail.com

Juliana Cristina Castro: jccastro2@uem.com

Miguel Machinski Junior: mmjunior@uem.br

*Corresponding author: Department of Health Basic Sciences, State University of Maringá. Av. Colombo 5790, Campus Universitário. 87020-900 Maringá, Paraná, Brazil. Toxicology, Environment, and Food Laboratory, Block I90. Tel.: + 55 (44) 3011-4854. E-mail address: mmjunior@uem.br

ABSTRACT

This research aims to evaluate Al, As, Cd and Pb using ICP-MS and characterize the health risk due to the occurrence of these metals in lettuce. 45 samples of lettuce were collected in the period from July to August 2024. R system was used as a function of the variable studied, the selection of the water supply and the place of cultivation. For risk assessment, the estimated weekly intake (EWI) was calculated and compared with the provisional tolerable weekly intake (PTWI). For the non-carcinogenic risk was calculated the HQ (hazard quotient) and for the carcinogenic risk to As it was used the Slope Factor (SF). The concentration of Al varied from 5.3 to 40.0 mg kg⁻¹, As from 0.0008 to 0.0248 mg kg⁻¹, Cd from 0.0044 to 0.2509 mg kg⁻¹ and the Pb from 0.0044 to 0.0244 mg kg⁻¹. The average concentrations of all elements studied were within the limits allowed for lettuce according to Brazilian legislation. EWI calculated for the analyzed metals was lower than PTWI, therefore not offering risk to consumer health. The cancer risk assessment for As presented a risk of 6.7×10^{-6} .

Keywords: Leafy vegetables, occurrence, toxic metals, risk characterization, food safety.

1. INTRODUÇÃO

O aumento da demanda por produtos naturais, incluindo as hortaliças folhosas, tem levado as agências regulatórias a preocupação com a segurança e qualidade destes alimentos. Dentre as hortaliças folhosas, o alface (*Lactuca sativa* L.) destaca-se como uma de maior consumo mundial devido ao seu fácil cultivo e produção ao longo de todo ano (Kim et al., 2016). A alface é fonte de fibras, ferro, folato, vitamina C e compostos bioativos, como polifenóis e carotenoides, que apresentam propriedades antioxidantes e anti-inflamatórias (Yang et al., 2021). A China e os EUA lideram a produção de alface no mundo (Shatilov et al., 2019). No entanto, no Brasil, a alface é uma das principais hortaliças cultivadas e produzidas em regiões urbanas e periurbanas de Norte a Sul do Brasil.

O governo brasileiro destacou recentemente a relevância do incentivo de hortas comunitárias como uma estratégia promissora para segurança alimentar. Pois, facilita o acesso da população a alimentos frescos e redução das desigualdades a alimentação nutritiva (Ministério do Desenvolvimento Agrário e Agricultura Familiar, 2024). Com isso, o cultivo de vegetais em áreas urbanas tem aumentado consideravelmente em terrenos vazios, antigos lixões, regiões de vale, entre outros e estão sendo recuperados para o uso de hortas comunitárias em áreas urbanas (Palau-Salvador et al., 2019).

Contudo, apesar de inúmeros benefícios, as hortas comunitárias podem se tornar uma fonte de contaminação da poluição urbana, principalmente os metais não essenciais que podem já estar no local de plantio ou virem por meio de produtos químicos e poluição ambiental. A principal via de exposição humana à contaminação por metais nãoessenciais ocorre devido a transferência desses elementos do solo para as plantas (Jolly et al., 2013). A alface é um vegetal folhoso que possui alta capacidade de acúmulo de metais a partir de locais de cultivo contaminados e por absorção foliar da poeira, sendo um bom marcador para avaliar contaminação ambiental (Liu et al., 2021).

A contaminação por metais em alimentos vegetais é comumente devido à grande necessidade de uso de fertilizantes fosfatados, que geralmente contêm níveis altos de mercúrio, chumbo, cádmio, arsênio, antimônio dentre outros (Ferreira et al., 2023). Vegetais que crescem em terrenos urbanos próximos ao tráfego de veículos e fábricas têm um risco aumentado de contaminação de metais por causa de poluentes. Por exemplo, os aerossóis de metais atmosféricos, combustíveis fósseis, as emissões industriais, os escapamentos de automóveis, a mineração, bem como a irrigação com água de esgoto não tratada e o lodo são considerados as fontes da principal poluição vegetal e do solo (Dala-Paula et al., 2018).

Alumínio (Al), cádmio (Cd), chumbo (Pb) e arsênio (As) são elementos não essenciais e foram classificados como potencialmente nocivos à saúde humana, segundo a Agência de Registro de Substâncias Tóxicas e Doenças - ATSDR (2021).

Os metais não essenciais apresentam riscos a saúde, como distúrbios neurológicos, câncer e doenças ósseas (Rahim et al., 2024). O cádmio (Cd), por exemplo, está associado a danos renais e osteoporose, enquanto o chumbo (Pb) pode afetar o sistema nervoso central, especialmente em populações vulneráveis, como as crianças (Najmi et al., 2023). A exposição está ligada ao grave risco à saúde devido à sua capacidade de induzir estresse oxidativo, inflamação e danos celulares irreversíveis. Esses metais podem gerar espécies reativas de oxigênio (ROS), promovendo a oxidação de lipídios, proteínas e DNA, o que pode levar à apoptose celular e ao desenvolvimento de patologias crônicas, incluindo o câncer (Mansoor et al., 2023).

Metais como cádmio, chumbo e arsênio são classificados como carcinogênicos e estão implicados na promoção de tumores ao interferirem em vias de sinalização celular e mecanismos de reparo do DNA (Rao & Sujatha, 2023). Além disso, o cádmio foi identificado como um agente genotóxico, atuando por meio da indução do estresse redox e da inflamação, mecanismos que favorecem a instabilidade genética e a

progressão tumoral (Badawi et al., 2024). Esses achados reforçam a necessidade de monitoramento e mitigação da exposição a metais não essenciais, visando minimizar seus efeitos deletérios sobre a saúde humana.

Embora ocorra aumento da agricultura urbana e periurbana como alternativa sustentável para a segurança alimentar, ainda há uma carência de estudos que avaliem a contaminação por metais não essenciais em hortaliças de cultivo urbano no Brasil. Vegetais cultivados em grandes centros urbanos podem estar expostos a contaminantes como cádmio (Cd), chumbo (Pb) e arsênio (As), seja pela qualidade do solo, da água de irrigação ou da deposição atmosférica (Lunardi et al., 2024). A avaliação de risco associada à ingestão de metais não essenciais em alimentos é frequentemente realizada por meio da obtenção dos dados da *Estimated Weekly Intake* (EWI) comparada a *Provisional Tolerable Weekly Intake* (PTWI). No Brasil, embora existam estudos sobre contaminação por metais em alimentos, não há dados aplicados especificamente a hortaliças cultivadas em hortas comunitárias de cultivo urbano que avaliam o risco de ingestão semanal (Barbato & Gomes, 2023).

Assim, considerando a ausência de dados sobre os riscos toxicológicos associados aos metais (Al, As, Cd e Pb) presentes em alface de hortas urbanas no Brasil, este estudo investigou o risco toxicológico não carcinogênico e carcinogênico devido a exposição da população aos metais pelo consumo de alface cultivada nestas hortas. Desta forma, os objetivos desta investigação foram: (1) caracterizar e quantificar a ocorrência de Al, As, Cd e Pb em alface tipo crespa em hortas urbanas em um município no Sul do Brasil; (2) estimar o consumo semanal na aos metais na população adulta e caracterizando os riscos à saúde associados a essa exposição.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1. Amostragem

As amostras de alface foram coletadas nos meses de de Julho a Agosto no período entre 8h às 9h da manhã em 15 hortas comunitárias distintas localizadas no município do sul do Brasil de um total de 42. As hortas e os canteiros foram selecionados aleatoriamente por meio do programa R (linguagem de programação). As hortas foram divididas em dois tipos de localização: áreas urbanas de (NH) e região de fundo de vale (FP), onde o abastecimento de água poderia ser realizado pela rede

pública de saneamento básico (WS) ou com água proveniente de poço artesiano de água não tratada (WW), 30 a 80 metros de profundidade. Conforme demonstra a Tabela 1. Em cada horta foram selecionados três canteiros e de cada canteiro foi coletada uma planta (1, 2 e 3) de alface crespa, (*Lactuca sativa* L.). O peso total de cada amostra variou de 60 a 80 gramas (g).

A metodologia adotada para a amostragem de amostras teve como variáveis: os aspectos como a localização das hortas – NH e FP; e o tipo de água utilizada para irrigação – WS e WW. As hortas foram selecionadas de maneira aleatória, garantindo uma amostra representativa tanto de hortas situadas em vales quanto em bairros. Para cada horta sorteado, foram coletadas três amostras em diferentes canteiros, sendo realizadas medições em duplicata para cada metal em cada amostra (alface). Delineamento experimental seguiu um esquema fatorial desbalanceado 2x2, considerando as combinações entre localização e tipo de fornecimento de água.

| Hortas | Localização | Total de canteiros | Canteiros de alface |
|--------|-------------|--------------------|---------------------|
| 1 | NH – WW | 109 | 51 |
| 2 | NH – WW | 104 | 90 |
| 3 | NH – WW | 200 | 170 |
| 4 | NH – WW | 120 | 60 |
| 5 | NH – WW | 78 | 66 |
| 6 | NH – WW | 41 | 38 |
| 7 | FP – WW | 72 | 63 |
| 8 | FP – WW | 116 | 116 |
| 9 | FP – WW | 76 | 76 |
| 10 | FP – WW | 136 | 70 |
| 11 | FP – WW | 61 | 20 |
| 12 | NH – WS | 23 | 22 |
| 13 | NH – WS | 45 | 45 |
| 14 | FP – WS | 31 | 28 |
| 15 | FP – WS | 83 | 83 |

Tabela 1. Descrição das hortas selecionadas para o presente estudo no município do Sul do Brasil. Legenda: 1) Localização: bairro (NH) e vale (FP); 2) abastecimento de água (WS) e poço (WW).

2.2. Soluções padrão e reagentes

A solução padrão de metais multielementar (^{27}Al , ^{75}As , ^{111}Cd e ^{206}Pb) de 10 mg L^{-1} da Perkin Elmer (Buenos Aires, Argentina) foi utilizada para preparar as soluções de

trabalho de 0,1, 1, 5, 10, 20 e 100 ng mL⁻¹ para construção da curva de calibração, equivalente 0,001 a 1 µg kg⁻¹ de alface.

O ácido nítrico concentrado (HNO₃ ~65%, Synth, Piracicaba, Brazil) foi subdestilado (DST-1000 Savillex, Eden Prire, MN, USA). A água deionizada (resistividade de 18,2 MΩ cm, Master System All, Gehaka, São Paulo, Brasil) foi utilizada para as diluições, digestão e para limpeza dos materiais. As determinações foram realizadas por um espectrômetro de massa com plasma indutivamente acoplado (ICP-MS, Agilent 7900, Hachioji, Japão). As condições operacionais do ICP-MS estão apresentadas na Tabela 2. Para determinação de Alumínio, as amostras foram diluídas 250 vezes em água desmineralizada.

2.3. Preparação das amostras

No total, foram coletadas 45 amostras no período de Julho a Agosto/2024. As amostras foram colocadas em embalagens plásticas e encaminhadas ao Laboratório de Toxicologia da Universidade Estadual de Maringá (LATOX/UEM/Brasil). No laboratório, as amostras foram pesadas (Shimadzu, Tokyo, Japan) e lavadas em água corrente seguida de lavagem com água desmineralizada (Milli-Q System, EQ 7000 Ultrapure Water Purification System, Barueri, Brasil). Após a lavagem, as amostras foram acondicionadas em sacos de papel craft e secas em estufa (Marconi MA033/5, Piracicaba, Brasil) a 60 °C até atingirem peso constante. As amostras secas foram homogeneizadas, peneiradas em tamiz (Tipo 20) e pesadas 0,2 g em dois frascos plásticos de 50 mL tipo Falcon (Greiner Bio-One, Americana, Brasil) em duplicata e armazenados em dessecador de vidro de 300 mm, sem refrigeração até o momento da análise.

Segundo Paniz et al. (2018), para a mineralização da amostra foi adicionado 2 mL de HNO₃ para digestão por 6 horas à temperatura de 95 °C em banho-maria (Solab SL1522L, Piracicaba, Brazil) e bloco digestor (BD) coberto de grafite, (EasyDigest, Analab, São Paulo, Brasil).

2.4. Determinação dos metais não essenciais em ICP-MS

As determinações foram realizadas por um espectrômetro de massas com plasma indutivamente acoplado (ICP-MS, Agilent 7900, Hachioji, Japão). As condições operacionais do ICP-MS estão apresentadas na Tabela 2.

| Aparelho | Condição / Operação |
|------------------------------------|--|
| Nebulizador | Mira Mist |
| Câmara de spray | Scott de duplo percurso |
| Tocha | Quartzo (1.5mm) |
| Potência de RF (W) | 1550 |
| Argônio (L.min ⁻¹) | Nebulizador: 1.0 Plasma: 15 Auxiliar: 1.2 |
| Célula de colisão | Hélio (pureza>99.999%) |
| Interface | Cones de Platina Amostrador:0.9 mm Skimmer: 0.45 mm |
| Isótopos (modo) | ²⁷ Al (He), ⁵¹ V (He), ⁵² Cr (He), ⁵⁵ Mn (He), ⁵⁶ Fe (He), ⁵⁹ Co (He), ⁶⁰ Ni (He), ⁶³ Cu (He), ⁶⁶ Zn (He), ⁷⁵ As (He), ⁹⁵ Mo (He), ¹⁰³ Pd (He), ¹¹¹ Cd (He), ¹⁹⁵ Pt (He), ²⁰⁶ Pb (He) |
| Modo de varredura | Peak hopping |
| Tempo de integração(ms) | 2000 |
| Réplicas | 3 |
| Varreduras | 100 |
| Leituras | 1 |
| Amostragem (mL min ⁻¹) | 1.0 |

Tabela 2. Condições de operação do equipamento ICP-MS.

2.5. Controle de segurança analítica

Cada amostra foi analisada em duplicata, e os resultados estão apresentados como média \pm desvio padrão baseado na curva padrão para cada analito. Para a garantia dos resultados analítico, foi avaliado a recuperação dos metais analisados por meio da duplicata dos seguintes materiais de referência. Materiais de Referência Certificados CRM- CENA USP IAEA-361 farinha de soja (Center for Nuclear Energy in Agriculture, Brazil), CRM-Agro AIB_012022 arroz biodinâmico (Center for Nuclear Energy in Agriculture, Brazil), 1568b (Nacional Institute of Standards and Technology, EUA) farinha de arroz e uma amostra de alface fortificada.

2.6. Avaliação da exposição alimentar

A avaliação da exposição foi realizada com base no cálculo da ingestão semanal estimada (EWI) segundo a Comissão Conjunta de Peritos em Aditivos Alimentares da

FAO/OMS (JECFA, 2011), conforme a equação (1) e comparada a porcentagem da EWI para a ingestão semanal tolerável provisória (PTWI), expressa como %PTWI, que é a quantidade provisória dos metais que podem ser tolerados semanalmente. Um valor menor que 100% indica que pode não haver preocupação com potenciais efeitos à saúde humana associados a exposição aos metais avaliados, conforme a equação (2).

$$EWI = \{C \times IR / BW\} \times 7 \quad (1)$$

Onde: C é a concentração média do metal avaliado no alface avaliado em mg kg^{-1} ; IR é o consumo diário de alface segundo a *Pesquisa de Orçamentos Familiares* do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2023) em g dia^{-1} , ou seja, o consumo diário de alface no Brasil foi de $2,54 \text{ g dia}^{-1}$; BW é o peso corporal expresso em Kg, ou seja, foi considerado o peso médio de uma pessoa adulta – 70 kg; 7 é o valor de conversão que podem ser usado para converter um dia em uma semana.

$$\%PTWI = EWI / PTWI \times 100 \quad (2)$$

A PTWI corresponde ao consumo máximo recomendado pela Autoridade Europeia para a Segurança Alimentar para certos grupos de alimentos (Di Bella et al., 2020) e considerada um padrão global para avaliação de contaminantes bioacumulativos, como os metais, pelo JECFA (Kim et al., 2001). Os valores de PTWI foram transformados em mg/Kg bw/semana para padronização desse estudo como mostra a tabela 3.

| Metal | PTWI ($\text{mg/kg bw}^{-1} \text{semana}^{-1}$) | Referências |
|----------|--|-------------|
| Alumínio | 2.000 | JECFA, 2011 |
| Arsênio | 0.015 | EFSa, 2009 |
| Cádmio | 0.007 | EFSa, 2011 |
| Chumbo | 0.025 | EFSa, 2010 |

Tabela 3. Consumo semanal tolerável provisório (PTWI) para metais não essenciais.

2.7. Caracterização do risco a exposição aos metais

A avaliação de risco não cancerígeno usando HQ é uma comparação com a RfD – dose de referência para exposição crônica. Não é um valor de risco verdadeiro como a caracterização de risco para carcinógenos. No entanto, para gerenciamento pode usar o HQ para a tomada de decisões. Se HQ for menor ou igual a 1, isso indica que a situação

de contaminação química não representa um perigo à saúde humana. Mas se o HQ for maior que 1, há um risco para a Saúde Pública USEPA 2011. A avaliação de risco não cancerígeno foi realizada para As, Cd e Pb, conforme a equação (3).

$$HQ = ADD / RfD \quad (3)$$

A avaliação do risco de cancer foi realizada para o Arsênio. Foi usada a equação (4), segundo Tongprung et al. (2024).

$$\text{Risk} = \text{CDI} \times \text{Slope Factor (SF)} \quad (4)$$

O risco $\leq 1 \times 10^{-6}$ é aceitável, demonstra que não há risco de câncer pelo exposição ao contaminante químico. Pois, é menor que a probabilidade de 1 pessoa a cada 1.000.000 desenvolver câncer como consequência da exposição (Lim et al., 2008).

2.8. Análise estatística

Para controlar a variabilidade e correlação entre as amostras dentro de cada horta, as hortas foram incluídas no modelo estatístico como interceptos aleatórios. Os efeitos de localização e tipo de água usada na irrigação, bem como a interação entre esses dois fatores, compõe o modelo na forma de efeito fixo, resultando em um modelo misto (Pinheiro e Bates, 2009). Optou-se por um modelo linear generalizado de efeito misto (Generalized Linear Mixed-effect Models – GLMMs) Ng e Cribbie (2017) (Jiang e Nguyen, 2021). Nos modelos para os metais Arsênio, Cádmiio e Chumbo, a distribuição gama foi usada com uma função de ligação “inverse”, e para o modelo do índice de “Alumínio”, manteve-se a distribuição gama, mas com uma função de ligação “identity”. O ambiente estatístico R (R Core Team, 2024), foi usado como software analítico. No ajuste dos modelos foi usada a função glmer do pacote lme4 (lme4-2015). Para o diagnóstico e seleção de modelos foi considerado o R^2 condicional dos modelos (Nakagawa et al., 2017), critérios de Informação de Akaike (AIC74), critério de informação Bayesiano (Schwarz, 1978) e gráficos de resíduos.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1. Garantia dos resultados analíticos

As curvas padrão de todos os metais mostraram uma boa linearidade com valores de R^2 de 0,9999 a 1,0000. Os valores de recuperação dos metais analisados por meio da duplicata dos materiais de referência certificados (CRMs) em diferentes matrizes, bem como uma amostra branco fortificada está apresentada na Tabela 4. Os CRMs e o branco amostra foram processados junto com as amostras a serem analisadas. Os resultados demonstraram que o método utilizado foi preciso e exato, como valores de recuperação entre 86,88% (Cd) a 108,80% (Pb), entre 70 a 120%. As recuperações indicam que a metodologia adotada para digestão e análise foi considerada eficiente e garante os resultados apresentados pelas amostras.

| Metais | R(%) IAEA-361 | R(%) CRM-Agro AIB)012022 | R(%) 1568b | R(%) Spike |
|--------|------------------|--------------------------------|---------------|---------------|
| Al | 98.99 | | | |
| As | | 99.68 | 108.60 | |
| Cd | 86.88 | | 94.63 | |
| Pb | 101.17 | | | 108.80 |

R: Recuperação (%)

Tabela 4. Resumo da garantia da qualidade analítica com três materiais de referência e uma amostra fortificada.

3.2. Contaminação por metais não essenciais em alface

A Tabela 5 apresenta as concentrações registradas para Al, As, Cd e Pb em alface coletada em 15 hortas comunitárias no período de Julho a Agosto de 2024. A concentração de Al variou de 5,3 a 40,0 mg kg⁻¹, o As de 0,0008 a 0,0248 mg kg⁻¹, o Cd de 0,0044 a 0,2509 mg kg⁻¹ e o Pb de 0,0044 a 0,0244 mg kg⁻¹.

O Al níveis de contaminação variou entre 4,2 a 40,0 mg kg⁻¹. Resultados superiores aos encontrados por Zhou et al. (2016), que detectaram uma concentração de 2,7 a 17 mg kg⁻¹ em hortaliças cultivadas nas hortas urbanas de Nova York e Buffalo, EUA. No entanto, não é possível fazer uma comparação com o vegetal em questão, uma vez que a FAO e a ANVISA (Agência de Vigilância Sanitária) não

estabeleceu limites específicos para quantidade de Al em alface.

| Hortas | Al (mg kg ⁻¹) | As (mg kg ⁻¹) | Cd (mg kg ⁻¹) | Pb (mg kg ⁻¹) |
|--------------------|------------------------------|---------------------------------|---------------------------------|---------------------------------|
| 1a | 5.3± 0.11 | 0.0025 ±0.0002 | 0.0110±0.0029 | 0.0115±0.0043 |
| 1b | 15.7±13.4 | 0.00447 ±0.00005 | 0.0298±0.0137 | 0.0200±0.0147 |
| 1c | 16.43 ± 2.3 | 0.0103 ±0.00151 | 0.0099±0.0009 | 0.0116±0.0004 |
| 2a | 11.1 ± 3.5 | 0.0063± 0.0034 | 0.0230±0.0018 | 0.0064± 0.0008 |
| 2b | 21.0 ± 2 | 0.0119±0.0055 | 0.0173±0.0008 | 0.0195± 0.0001 |
| 2c | 7.8 ± 2.5 | 0.0021± 0.0014 | 0.0122±0.0018 | 0.0179± 0.0165 |
| 3a | 18.9 ± 13.3 | 0.0132±0.0011 | 0.0256±0.0007 | 0.0244± 0.0067 |
| 3b | 5.5 ± 7.7 | 0.0066±0.0026 | 0.0044±0.0026 | 0.0110± 0.0095 |
| 3c | 12 ±3.4 | 0.0248±0.0053 | 0.0547±0.0006 | 0.0103± 0.00039 |
| 4a | 14.8± 6.2 | 0.0030± 0.0019 | 0.0296±0.0223 | 0.0110± 0.0040 |
| 4b | 9.1± 3.0 | 0.0054± 0.0070 | 0.0349±0.0143 | 0.0060± 0.0003 |
| 4c | 12.0 ± 8.2 | 0.0008± 0.0011 | 0.0239±0.0056 | 0.0073±0.0000 |
| 5a | 6.1±1.6 | 0.0105± 0.0057 | 0.0137±0.0010 | 0.0063±0.0013 |
| 5b | 8.6±0.45 | 0.0071±0.0051 | 0.0070±0.0004 | 0.0161±0.0024 |
| 5c | 12.5±8.0 | 0.0036±0.0019 | 0.0208±0.0008 | 0.0229±0.0073 |
| 6a | 11.9±6.9 | 0.0072± 0.0013 | 0.0429±0.0035 | 0.0113±0.0037 |
| 6b | 18.5±5.0 | 0.0069±0.0025 | 0.0279±0.0131 | 0.0196± 0.0107 |
| 6c | 8.6±2.8 | 0.0064±0.0015 | 0.0106±0.0032 | 0.0120±0.0031 |
| Média | 12.1±4.7^a | 0.0074±0.006^a | 0.0227±0.013^a | 0.0137±0.006^a |
| 7a | 7.4 ±3.7 | 0.0028±0.0040 | 0.0230±0.0091 | 0.0105± 0.0007 |
| 7b | 7.3 ±0.08 | 0.0029±0.0025 | 0.0038±0.0006 | 0.0046±0.0008 |
| 7c | 40.0 ±19.1 | 0.0077±0.0009 | 0.0100±0.0021 | 0.0215±0.0002 |
| 8a | 7.5 ± 0.93 | 0.0039±0.0004 | 0.0153±0.0019 | 0.0087± 0.0022 |
| 8b | 22 ±15.5 | 0.0128±0.0067 | 0.0123±0.0060 | 0.0130± 0.0050 |
| 8c | 12.2 ±11.9 | 0.0029±0.0033 | 0.2509±0.3351 | 0.0143±0.0109 |
| 9a | 14.3 ±14 | 0.0094±0.0089 | 0.0245±0.0285 | 0.0107± 0.0016 |
| 9b | 39.6 ±45.5 | 0.0137± 0.0042 | 0.0614±0.0506 | 0.0151± 0.0072 |
| 9c | 12.6 ±1.52 | 0.0042± 0.0035 | 0.0179±0.0026 | 0.0115± 0.0017 |
| 10a | 13.1±7.0 | 0.0051±0.0013 | 0.0076±0.0003 | 0.0071± 0.0027 |
| 10b | 7.4±0.62 | 0.0074±0.0026 | 0.0131± 0.0020 | 0.0104± 0.0026 |
| 10c | 10.3± 3.1 | 0.0102±0.0002 | 0.0194±0.0000 | 0.0075±0.0005 |
| 11a | 4.6±0.52 | 0.0098 ±0.0018 | 0.1096±0.0024 | 0.0044±0.0001 |
| 11b | 4.2±0.66 | 0.0019±0.0018 | 0.0221±0.00246 | 0.0089±0.0038 |
| 11c | 17.3 ±14.9 | 0.0074±0.0060 | 0.0299±0.0049 | 0.0147±0.0080 |
| Média | 14.7±11.2^a | 0.0068±0.004^a | 0.0391±0.064^a | 0.0109±0.005^a |
| 12a | 7.8± 2.5 | 0.0047± 0.00147 | 0.0287±0.0087 | 0.0287±0.0087 |
| 12b | 9.6 ±0.89 | 0.0015 ±0.0001 | 0.0137±0.0021 | 0.0093±0.0020 |
| 12c | 5.1 ± 0.40 | 0.0035 ±0.0008 | 0.0095±0.0000 | 0.0045±0.0005 |
| 13a | 10.1 ±6.6 | 0.0054 ±0.0043 | 0.0458±0.0188 | 0.0129± 0.0058 |
| 13b | 19.3 ±1.3 | 0.0103 ± 0.0021 | 0.0207±0.0029 | 0.0193±0.0012 |
| 13c | 15.2 ±3.1 | 0.0065 ± 0.0028 | 0.0185±0.0024 | 0.0096±0.0052 |
| Média | 10.9±5.4^a | 0.0054±0.003^a | 0.0210±0.013^a | 0.0141±0.009^a |
| 14a | 21.2 ±15.0 | 0.0070 ± 0.0046 | 0.0238± 0.0038 | 0.0144± 0.0049 |
| 14b | 10.4 ± 3.31 | 0.0059 ± 0.0002 | 0.0816±0.0311 | 0.0117± 0.0042 |
| 14c | 30.3 ±13.7 | 0.0101 ±0.0027 | 0.0321±0.0045 | 0.0130±0.0010 |
| 15a | 7.4±2.1 | 0.0048± 0.0023 | 0.0227±0.0022 | 0.0095± 0.0015 |
| 15b | 7.1±3.5 | 0.0050±0.0025 | 0.0198±0.0207 | 0.0119 ± 0.0061 |
| 15c | 11.6±4.2 | 0.0081±0.0030 | 0.0148±0.0038 | 0.0221 ±0.0159 |
| Média | 13.9±6.2^a | 0.0069±0.002^a | 0.0325±0.025^a | 0.0138±0.004^a |
| Média total | 12.4 | 0.0058 | 0.0232 | 0.0131 |
| LMP ^a | NE | 0.3000 | 0.0500 | 0.3000 |

Tabela 5. Resultados da concentração dos metais Al, As, Cd e Pb em alfaces obtidas em 15 hortas comunitárias no período de Julho a Agosto/2024. De cada horta foram analisados 3 canteiros diferentes, em duplicata.

Legenda: Os valores apresentados na tabela correspondem às médias e aos desvios padrão das concentrações obtidas para cada metal analisado.

Amostras: Número 1 a 15, são as hortas urbanas avaliadas

Número 1 a 6, representa Bairro- Poço (NH – WW)

Número 7 a 11, representa Vale- Poço (FP – WW)

Número 12 a 13 representa Bairro–Abastecimento de água (NH –WS)

Número 14 a 15 representa Vale- Bairro (NH – WS)

Amostras: a, b e c – Alface coletada de diferentes canteiros na mesma horta urbana.

* Anvisa, 2021 - Instrução Normativa N° 88 de 26 de março de 2021.

NE – Não estabelecida.

O Al, amplamente utilizado nas indústrias alimentícia e farmacêutica como aditivo, é reconhecido por seus efeitos tóxicos à saúde, especialmente devido à alta exposição e sua possível ligação com a doença de Alzheimer (Niebla-Canelo et al., 2022). Embora a relação entre o Al e doenças neurodegenerativas permaneça controversa, há evidências que o associam a outras condições neurológicas, como Parkinson e esclerose múltipla (Maya et al., 2016).

O As e seus compostos foram classificados pela Agência Internacional de Pesquisa sobre Câncer (IARC), como carcinogênicos para humanos do Grupo 1 (OMS, 2022). Os valores encontrados para o As variam de aproximadamente 0,0008 a 0,0249 mg kg⁻¹. As concentrações de As nas amostras analisadas estavam abaixo dos limites preconizados na Instrução Normativa N° 88 (Anvisa, 2021), que estabelece os limites toleráveis de metais para alimentos. O limite estabelecido para a alface foi de 0,30 mg kg⁻¹ como limite máximo tolerável para alface após a lavagem (Anvisa, 2021).

A IARC (2012) classifica o Cd como cancerígeno grupo 1 e este foi listado pela OMS como um elemento químico de preocupação para saúde pública (EFSA, 2009, Zhu et al., 2020). O Cd afeta diversos processos celulares, causa mutações cromossômicas e deleções (Rahimzadeh et al., 2017, Ma et al., 2020). No presente estudo, os níveis de Cd variam entre 0,0038 a 0,2509 mg kg⁻¹. Das 45 amostras analisadas, 8,89% estavam inadequadas para consumo (n=4). Estas amostras apresentaram limites acima do estabelecido no Brasil, ou seja, 0,05 mg kg⁻¹ de alface (Anvisa, 2021). Estudo semelhante com diferentes cultivares de alface em solo urbano brasileiro feito por Dala-Paula et al. (2018), encontraram valores abaixo do relatado nesse estudo. Em outro estudo feito por Tongprung et al. (2024), encontraram valores abaixo desse estudo ao analisar alface em diferentes províncias no sul da Tailândia.

O rápido crescimento industrial corroborou a uma grave poluição por Cd. O Cd é um metal não essencial tóxico que representa uma grave ameaça à saúde humana. Podendo entrar no corpo por diferentes vias, sendo elas, a atmosfera, água, solo e alimentos, e tem uma meia-vida longa (10-30 anos), acumula-se em grande parte nos rins, fígado, ossos e outros órgãos e causa danos irreversíveis aos órgãos-alvo (Wang et al., 2021). A exposição ocorre principalmente através da ingestão de alimentos e água.

As fontes recorrente de contaminação por Cd estão relacionadas à sua aplicação na indústria como reagente corrosivo, e ao seu uso como estabilizador em produtos de PVC, pigmentos de cor e baterias (Genchi et al., 2020).

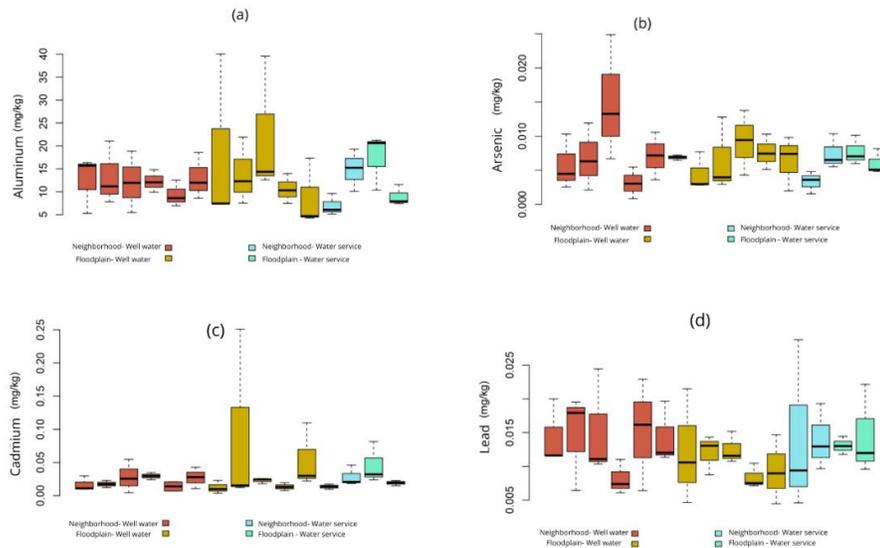
O fígado e os rins são altamente sensíveis aos efeitos tóxicos de Cd. Isso ocorre devido à capacidade desses tecidos de sintetizar as metalotioneínas, que são proteínas induzidas pelo metal e possuem uma função de proteger a célula, ligando-se fortemente aos íons tóxicos de cádmio. O estresse oxidativo induzido por este xenobiótico pode ser um dos mecanismos responsáveis por diversas doenças hepáticas e renais. O dano às mitocôndrias é extremamente plausível, uma vez que essas organelas desempenham um papel crucial na formação de ROS (espécies reativas de oxigênio) e são os principais alvos intracelulares de Cd (Genchi et al., 2020).

De acordo com IARC (2006), o Pb causa alterações no DNA e apoptose. Além disso, danos oxidativos provenientes da geração excessiva de espécies reativas de oxigênio (ROS) são responsáveis em inibir enzimas e proteínas reguladoras, desta forma altera diversas funções biológicas (Mohamed et al., 2020). As concentrações nesse estudo para Pb foram de 0,0045 a 0,0288 mg kg⁻¹. Esses valores foram semelhantes aos encontrados no estudo de Montserrat et al. (2018) que encontraram níveis de 0,0060 a 0,0244 mg kg⁻¹ em alface cultivados em áreas urbanas em Barcelona, Espanha. Em outro estudo elaborado por Tongprung et al. (2024), encontraram valores menores que variavam 0,0011 a 0,0024 mg kg⁻¹ em alface cultivado no Sul da Tailândia em oito províncias analisadas. Os valores encontrados nesse estudo foram abaixo dos limites estabelecidos para Pb no Brasil.

A figura 1 demonstra que não houve diferença entre as variáveis analisadas, local e tipo de água. No entanto, observa-se a diferença entre os canteiros da mesma horta urbana. A heterogeneidade observada ocorre por fatores externos, como a diferença na concentração de metais nos solos de cada canteiro, canteiros próximos a trânsito de veículos ou indústrias, cada canteiro é gerenciado por pessoas diferentes, o uso diferenciado de fertilizantes e praguicidas (Estévez et al., 2020).

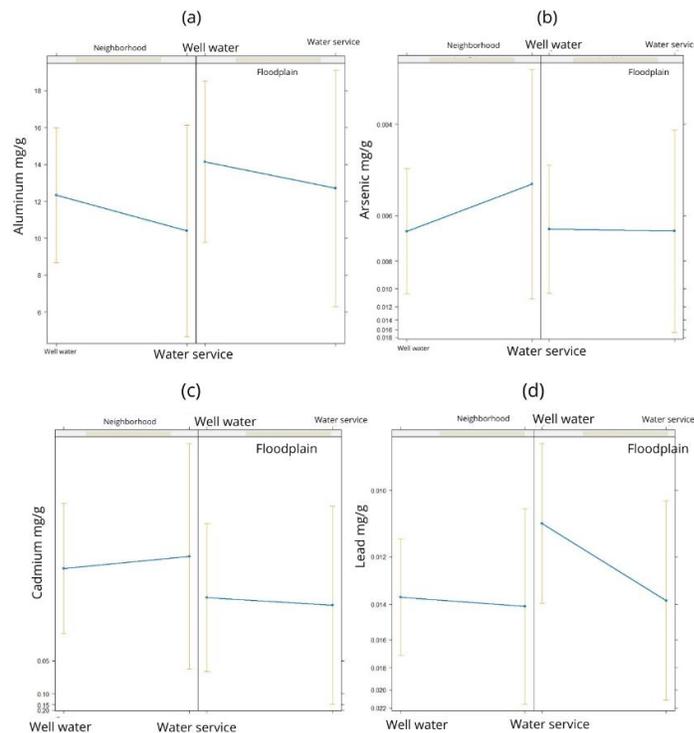
As figuras 1 e 2 demonstram que as hortas urbanas tratadas com água do sistema de abastecimento aparentemente apresentaram menor níveis dos metais Al, As, Cd e Pb em relação as hortas tratadas com água de poço. No entanto, não foi observada essa diferença significativa estatisticamente.

Figura 1. Concentrações de (a) alumínio (Al), (b) arsênio (As), (c) cádmio (Cd) e (d) chumbo (Pb) em alface coletadas em diferentes hortas comunitárias de um município do sul do Brasil.



Legenda: 1) Localização: bairro (NH) e vale (FP); 2) abastecimento de água (WS) e poço (WW).

Figura 2. Níveis de metais analisados por localização e abastecimento de água. Concentração de metais em função da variável estudada em cada jardim.



Legenda: 2) Localização: bairro (NH) e vale (FP); 2) abastecimento de água (WS) e poço (WW).

O Al é o metal mais comum na crosta terrestre, com representatividade de aproximadamente 8% de seu peso, frequentemente é encontrado em níveis reduzidos nas águas subterrâneas. Isso acontece porque, de modo geral, sua solubilidade é baixa e ele tem dificuldade em integrar reações hidrogeoquímicas. No entanto, com o aumento das chuvas ácidas, este metal tem aumentado a sua concentração nas águas (Huang et al., 2023).

As apresentou uma menor variação em ambas as localizações, sugerindo uma contaminação mais homogênea. Isso se deve ao teor de arsênio nos materiais do aquífero e aos diversos processos que dissolvem o arsênio dos sedimentos ao redor na água serem próximos (Sorg et al., 2014).

É importante destacar que os terrenos para o cultivo das hortaliças nesse estudo, eram usados anteriormente para o descarte de lixos e equipamentos eletrônicos. Portanto, a presença de quatro amostras com níveis de Cd superiores ao limite máximo tolerável (Anvisa, 2021) deve estar relacionada a esta contaminação do solo. Terrenos usados anteriormente para esse fim, apresentaram níveis médios de Cd levando a contaminação da área de plantação (Fadhel e Abdulhusein, 2022). Moelyaningrum e Pujiati (2015) encontraram concentrações significativas de Cd em terrenos baldios usados como local de descarte de lixo eletrônico. Lehoczky et al. (2000) ao investigar a absorção em vegetais folhosos, verificou que a alface possui maior facilidade de acumular Cd em suas folhas.

A detecção de contaminação por Pb nas amostras deste estudo é provavelmente atribuída a área de cultivo ser uma área de plantio próximo ao trânsito veicular com um sistema de irrigação aberto. Isso aumenta a probabilidade de contaminação por chumbo no solo agrícola e na água, levando a absorção de Pb pelos vegetais (Tongprung et al., 2024). Dados fornecidos pelo Fenabreve (2024) mostram que Paraná foi um dos estados de maior venda de veículos em 2024.

No estudo realizado por Ali e Al-Qahtani (2012), para avaliar a concentração de metais potencialmente tóxicos em hortaliças em áreas urbanas da Arábia Saudita, foi observado um aumento de metais, estes foram relacionados a poluentes de veículos em concentrações consideráveis para alguns elementos como Pb e Cd. Uma vez que, apesar da proibição do uso de (Pb) na gasolina no Brasil desde 1993, seu uso continuou por um longo período e ainda está presente no meio ambiente, principalmente retido no solo (França et al., 2017).

3.2 Avaliação de risco para Al, As, Pb e Cd

Uma avaliação de risco foi realizada para determinar quantitativamente os riscos potenciais à saúde enfrentados pelos consumidores locais, devido ao consumo de alimentos regularmente adquiridos pela comunidade local. Os riscos potenciais à saúde humana da exposição aos metais estudados, foram estimados por meio do consumo da alface, onde foram avaliadas usando a ingestão semanal estimada (EWI) e comparando com a Provisional Tolerable Weekly Intake (PTWI).

Os valores de EWI foram calculados para Al, As, Pb e Cd em todas as amostras para sete dias conforme a Tabela 6.

| Metals | Al | As | Cd | Pb |
|--------|--------|----------|----------|----------|
| EWI | 0.0031 | 0.000001 | 0.000005 | 0.000003 |
| PTWI | 2 | 0.015 | 0.0025 | 0.025 |
| %PTWI | 0.155 | 0.006 | 0.2 | 0.012 |

Valores de metais não essenciais em alface, comparados com os limites provisórios de ingestão semanal tolerável (PTWI).

Tabela 6. EWI e % de ingestão semanal tolerável provisória de metais não essenciais em alface em hortas urbanas de um município do sul do Brasil.

Para a avaliação dos riscos à saúde, esses valores foram comparados com os valores de referência PTWI obtidos do EFSA e JECFA (2009, 2010, 2011; JECFA 2011). O PTWI é o conceito de ingestão máxima recomendada pela Autoridade Europeia para a Segurança Alimentar (EFSA) para categorias de alimentos específicas (Di Bella et al., 2020). Com base nos dados apresentados na tabela 6 os níveis de metais na alface em relação a porcentagem da PTWI foram avaliados e todos forma inferior a 100%, não representam um risco a saúde do consumidor brasileiro.

Apesar do elemento As apresentar valores abaixo do limite de ingestão semanal tolerável, a ingestão crônica através dos alimentos está associada a diferentes cânceres, como de bexiga e pulmão, devido sua natureza genotóxica causa efeitos epigenéticos prejudiciais, mesmo em pequenas doses ao longo do tempo (EFSA, 2023).

O Pb apresentou um valores abaixo dos limites, contudo é importante destacar que o chumbo não possui um nível seguro absoluto de exposição (FDA, 2025). Conforme diversos estudos, o contato diário de uma pessoa com alimentos contaminados com metais determina o grau de danos que eles podem causar ao

organismo humano. O consumo de metais crescerá juntamente com o aumento da ingestão do vegetal contaminado, e o inverso também ocorre (Rahim et al., 2024). Pandey et al. (2012), observaram que há uma relação entre o depósito da atmosfera de partículas desses elementos e os níveis de contaminantes em vegetais. Os níveis de As e Pb, embora dentro dos limites, demandam monitoramento contínuo devido aos seus riscos cumulativos e à toxicidade potencial a longo prazo (OMS, 2024).

A presença de metais não essenciais no ambiente representa um risco significativo para a segurança alimentar e humana. A utilização da avaliação de risco à saúde para hortaliças, como alface deve ser considerada, levando em conta que o vegetal é amplamente cultivado e consumido pela população brasileira. No entanto, essa abordagem pode levar a uma superestimação dos perigos associados ao vegetal analisado. Diante disso, há uma necessidade urgente de explorar métodos mais precisos para avaliar e gerenciar a segurança alimentar (Tian et al., 2023).

Os dois principais fatores de risco de toxicidade avaliados nesse estudo foram o quociente de perigo (HQ) para caracterização de risco não carcinógeno e o fator de inclinação (SF) para a caracterização de risco carcinogênico (Lim et al., 2008). A avaliação de risco não carcinogênico a saúde humana por As e Cd são demonstrados na Tabela 7.

| Metal | Médias das hortas |
|--------------|--------------------------|
| As | $3.5 \times 10^{-3*}$ |
| Cd | $8.4 \times 10^{-5*}$ |

RfD_{oral} = (mg/kg dia⁻¹)

Table 7. Risco não carcinogênico (quociente de perigo HQ) de metais não essenciais em alface cultivados em 15 hortas comunitárias urbanas e suas variáveis estudadas no Sul do Paraná

A avaliação de risco não carcinogênico para o As e o Cd apresentaram um HQ inferior a um (1). Portanto, não demonstrou nível aceitável de risco adverso à saúde da população brasileira. Para Al e Pb não foi possível fazer uma comparação, uma vez que os valores de RfD de exposição via oral não foram determinados pelo (USEPA IRIS, 2011).

Para o risco carcinogênico de As, o valor limite aceitável de risco cancerígeno, conforme o (USEPA IRIS, 2011) é de $\leq 1 \times 10^{-6}$. Observamos que nesse estudo, o risco calculado ultrapassou esse limite com um valor de $6,7 \times 10^{-6}$, ou seja, o risco de 6,7 pessoas desenvolverem câncer em um milhão de habitantes. A exposição ao As nas

concentrações encontradas representa um risco para a população brasileira no consumo de alface em hortas urbanas. Vale ressaltar que esse valor indica um risco de carcinogênese a longo prazo, o que exige uma análise profunda e possível adoção de medidas para a redução das possíveis formas de contaminação e um estudo para a regulação do limite máximo tolerado de As em alimentos, como a alface.

Dados semelhantes foram demonstrados por Ghezzi et al. (2023) em vegetais folhosos na Itália, bem como por Topal et al. (2024) que demonstrou que todas as partes analisadas de tomates cultivados em áreas expostas a efluentes havia teor de As que representava risco carcinogênico para a população.

Portanto, medidas devem ser tomadas no que tange a contaminantes inorgânicos na produção de alimentos em hortas urbanas no Brasil, como o caso do Arsênio. Além disso os agricultores devem ser conscientizados sobre as possíveis causas de contaminação e poluição ambiental de alimentos em hortas urbana.

4. CONCLUSÃO

Este estudo caracterizou e quantificou Al, As, Cd and Pb em 15 hortas urbanas no Sul do Brasil. As concentrações encontradas para para As, Cd e Pb estavam dentro dos limites máximos tolerados no Brasil. No entanto, há necessidade de estabelecer limites para o Al em hortifruticultura no Brasil. Quanto à caracterização de risco, a alface analisada quanto a presença de metais não demonstrou risco a população adulta no Brasil, apenas o As demonstrou risco baixo, carcinogênico devido a sua presença na hortaliça e o consumo desta no sul do Brasil, aqui estudado, com risco de 6×10^{-6} , ou seja, o risco de 6,7 pessoas desenvolverem câncer em um milhão de habitantes. Esses resultados podem ser usados de forma benéfica para conduzir treinamentos em comunidades que cultivam alimentos frescos e estimar os riscos a saúde da população local que consomem esses alimentos.

[plano-safra-da-agricultura-familiar-2024-2025-programa-e-lancado-em-mais-quatro-estados#:~:text=O%20Plano%20Safra%202024%2F2025%2C%20uma%20das%20principais%20pol%C3%ADticas,por%20meio%20de%20cr%C3%A9dito%20para%20custeio%20e%20investimento. Accessed 20 May 2024](#)

Dala-Paula, Bruno M. et al. Cadmium, copper and lead levels in different cultivars of lettuce and soil from urban agriculture. *Environmental Pollution*, v. 242, p. 383-389, nov. 2018. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2018.04.101>.

Di Bella, C., Traina, A., Giosuè, C., Carpintieri, D., lo Dico, G.M., Bellante, A., del Core, M., Falco, F., Gherardi, S., Uccello, M.M., Ferrantelli, V., 2020. Heavy Metals and PAHs in Meat, Milk, and Seafood From Augusta Area (Southern Italy): Contamination Levels, Dietary Intake, and Human Exposure Assessment. *Frontiers in Public Health*, 8. <https://doi.org/10.3389/fpubh.2020.00273>.

EFSA. European Food Safety Authority. *Scientific Opinion: Cadmium in Food*. Scientific Opinion of the Panel on Contaminants in the Food Chain (Question No EFSA-Q-2007-138). Parma: EFSA, 30 jan. 2009. Disponível em: [Cadmium in food - Scientific opinion of the Panel on Contaminants in the Food Chain - - 2009 - EFSA Journal - Wiley Online Library](#)

EFSA. European Food Safety Authority, 2009. Arsenic in food | EFSA. <https://www.efsa.europa.eu/en/efsajournal/pub/1351>. (Accessed 20 May 2024).

EFSA. European Food Safety Authority, 2010. Lead in food | EFSA. <https://www.efsa.europa.eu/en/efsajournal/pub/1570>. (Accessed 20 May 2024).

EFSA. European Food Safety Authority, 2011. Tolerable weekly intake for cadmium | EFSA. <https://www.efsa.europa.eu/en/efsajournal/pub/1975>. (Accessed 20 May 2024).

EFSA. European Food Safety Authority. Update of the risk assessment of inorganic arsenic in food. *European Food Safety Authority*, 18 dez. 2023. Disponível em: [Update of the risk assessment of inorganic arsenic in food | EFSA](#)

Fadhel, m. A.; Abdulhussein, F. M. Accumulation detection of cadmium in some land-use soil of Baghdad city, Iraq. *Iraqi Journal of Science*, v. 63, n. 8, 2022. <https://doi.org/10.24996/ij.s.2022.63.8.29>

Fang, H. W.; Li, W.; TU, S.; Ding, Y.; Wang, R.; Rensing, C.; Li, Y.; Feng, R. Differences in cadmium absorption by 71 leaf vegetable varieties from different families and genera and their health risk assessment. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, v. 184, p. 109593, 30 nov. 2019. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2019.109593>

França, Fernanda C.S.S.; Albuquerque, Adriana M.A.; Almeida, Amanda C.; Silveira, Patricia B.; Filho, Crescêncio A.; Hazin, Clovis A.; Honorato, Eliane V. Heavy metals deposited in the culture of lettuce (*Lactuca sativa* L.) by the influence of vehicular traffic in Pernambuco, Brazil. *Food Chemistry*, v. 215, p. 171-176, 2017.10.1016/j.foodchem.2016.07.168

Genchi, Giuseppe et al. The effects of cadmium toxicity. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, v. 17, 2020.
<https://doi.org/10.3390/ijerph17113782>

Huang, G., Hou, Q., Han, D., Liu, R., Song, J., 2023. Large scale occurrence of aluminium-rich shallow groundwater in the Pearl River Delta after the rapid urbanization: Co-effects of anthropogenic and geogenic factors. *Journal of Contaminant Hydrology*, 254, 104130. <https://doi.org/10.1016/j.jconhyd.2022.104130>.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. *Pesquisa de Orçamentos Familiares – POF 2024*. Disponível em:
<https://www.ibge.gov.br/busca.html?searchword=pof>. (Accessed 20 May 2024).

IARC. International Agency for Research on Cancer. *IARC Monographs on the Evaluation of Carcinogenic Risks to Humans: Inorganic and Organic Lead Compounds*. Lyon: IARC, 2006. v. 87. Disponível em: [IARC Publications Website - Inorganic and Organic Lead Compounds](https://publications.iarc.fr/monographs-on-carcinogenic-risks-to-humans)

IARC. International Agency for Research on Cancer. *Agents Classified by the IARC Monographs, Volumes 1–137*. Lyon: IARC, 2022. Disponível em:
<https://monographs.iarc.who.int/agents-classified-by-the-iarc/>. (Accessed 20 May 2024).

IARC. International Agency for Research on Cancer. *IARC Monographs on the Identification of Carcinogenic Hazards to Humans*. Lyon: IARC, 2022. Disponível em:
<https://publications.iarc.fr/Book-And-Report-Series/Iarc-Monographs-On-The-Identification-Of-Carcinogenic-Hazards-To-Humans>. (Accessed 20 May 2024).

IARC. International Agency for Research on Cancer. *IARC Monographs on the Evaluation of Carcinogenic Risks to Humans: Arsenic, Metals, Fibres, and Dusts*. Lyon: IARC, 2012. v. 100C. Disponível em: <https://monographs.iarc.who.int/wp-content/uploads/2018/06/mono100C.pdf>. (Accessed 20 May 2024).

Jiang, J.; Nguyen, T. *Linear and Generalized Linear Mixed Models and Their Applications*. [s.l.] Springer New York, 2021.

Johri N, Jacquillet G, Unwin R. Heavy metal poisoning: the effects of cadmium on the kidney. *Biomaterials*. 2010 Oct;23(5):783-92. doi: 10.1007/s10534-010-9328-y.
Jolly, Y. N.; Islam, A.; Akbar, S. Transfer of metals from soil to vegetables and possible health risk assessment. *SpringerPlus*, v. 2, n. 1, p. 385, 15 ago. 2013. Disponível em:
<https://doi.org/10.1186/2193-1801-2-385>.

- Kim, M. et al. Nutritional value, bioactive compounds and health benefits of lettuce (*Lactuca sativa* L.). *Journal of Food Composition and Analysis*, v. 49, p. 19-34, 2016. DOI: <https://doi.org/10.1016/J.JFCA.2016.03.004>.
- Kim, M., Kim, W.-I., Jung, G., Yun, S., 2001. Safety assessment of heavy metals in agricultural products of Korea. *Korean J. Environ. Agric.* 2 (3), 169–174.
- Lim, H. S. et al. Heavy metal contamination and health risk assessment in the vicinity of the abandoned Songcheon Au–Ag mine in Korea. *Journal of Geochemical Exploration*, v. 96, p. 223–230, 2008.
- Lim, H. S., Lee, J. S., Chon, H. T., & Sager, M. (2008). Heavy metal contamination and health risk assessment in the vicinity of the abandoned Songcheon Au–Ag mine in Korea. *Journal of Geochemical Exploration*, 96, 223–230. <https://doi.org/10.1016/j.gexplo.2007.04.008>
- Mansoor, S., Ali, A., Kour, N., Bornhorst, J., Alharbi, K., Rinklebe, J., Moneim, D., Ahmad, P., & Chung, Y. (2023). Heavy Metal Induced Oxidative Stress Mitigation and ROS Scavenging in Plants. *Plants*, 12. <https://doi.org/10.3390/plants12163003>.
- Maya S, Prakash T, Madhu KD, Goli D. Multifaceted effects of aluminium in neurodegenerative diseases: A review. *Biomed Pharmacother.* (2016)10.1016/j.biopha.2016.07.035.
- McBride, Murray B. et al. Concentrations of lead, cadmium and barium in urban garden-grown vegetables: the impact of soil variables. *Environmental Pollution*, v. 194, p. 254-261, Aug. (2014). [10.1016/j.envpol.2014.07.036](https://doi.org/10.1016/j.envpol.2014.07.036).
- Moelyaningrum, A. D.; Pujiati, R. S. Cadmium (Cd) and Mercury (Hg) in the soil, leachate and ground water at the final waste disposal Pakusari Jember District area. *International Journal of Sciences: Basic and Applied Research*, v. 24, p. 101-108, 2015. Disponível em: [Cadmium \(Cd\) and Mercury \(Hg\) in the Soil, Leachate and Ground Water at the final Waste Disposal Pakusari Jember District Area | Semantic Scholar](https://doi.org/10.3390/plants12163003)
- Montserrat, E. M.; Muñoz, P.; Montero, J. I.; Gabarrell, X.; Rieradevall, J. A study on air quality and heavy metals content of urban food produced in a Mediterranean city (Barcelona). *Journal of Cleaner Production*, v. 195, p. 385-395, 10 set. 2018. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.05.183>
- Najmi, A., Albratty, M., Al-Rajab, A., Alhazmi, H., Javed, S., Ahsan, W., Rehman, Z., Hassani, R., & Alqahtani, S. (2023). Heavy Metal Contamination in Leafy Vegetables Grown in Jazan Region of Saudi Arabia: Assessment of Possible Human Health Hazards. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 20. <https://doi.org/10.3390/ijerph20042984>.
- Najmi, A., Albratty, M., Al-Rajab, A., Alhazmi, H., Javed, S., Ahsan, W., Rehman, Z., Hassani, R., & Alqahtani, S. (2023). Heavy Metal Contamination in Leafy Vegetables Grown in Jazan Region of Saudi Arabia: Assessment of Possible Human Health Hazards. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 20. <https://doi.org/10.3390/ijerph20042984>.

- Nakagawa, Shinichi; Johnson, Paul C. D.; Schielzeth, Holger. The coefficient of determination R^2 and intra-class correlation coefficient from generalized linear mixed-effects models revisited and expanded. *Journal of The Royal Society Interface*, v. 14, p. 20170213, 13 set. 2017. <https://doi.org/10.1098/rsif.2017.0213>
- Ng, V.; Cribbie, R. Using the Gamma Generalized Linear Model for Modeling Continuous, Skewed and Heteroscedastic Outcomes in Psychology. *Current Psychology*, v. 36, jun. 2017.
- Niebla-canelo, D. et al. Toxic metals (Al, Cd, and Pb) in instant soups: an assessment of dietary intake. *Foods*, [s.l.], v. 11, n. 23, p. 3810, 26 nov. 2022. [10.3390/foods11233810](https://doi.org/10.3390/foods11233810)
- Palau-Salvador, G.; De Luis, A.; Juan Pérez, J.; Sanchis-Ibor, C. *Greening the post crisis: collectivity in private and public community gardens in València (Spain)*. *Cities*, v. 92, p. 292-302, set. 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.cities.2019.04.005>
- Pandey, r; Shubhashish, k; Pandey, J. Dietary intake of pollutant aerosols via vegetables influenced by atmospheric deposition and wastewater irrigation. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, v. 76, p. 200-208, (2012).
- Paniz, F.P. et al. Effective procedures for the determination of As, Cd, Cu, Fe, Hg, Mg, Mn, Ni, Pb, Se, Th, Zn, U and rare earth elements in plants and foodstuffs. *Analytical Methods*, v. 10, p. 4094-4103, 2018. <https://doi.org/10.1039/C8AY01295D>
- Pinheiro, J. C.; Bates, D. *Mixed-Effects Models in S and S-PLUS*. [s.l.] Springer.
- R Core Team. *The R Project for Statistical Computing*. Viena: R Foundation for Statistical Computing, 2025. Disponível em: <https://www.r-project.org/>. (Accessed 20 Ago 2024).
- R, Rahimzadeh, M.; R, RAhimzadeh, M.; Kazemi, S.; Moghadamnia, A. A. Cadmium toxicity and treatment: An update. *Caspian Journal of Internal Medicine*, v. 8, n. 3, p. 135-145, verão (2017). [.10.22088/cjim.8.3.135](https://doi.org/10.22088/cjim.8.3.135).
- Rahim, N., Noor, A., Kanwal, A. et al. Assessment of heavy metalcontamination in leafy vegetables: implications for public health and regulatorymeasures. *Environ Monit Assess* 196, 684 (2024). <https://doi.org/10.1007/s10661-024-12855-0>
- Rao, C., & Sujatha, M. (2023). Characterization of Green synthesised Iron nanoparticles and application of synthesised Iron nanoparticles as an effective catalyst for the removal of Carcinogenic metals in aqueous solution. *Research Journal of Chemistry and Environment*. <https://doi.org/10.25303/2712rjce1150122>
- Romero-Estévez D, Yáñez-Jácome GS, Simbaña-Farinango K, Vélez-Terreros PY, Navarrete H. Determination of cadmium and lead in tomato (*Solanum lycopersicum*) and lettuce (*Lactuca sativa*) consumed in Quito, Ecuador. *Toxicol Rep*. Jul 23;7: 893-899. doi: 10.1016/j.toxrep.2020.07.008.
- Schwarz, G. Estimating the Dimension of a Model. *The Annals of Statistics*, v. 6,n. 2, p. 461–464, 1978.

- Schwerdtle, T., Ebert, F., Thuy, C., Richter, C., Mullenders, L., & Hartwig, A. Genotoxicidade de compostos solúveis e particulados de cádmio: impacto no dano oxidativo ao DNA e no reparo por excisão de nucleotídeos. *Pesquisa química em toxicologia*, 23 2, 432-42. 2010. <https://doi.org/10.1021/tx900444w>.
- Shatilov, M. V. et al. *Título do artigo (se disponível)*. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, v. 395, p. 012053, 2019
- Sorg, T.J., Chen, A.S.C., Wang, L., 2014. Arsenic species in drinking water wells in the USA with high arsenic concentrations. *Water Research*, 48, 156–169. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2013.09.016>.
- Teng, J.;Yu, X. O efeito de diferentes metais pesados na saúde humana. *Destaques em Ciência, Engenharia e Tecnologia*. 2023. <https://doi.org/10.54097/hwshqz65>.
- Tongprung, Sumaporn et al. Health risk assessment associated with consumption of heavy metal-contaminated vegetables: A case study in the southern area of Northeast Thailand. *Environmental Challenges*, v. 14, p. 100845, jan. 2024. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.envc.2024.100845>.
- Topal, M.; Topal, E.; Öbek, E. Potential human health risk from toxic/carcinogenic arsenic in ripe and unripe tomatoes grown in wastewater exposed zone. *International Journal of Pure and Applied Sciences*, (2024). <https://doi.org/10.29132/ijpas.1430284>.
- USFDA. U.s. Food and Drug Administration. *Lead in Food and Foodwares*. 2025. Disponível em: [Lead in Food and Foodwares | FDA](#) (Accessed 20 Ago 2024).
- USEPA. United States Environmental Protection Agency – USEPA. *Integrated Risk Information System (IRIS)*. Washington, D.C.: USEPA, 2011. Disponível em: <https://iris.epa.gov>. (Accessed 20 May 2024).
- USEPA. United States Environmental Protection Agency (USEPA). IRIS Assessments. 2011. Disponível em: [IRIS Assessments | IRIS | US EPA](#). (Accessed 20 May 2024).
- WHO. World Health Organization. Global call to action on lead poisoning prevention. 18 Oct. 2024. [Global call to action on lead poisoning prevention](#) (Accessed 20 May 2024).