

## Arborização urbana como bioindicadora de poluição atmosférica por mercúrio: um estudo de caso com *Moquilea tomentosa* Benth. (Chrysobalanaceae) na região sul da Amazônia

Urban afforestation as a bioindicator of atmospheric mercury pollution: a case study with *Moquilea tomentosa* Benth. (Chrysobalanaceae) in the southern region of the Amazon

La forestación urbana como bioindicador de la contaminación atmosférica por mercurio: un estudio de caso con *Moquilea tomentosa* Benth. (Chrysobalanaceae) en la región sur de la Amazonía

Recebido: 16/10/2022 | Revisado: 27/10/2022 | Aceitado: 28/10/2022 | Publicado: 03/11/2022

**Bruna Paz Deecken<sup>1</sup>**

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7735-7321>  
Universidade Federal de Mato Grosso, Brasil  
E-mail: brudeecken1@gmail.com

**Ednaldo Andrade<sup>2</sup>**

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6819-8904>  
Universidade Federal de Mato Grosso, Brasil  
E-mail: ednaldo@ufmt.br

**Cristiano Alves da Costa<sup>1</sup>**

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4209-4899>  
Universidade Federal de Mato Grosso, Brasil  
E-mail: cristianoa.dacosta@gmail.com

**Ricardo Lopes Tortorela de Andrade<sup>1</sup>**

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2202-6813>  
Universidade Federal de Mato Grosso, Brasil  
E-mail: ricardotortorela@gmail.com

**Leandro Dênis Battirola<sup>1</sup>**

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5920-5997>  
Universidade Federal de Mato Grosso, Brasil  
E-mail: leandro.battirola@ufmt.br

### Resumo

O mercúrio (Hg) é considerado internacionalmente como um poluente global e possui alta taxa de dispersão a partir das suas fontes de emissão, devido ao transporte atmosférico. Considerando que esse metal é proveniente, tanto de fontes naturais, quanto antrópicas, é importante saber o quanto de Hg é emitido, as concentrações observadas no ambiente e estimar seus impactos sobre a saúde humana e dos ecossistemas. Dessa maneira, este estudo avaliou a presença de mercúrio no perímetro urbano de seis municípios na região norte de Mato Grosso, sul da Amazônia, por meio da análise de folhas da espécie arbórea Oiti, *Moquilea tomentosa* Benth. (Chrysobalanaceae), amplamente utilizada na arborização urbana nessa região. Os resultados evidenciaram diferenças significativas nas concentrações de mercúrio entre os municípios avaliados (ANOVA =  $p \leq 0,0001$ ), indicando a presença desse metal pesado na atmosfera em todos os perímetros urbanos avaliados. O maior valor médio de Hg foi observado em Paranaíta (172,8  $\mu\text{g Kg}^{-1}$ ), seguido por Alta Floresta (62,1  $\mu\text{g Kg}^{-1}$ ), Carlinda (52,3  $\mu\text{g Kg}^{-1}$ ), Nova Canaã do Norte (25,5  $\mu\text{g Kg}^{-1}$ ), Colíder (19,3  $\mu\text{g Kg}^{-1}$ ) e Nova Santa Helena (6,8  $\mu\text{g Kg}^{-1}$ ). Entretanto, todas essas concentrações encontram-se dentro da faixa considerada aceitável. Assim, recomenda-se o uso de *M. tomentosa* como indicadora da deposição atmosférica de mercúrio em áreas urbanas, com a necessidade de estudos seguindo uma série temporal permitindo o estabelecimento de protocolos específicos para diferentes tipos de poluentes atmosféricos.

**Palavras-chave:** Metais pesados; Monitoramento ambiental; Poluição atmosférica.

### Abstract

Mercury (Hg) is internationally considered a global pollutant and has a high rate of dispersion from its emission sources, due to atmospheric transport. Considering that this metal comes from both natural and anthropogenic sources, it is important to know how much Hg are emitted, the concentrations observed in the environment and estimate its

<sup>1</sup> Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais, Universidade Federal de Mato Grosso, Câmpus Universitário de Sinop, Mato Grosso Brasil.

<sup>2</sup> Instituto de Ciências Agrárias e Ambientais, Universidade Federal de Mato Grosso, Câmpus Universitário de Sinop, Mato Grosso Brasil

impacts on human health and ecosystems. Thus, this study evaluated the presence of mercury in the urban perimeters of six municipalities in the northern region of Mato Grosso, southern Amazon, using leaves of the tree species *Moquilea tomentosa* Benth. (Chrysobalanaceae) widely used in urban afforestation in this region. The results showed significant differences in mercury concentrations between the evaluated municipalities (ANOVA =  $p \leq 0.0001$ ), evidencing the presence of this heavy metal in the atmosphere in all evaluated urban perimeters. The highest mean Hg value was observed in Paranaíta (172.8  $\mu\text{g Kg}^{-1}$ ), followed by Alta Floresta (62.1  $\mu\text{g Kg}^{-1}$ ), Carlinda (52.3  $\mu\text{g Kg}^{-1}$ ), Nova Canaã do Norte (25.5  $\mu\text{g Kg}^{-1}$ ), Colíder (19.3  $\mu\text{g Kg}^{-1}$ ) and Nova Santa Helena (6.8  $\mu\text{g Kg}^{-1}$ ). However, all these concentrations are within the range considered acceptable. Thus, the use of *M. tomentosa* were recommended as an indicator of atmospheric mercury deposition in urban areas, with the need for studies following a time series allowing the establishment of specific protocols for different types of atmospheric pollutants.

**Keywords:** Air pollution; Environmental monitoring; Heavy metals.

### Resumen

El mercurio (Hg) es considerado internacionalmente como un contaminante global y tiene una alta tasa de dispersión desde sus fuentes de emisión, debido al transporte atmosférico. Teniendo en cuenta que este metal proviene tanto de fuentes naturales como antropogénicas, es importante conocer cuánto Hg se emite, las concentraciones observadas en el ambiente y estimar sus impactos en la salud humana y los ecosistemas. Así, este estudio evaluó la presencia de mercurio en el perímetro urbano de seis municipios de la región norte de Mato Grosso, región sur de la Amazonía, a través del análisis de hojas de la especie arbórea *Oiti*, *Moquilea tomentosa* Benth. (Chrysobalanaceae), muy utilizada en la forestación urbana de esta región. Los resultados mostraron diferencias significativas en las concentraciones de mercurio entre los municipios evaluados (ANOVA =  $p \leq 0,0001$ ), indicando la presencia de este metal pesado en la atmósfera en todos los perímetros urbanos evaluados. El mayor valor medio de Hg se observó en Paranaíta (172,8  $\mu\text{g Kg}^{-1}$ ), seguido de Alta Floresta (62,1  $\mu\text{g Kg}^{-1}$ ), Carlinda (52,3  $\mu\text{g Kg}^{-1}$ ), Nova Canaã do Norte (25,5  $\mu\text{g Kg}^{-1}$ ), Colíder (19,3  $\mu\text{g Kg}^{-1}$ ) y Nova Santa Helena (6,8  $\mu\text{g Kg}^{-1}$ ). Sin embargo, todas estas concentraciones se encuentran dentro del rango considerado aceptable. Así, se recomienda el uso de *M. tomentosa* como indicador de la deposición atmosférica de mercurio en áreas urbanas, siendo necesario realizar estudios siguiendo una serie temporal que permita establecer protocolos específicos para diferentes tipos de contaminantes atmosféricos.

**Palabras clave:** Contaminación atmosférica; Metales pesados; Monitoreo ambiental.

## 1. Introdução

O rápido crescimento das cidades, a urbanização e a industrialização trouxeram como consequência a diminuição da qualidade do ar (Janta & Chantara, 2017). A poluição atmosférica, de maneira geral, pode afetar a saúde da população dos centros e aglomerados urbanos, acometendo, principalmente, indivíduos mais susceptíveis e sensíveis, gerando efeitos em curto e longo prazos à população em geral (e.g. Peden, 2018; Manisalidis *et al.*, 2020; Venter *et al.*, 2020). Como agravante ao processo de urbanização, várias cidades têm sua qualidade de ar afetada por fatores como proximidade de centros industriais, de mineração, em grande e pequena escala, e agricultura extensiva, todas responsáveis pela liberação de diferentes componentes na atmosfera (Hu *et al.*, 2014; Secatore *et al.*, 2014; Tegegne *et al.*, 2016; Casagrande *et al.*, 2020; Silva *et al.*, 2020).

Dentre os principais poluentes atmosféricos destacam-se materiais particulados inaláveis (i.e. PM<sub>2,5</sub> e PM<sub>10</sub>), monóxido de carbono (CO), dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), componentes à base de nitrogênio como óxido nítrico (NO) e dióxido de nitrogênio (NO<sub>2</sub>), bem como uma série de metais pesados associados à fontes naturais e antrópicas (Turkyilmaz *et al.*, 2018; Dettori *et al.*, 2021). O monitoramento dos níveis de poluição atmosférica em áreas urbanas é bastante complexo, sendo geralmente realizado de formas diferentes dependendo da região. Dessa forma, a fim de se obter informações precisas e com alta resolução espacial, outras ferramentas para monitorar poluentes atmosféricos se tornam necessárias nesses ambientes (Brignole *et al.*, 2018).

O uso de plantas no biomonitoramento desses compostos e elementos contaminantes da atmosfera possui várias vantagens sobre outros métodos mais convencionais, incluindo a facilidade na amostragem, menores custos operacionais, níveis mais altos de sensibilidade aos contaminantes e monitoramento de grandes áreas (Castro & Sisenando, 2017). Diversos tipos de plantas podem ser utilizadas para esse fim, tanto plantas herbáceas, arbustivas, epífitas ou arbóreas (Souza *et al.*, 2019;

Casagrande *et al.*, 2020; Okereafor *et al.*, 2020). Nesse contexto, *Moquilea tomentosa* Benth. (Chrysobalanaceae), popularmente conhecida como oiti, uma espécie arbórea nativa da Mata Atlântica, perenifólia e frutífera (Zamproni *et al.*, 2016), devido a sua ampla utilização para o plantio em praças, jardins, ruas e avenidas em todo Brasil (Alves *et al.*, 2021), se torna promissora para o biomonitoramento da poluição atmosférica no perímetro urbano.

As plantas, de maneira geral, possuem mecanismos que podem acumular diferentes poluentes atmosféricos como os metais pesados e, assim, fornecer dados importantes sobre as concentrações de metais provenientes do ar, sendo a folhagem a estrutura mais comumente usada para determinar as concentrações desses componentes na atmosfera (Turkyilmaz *et al.*, 2019). O biomonitoramento em áreas urbanas, empregando a folhagem da vegetação não causa danos permanentes à planta, aliado a facilidade de se encontrar árvores em vários pontos de uma cidade (Turkyilmaz *et al.*, 2018a; Shahid *et al.*, 2017).

Devido à tendência a se bioacumular nos organismos, pois não podem ser destruídos ou degradados na natureza, os metais se destacam entre os causadores da poluição do ar (Turkyilmaz *et al.*, 2018a). Dentre os metais pesados, o mercúrio (Hg) é considerado internacionalmente como um poluente global, especialmente, devido à possibilidade de contaminação remota devido ao transporte atmosférico, podendo ocorrer sua deposição na vegetação, no solo e nos corpos d'água (Esbri *et al.*, 2018; Asaduzzaman *et al.*, 2019; Casagrande *et al.*, 2020). Na atmosfera, existem três formas mais comuns de Hg: mercúrio elementar gasoso (Hg<sub>0</sub>), mercúrio oxidado gasoso (Hg<sub>2+</sub>) e mercúrio ligado a partículas (HgP), sendo que a soma de mercúrio elementar (Hg<sub>0</sub>) e mercúrio oxidado (Hg<sub>2+</sub>) é conhecida como mercúrio gasoso total (THg) (Fu *et al.*, 2019). A deposição do mercúrio elementar gasoso nos ecossistemas pode levar meses, dificultando a descoberta da fonte de emissão (Ariya *et al.*, 2015; Saiz-Lopez *et al.*, 2018).

Devido à persistência desse metal no ambiente, se torna relevante avaliar o quanto de Hg é emitido, as concentrações observadas no ambiente e, assim, estimar os impactos sobre a saúde e, a partir disso, projetar medidas de mitigação eficientes (Amos *et al.*, 2015; Evers *et al.*, 2016; Streets *et al.*, 2017). O mercúrio elementar pode ser introduzido no ambiente, tanto por fontes naturais como vulcões, queima de biomassa, oceanos e a desgaseificação natural da crosta terrestre, quanto por fontes antrópicas, incluindo a queima de combustíveis fósseis e a mineração artesanal e em pequena escala de ouro (MAPEO) (Secatore *et al.*, 2014; Gonzalez-Raymat *et al.*, 2017).

Dentre as fontes naturais, a liberação de mercúrio na queima de biomassa devido a queima livre (intencionalmente e acidentalmente) vem causando preocupação, pois pode levar à redistribuição do mercúrio a ecossistemas sensíveis ou pode resultar em exposição humana ao mercúrio por meio da inalação de plumas devido à queima (Simone *et al.*, 2015). Nas fontes antrópicas, a MAPEO é reconhecida como a principal fonte de emissões de mercúrio no planeta (Global Mercury Assessment, 2013; UN Environment, 2019), sendo prejudicial à saúde humana, já que vapores de Hg<sub>0</sub> produzidos nos processos dessas atividades foram ligados a problemas renais e micromercurialismo (fadiga, memória perda, tremores) (Moodya *et al.*, 2020). Com base nisso, em 2013, com o intuito de reduzir as emissões globais de mercúrio e mitigar os impactos da poluição na saúde humana e sobre os ecossistemas foi firmada a Convenção de Minamata sobre Mercúrio tendo o texto final aprovado e assinado por 92 países, incluindo o Brasil (Silva *et al.*, 2017; UN Environment, 2017; Hilson *et al.*, 2018).

Dentre as emissões anuais de mercúrio para a atmosfera a partir de atividades antropogênicas, a MAPEO contribui com cerca de 37% do total (Kirby *et al.*, 2013). Em nível global, as maiores liberações de mercúrio a partir dessa atividade ocorrem na América do Sul (53%), Leste e Sudeste Asiático (36%), e África Subsaariana (8%) (UN Environment, 2019). Na América do Sul, de acordo com Thomson Reuters (2018), o Brasil é o segundo maior produtor de ouro, ficando atrás do Peru. A consequência dessa forte atividade no Brasil é a potencial poluição ambiental por Hg, em razão da MAPEO, concentrada, principalmente, na Amazônia e afetando vários estados inseridos nessa região como Mato Grosso (Miranda *et al.*, 2020; Jesus *et al.*, 2018). Mato Grosso é um dos maiores produtores nacionais de ouro, com atividades de mineração artesanal e em pequena escala em grande parte do território estadual (Massaro & Theije, 2018; May Júnior *et al.*, 2018).

Dessa maneira, considerando que a região norte de Mato Grosso, porção sul da Amazônia, possui o histórico da exploração de ouro por MAPEO, bem como de intensa atividade agrícola e agropecuária, o objetivo desse estudo foi avaliar se nos perímetros urbanos é detectada a presença de elevadas concentrações de mercúrio, analisando folhas de *Moquilea tomentosa* Benth. (Chrysobalanaceae), popularmente conhecida como oiti, uma espécie arbórea frequentemente utilizada na arborização de ruas em cidades de regiões quentes como o norte de Mato Grosso (e.g. Zamproni *et al.*, 2016), cujo potencial bioindicador de poluição do ar já foi destacado em outras regiões (Silva *et al.*, 2016; Leandro *et al.*, 2018), contribuindo para o monitoramento de contaminação ambiental por mercúrio nessa região.

## 2. Metodologia

### 2.1 Área do estudo

O estudo foi conduzido na região norte de Mato Grosso. O Estado de Mato Grosso possui área territorial de 903.207 Km<sup>2</sup> (IBGE, 2021), abrangendo três grandes biomas, Amazônia, Cerrado e Pantanal (Bararji, 2021). A região norte do Estado, de acordo com a classificação de Köppen, possui clima Tropical de Savana (Aw), caracterizado como chuvoso, com índice pluviométrico anual médio de 1.900 mm, com seca no outono e inverno e temperaturas anuais médias superiores a 24°C (Souza *et al.*, 2013). Para o estudo foram obtidas amostras de folhas de indivíduos de *Moquilea tomentosa* (Figura 1) utilizadas na arborização urbana em seis municípios (Figura 2, Tabela 1). Na Figura 1 observa-se que a espécie arbórea é utilizada na arborização urbana, como o exemplo de Sinop, Mato Grosso.

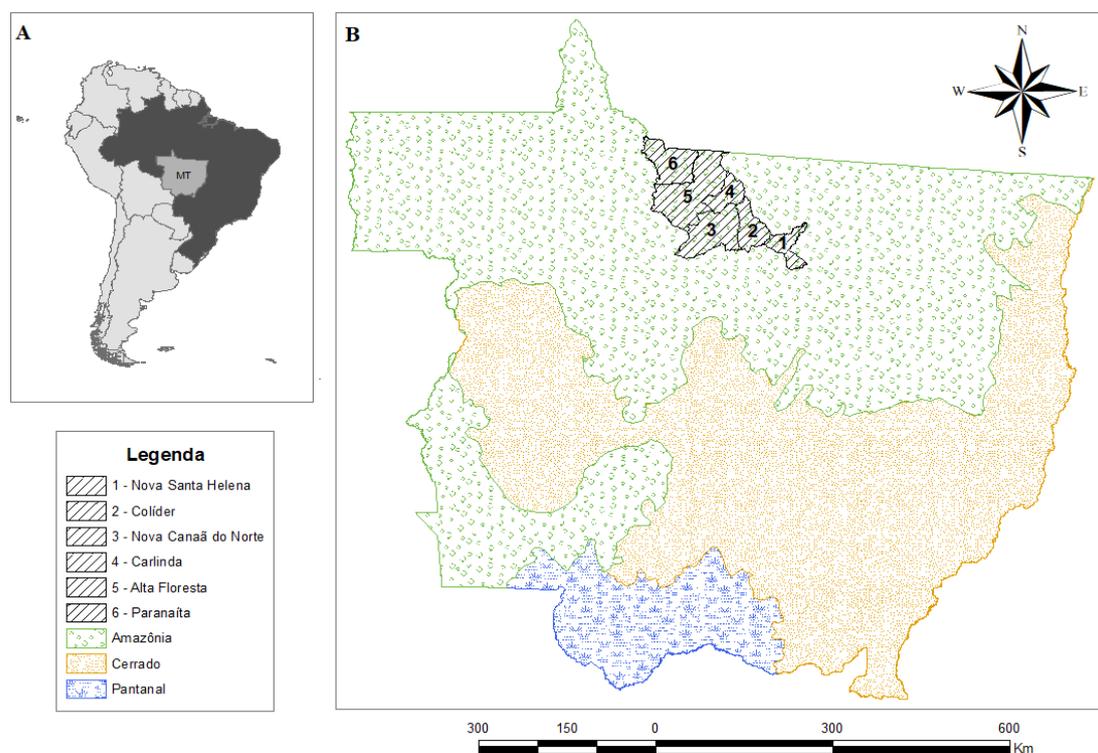
Ressalta-se que todos os municípios selecionados estão inseridos na Província Aurífera de Alta Floresta (PAAF) (Souza *et al.*, 2005), também denominada de Província Aurífera Juruena-Teles Pires (Silva & Abram, 2008), localizada na região norte do Estado do Mato Grosso, que se configura como uma área alongada de 500 km de extensão na direção WNW (Paes de Barros, 2007). Na PAAF se distribuem uma centena de depósitos auríferos, que foram ou estão sendo explorados por atividades garimpeiras (Miguel Junior, 2011). Essa região já foi considerada uma das principais produtoras de ouro do país entre 1980 e 1998 de onde se extraiu, aproximadamente, 125 toneladas de ouro (Lacerda Filho, 2004).

**Figura 1** - Exemplar de *Moquilea tomentosa* – Oiti, localizada no perímetro urbano de Sinop, norte de Mato Grosso, Brasil.



Fonte: Deecken, B. P.

**Figura 2** - Localização geográfica das áreas de coleta. A – América do Sul com destaque para o Brasil e Mato Grosso; B – Estado de Mato Grosso com destaque para os seis municípios e os biomas presentes no estado.



Fonte: Deecken, B. P.

Na Figura 2, além de se destacar a localização dos municípios estudados, evidencia-se a distribuição dos biomas presentes em Mato Grosso, mostrando a inserção da área de estudo na porção sul da Amazônia, local de grande interesse para estudos de biodiversidade, e ao mesmo tempo uma fronteira econômica de exploração dos recursos naturais, com a expansão da mineração, exploração florestal e mineração.

**Tabela 1** - Dados demográficos dos seis municípios da região norte de Mato Grosso amostrados para a avaliação do potencial uso de *Moquilea tomentosa* como indicadora da presença de mercúrio no perímetro urbano. (\*IDH – Índice de Desenvolvimento Humano).

Município	Localização	Área (km <sup>2</sup> )	População (hab.)	IDH	Economia PIB (R\$)
Nova Santa Helena	10°49'12"S 53°21'03"O	2.627	3.737	0,714	40.672,04
Colíder	10°38'13"S 55°42'32"W	42.462	33.649	0,713	880.677,96
Nova C. do Norte	10°38'13"S 55°42'32"W	5.975	12.388	0,686	383.866,04
Carlinda	9°57'28"S 55°49'55"W	2.417	10.199	0,665	166.418,15
Alta Floresta	9°54'0"S 55°54'0"W	8.986	51.959	0,714	6.702.655,00
Paranaíta	9°40'23"S 56°28'50"W	4.800	11.225	0,672	56.765,64

Fonte: Adaptado do IBGE (2011; 2021).

Observa-se na Tabela 1 que os municípios possuem características diferenciadas entre si, apesar de estarem localizados na mesma região, refletindo em diferentes frentes de atuação econômica, incluindo a mineração.

## 2.2 Coleta de amostras

Por se tratar de um estudo descritivo, de natureza quantitativa (e.g. Lakatos & Marconi, 2003), que objetiva descrever as condições presentes no ambiente em função da definição de bioindicadores ambientais (Casagrande *et al.*, 2020) foram executadas atividades de coleta de dados em campo para posterior análise laboratorial, conforme descrito a seguir. Em campo foram amostradas folhas de 30 exemplares de *M. tomentosa*, em cada um dos seis municípios avaliados, totalizando 180 amostras com aproximadamente 200g cada. As coletas foram realizadas em dezembro de 2020, durante o período de chuvas da região, quando as folhas das árvores se encontravam adultas, considerando que essa espécie arbórea efetua a mudança da folhagem e rebrota no período de seca na região, antecedendo o início das chuvas. Todas as árvores amostradas encontravam em fase adulta e localizavam-se no perímetro urbano dos municípios em vias de maior fluxo. As amostras, no ato da coleta, foram armazenadas em sacos de plástico, devidamente identificados com o número da árvore, as coordenadas geográficas e o município e transportadas para o Laboratório Integrado de Pesquisas em Químicas (LIPEQ), Câmpus Universitário de Sinop da Universidade Federal de Mato Grosso. No LIPEQ, as folhas foram secas em estufa de circulação de ar a 50° C até atingirem o peso constante, trituradas e peneiradas em peneira com malha de 1 mm. A biomassa processada foi armazenada em pacotes lacrados a -20° C para posterior análise química.

## 2.3 Análise química

As amostras da biomassa seca das folhas foram pesadas (0,3 g de cada amostra) em balança digital com precisão de  $\pm 0,1$  mg, e dispostas em tubos de digestão adicionando-se 1,0 ml de água destilada, 5,0 ml de ácido sulfúrico P.A. ( $H_2SO_4$ ) e 1,0 ml de ácido nítrico ( $HNO_3$ ). Os tubos foram aquecidos em bloco digestor a 215°C durante 1h (Akagi, 2004) e, após esfriar por alguns minutos em condição ambiente, adicionou-se a cada tubo, 5,0 ml de solução de peróxido de hidrogênio ( $H_2O_2$ ). Em seguida os extratos obtidos pela digestão foram transferidos para balões volumétricos (25 ml), e diluídos com água destilada. Toda a vidraria utilizada nesta etapa do experimento foi submetida à limpeza prévia, com lavagem com água e sabão, imersão em solução de  $KMnO_2$  0,5% durante 1 h, enxágue com água corrente, destilada e secagem em estufa, para garantir a isenção de impurezas que pudessem interferir nos resultados. As concentrações de Hg total (THg) nas amostras foram determinadas por Espectroscopia de Absorção Atômica (Equipamento Varian AA140) por meio de geração de vapor frio (VGA77) utilizando metodologia de Akagi (2004). A solução padrão estoque utilizada para a curva de calibração foi rastreável ao NIST (*National Institute of Standards and Technology*), marca Specsol. A precisão do método, avaliada por meio da análise de seis réplicas, foi de 7,1%. O limite de detecção foi de  $0,20 \mu g L^{-1}$ , determinado pela média de dez amostras branco (amostras apenas com as soluções de digestão, sem a biomassa seca), mais três vezes o desvio padrão, e o limite de quantificação foi de  $0,39 \mu g L^{-1}$ , determinado pela média dos dez brancos mais dez vezes o desvio padrão (Neto *et al.*, 2012).

## 2.4 Análise estatística

As concentrações de mercúrio obtidas em folhas de *M. tomentosa* no perímetro urbano foram comparadas individualmente entre os municípios avaliados. Para análise individual de cada município, os dados foram submetidos ao teste de Shapiro-Wilk para normalidade. Posteriormente, verificado o efeito significativo das médias das cidades quanto a concentração de mercúrio por meio da ANOVA, essas foram comparadas pelo teste de agrupamento Scott-Knott (1974) ao nível de significância de 5%. As análises foram realizadas utilizando-se o Software SISVAR (Ferreira 2010).

### 2.5 Análise espacial

As concentrações de mercúrio obtidas em folhas de *M. tomentosa* no perímetro urbano foram inseridas no programa livre QGIS v. 3.16.9 (QGIS.org, 2021) e interpoladas por meio da Ponderação pelo Inverso da Distância (IDW), a fim de gerar uma superfície estatística com base nos pontos amostrados buscando evidenciar a presença de um gradiente de concentração.

## 3. Resultados

Diferentes concentrações de mercúrio foram obtidas nas amostras de folhas de *M. tomentosa*, evidenciando a presença desse metal pesado na atmosfera de todos os municípios avaliados, entretanto, essas concentrações encontram-se dentro da faixa considerada aceitável. O maior valor médio de Hg foi observado em Paranaíta (172,8  $\mu\text{g Kg}^{-1}$ ), seguida por Alta Floresta (62,1  $\mu\text{g Kg}^{-1}$ ), Carlinda (52,3  $\mu\text{g Kg}^{-1}$ ), Nova Canaã do Norte (25,5  $\mu\text{g Kg}^{-1}$ ), Colíder (19,3  $\mu\text{g Kg}^{-1}$ ) e Nova Santa Helena (6,8  $\mu\text{g Kg}^{-1}$ ) (Tabela 2).

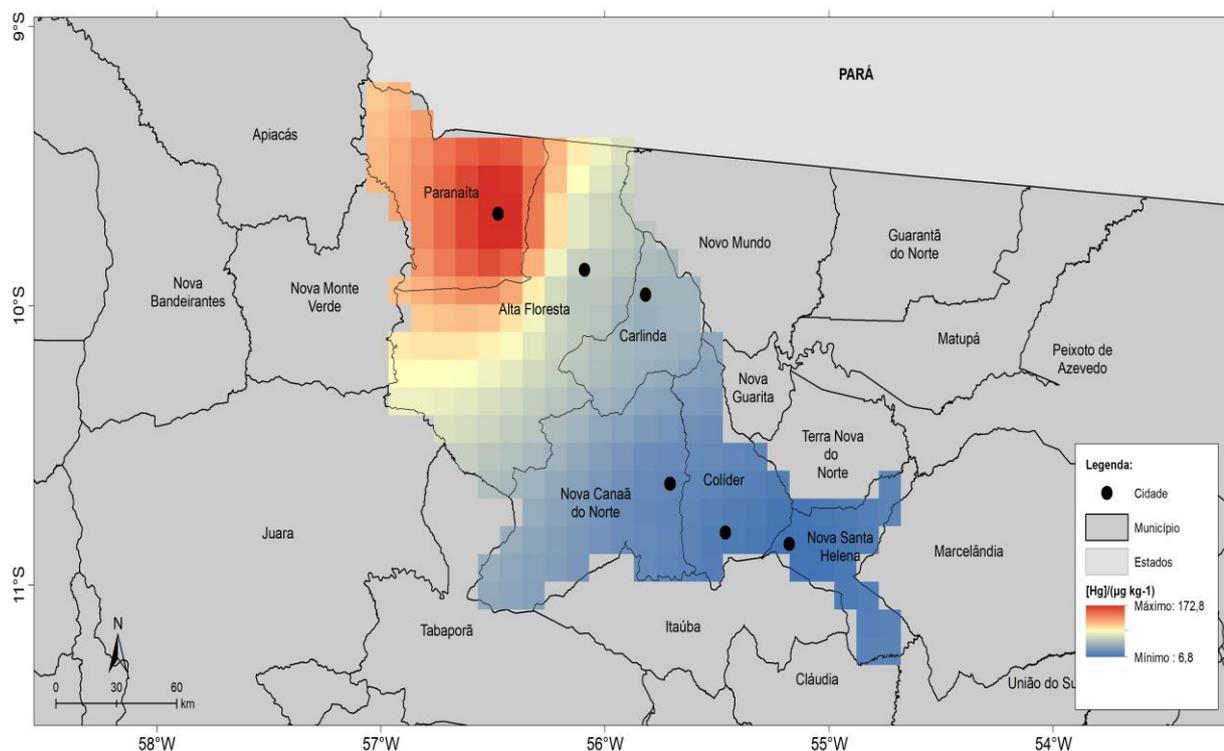
A Análise de Variância confirmou a variação entre a concentração de mercúrio entre os municípios (ANOVA =  $p \leq 0,0001$ ), evidenciada pelo teste Scott Knott ( $p > 0,05$ ) (Tabela 2). Observa-se que, tanto Paranaíta, quanto Nova Santa Helena, diferem dos demais municípios. O primeiro devido a elevada concentração de mercúrio observada nas folhas de *M. tomentosa*, e o segundo pela menor concentração obtida (Figura 3). Os demais municípios apresentam similaridade entre si, mas são diferentes de Paranaíta e Nova Santa Helena, é o caso de Alta Floresta e Carlinda que apresentaram resultados similares, e de Colíder e Nova Canaã do Norte que também foram similares entre si.

**Tabela 2** - Comparações das médias das concentrações de Hg ( $\mu\text{g Kg}^{-1}$ ) obtidas individualmente entre os municípios estudados no norte de Mato Grosso pelo teste de Scott-Knott (1974).

Cidade	[Hg]/( $\mu\text{g kg}^{-1}$ )
Nova Santa Helena	6,8 a
Colíder	19,3 b
Nova Canaã do Norte	25,5 b
Carlinda	52,3 c
Alta Floresta	62,1 c
Paranaíta	172,8 d

Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si pelo teste de Scott Knott ( $p > 0,05$ ). Fonte: Deecken, B. P.

**Figura 3** - Distribuição espacial das médias das concentrações de Hg ( $\mu\text{g kg}^{-1}$ ) obtidas individualmente entre os municípios estudados no norte de Mato Grosso interpoladas por meio da Ponderação pelo Inverso da Distância (IDW).



Fonte: Deecken, B. P.

Destaca-se o aumento da concentração nos municípios mais ao norte, cujo histórico de exploração mineral é mais evidenciado em relação aos municípios ao sul.

#### 4. Discussão

O uso de folhas de *M. tomentosa* permitiu identificar a presença de mercúrio no perímetro urbano de todos os seis municípios avaliados, entretanto, com concentrações diferenciadas entre os mesmos. Esses resultados evidenciam a deposição atmosférica desse metal no perímetro urbano, e destaca o potencial que espécies arbóreas possuem para monitorar a presença desse elemento nas cidades, reforçando a relevância das árvores utilizadas na arborização urbana como bioindicadoras da presença de Hg (e.g. Esbrí *et al.*, 2018, Birk *et al.*, 2018; Peckham *et al.*, 2018, Prasetia *et al.*, 2018, Turkyilmaz *et al.*, 2018b).

O município de Paranaíta demonstrou a maior concentração média de mercúrio em folhas de *M. tomentosa* ( $172,8 \mu\text{g Kg}^{-1}$ ). Esta cidade surgiu na década de 70, com intuito de implantar um complexo de investimentos agroflorestal, agroindustrial e extrativista, porém a descoberta do ouro tomou o espaço da agricultura, tanto no município, quanto nos arredores, mudando completamente a característica do local, mesmo com a redução da exploração do ouro na década de 90 (Mato Grosso, 2021). Isso evidencia que, apesar da atividade de mineração ter sido reduzida há muitos anos, há indícios de atividades remanescentes e essas possuem influência na contaminação de Hg no município, se tornando necessário um estudo aprofundado na região para se determinar qual é a fonte principal de emissão.

No município de Alta Floresta registrou-se  $62,1 \mu\text{g Kg}^{-1}$  de concentração média de Hg. Essa cidade é a mais próxima de Paranaíta, localizada a uma distância de aproximadamente 55 km. Observa-se que concentração de mercúrio presente nas folhas de *M. tomentosa* diminui conforme a distância de Paranaíta aumenta. Carlinda ( $52,3 \mu\text{g Kg}^{-1}$ ), está distante 84 km, Nova

Canaã do Norte ( $25,5 \mu\text{g Kg}^{-1}$ ) localiza-se a cerca de 179 km de distância, enquanto Colíder ( $19,3 \mu\text{g Kg}^{-1}$ ) e Nova Santa Helena ( $6,8 \mu\text{g Kg}^{-1}$ ) que apresentaram as menores concentrações de Hg estão localizadas à 207,5 km e 241 km de distância de Paranaíta, respectivamente. É evidente o decréscimo dos níveis de contaminação em relação à distância de Paranaíta, elucidando que as fontes de emissão podem estar mais concentradas neste município ou em regiões próximas a ele.

Casagrande *et al.* (2020) avaliaram a evidência de deposição atmosférica de mercúrio em cultivo de soja (*Glycine max* L.) também no norte de Mato Grosso, em que as amostras obtidas em região próxima às atividades de mineração apresentaram maior teor médio de mercúrio nas plantas, similarmente aos resultados obtidos neste estudo, já que Paranaíta apresenta atividade garimpeira superior aos demais municípios avaliados. Dentro dos seis municípios avaliados, o município de Paranaíta possui atualmente uma grande atividade de MAPEO, elucidando que esse tipo de atividade contribui para a contaminação de mercúrio no perímetro urbano. Li *et al.* (2020) menciona que concentrações mais altas são encontradas mais perto da fonte de poluição de Hg e que a vegetação é impactada. De acordo com Esbrí *et al.* (2018) as informações de contaminação podem ser acessadas pelo que fica registrado nas folhas das árvores, devido ao acúmulo por um maior período. Ressalta-se que *M. tomentosa* possui o ciclo de vida perene, perdendo suas folhas apenas uma vez ao ano.

A presença de mercúrio na atmosfera é natural em concentrações baixas, já que esse metal possui íntima relação com os processos geoquímicos dos diferentes habitats. De acordo com a Agência de Proteção Ambiental Americana (USEPA), em exposição ambiental a concentração de referência para Hg na atmosfera é de  $300 \text{ ng m}^{-3}$  ( $0,3 \mu\text{g m}^{-3}$  de  $\text{Hg}^0$ ) para população em geral exposta a esse elemento por toda vida (US EPA, 1997). A OMS considera que concentrações abaixo de  $1.000 \mu\text{g m}^{-3}$  não são prejudiciais à saúde humana, desde que mantidas sob controle e monitoradas (WHO, 2000). De acordo com UN Environment (2019), durante o Global Mercury Assessment 2018 foram apresentados pela Organização das Nações Unidas (ONU), dados de modelagem sobre o transporte e deposição global de Hg no ano de 2015 de alguns locais. Seguindo estes dados, na região Sul da Amazônia, em que esse estudo foi realizado, estimou-se uma concentração de Hg na atmosfera entre  $1.400$  e  $1.800 \mu\text{g m}^{-3}$  e a taxa de deposição de  $13$  a  $25 \text{ g /km}^2/\text{ano}$ , indicando a existência de emissões antrópicas significativas nessa região.

O município de Paranaíta se destacou devido à concentração média de mercúrio de  $172,8 \mu\text{g Kg}^{-1}$ , porém não se observam restrições de concentração na literatura em relação as folhas de plantas arbóreas. Ressalta-se que a legislação do Ministério da Saúde estabelece limites de Hg em alimentos como crustáceos, moluscos e peixes, variando de  $500$  a  $1.000 \mu\text{g Kg}^{-1}$  de Hg (Brasil, 2021), indicando que a concentração nas folhas está abaixo dos níveis de risco.

Considerando que a movimentação do mercúrio nos diferentes habitats pode ser influenciada por ações humanas por meio de atividades produtivas como industriais, agrícolas e de mineração, já era esperado que o mercúrio fosse detectado nas áreas urbanas dos municípios no norte de Mato Grosso. Toda essa região desenvolve atividades produtivas, principalmente agrícolas e de mineração, bem como da indústria de base. Mato Grosso destaca-se pelo potencial agrícola e é um dos maiores produtores de ouro do Brasil, com uma grande concentração de garimpos exatamente na região norte onde este estudo foi realizado.

Além das atividades produtivas, devido à sua localização na transição entre o Cerrado e a Amazônia, a região norte de Mato Grosso sofre influência direta do avanço da fronteira agrícola, do chamado “arco do desmatamento”, por ser produtora de soja e local de criação de bovinos (Carvalho & Domingos, 2016). Como consequência desse avanço, na região é comum serem registradas elevadas taxas de incidência de queimadas (Carmo e Carmo, 2019). Destaca-se, também, a mineração artesanal de ouro em pequena escala (e.g. Casagrande *et al.*, 2020). Todas essas atividades foram avaliadas em nível global e os estudos comprovam sua influência para as taxas de emissões de Hg na atmosfera (AMAP, 2013; Sundseth *et al.*, 2017).

Outros estudos como Esbrí *et al.* (2018) testaram folhas de árvores usadas em arborização urbana em uma localidade com indústria de cloro-soda para monitorar as concentrações atmosféricas e o nível de poluição por mercúrio gasoso, provando

que o biomonitoramento é uma metodologia útil, confiável e econômica. Prasetia *et al.* (2018) em uma área de mineração artesanal em pequena escala (MAPEO), demonstraram que a casca de árvore pode ser usada para a avaliação ambiental da contaminação atmosférica, pois prende e absorve metais pesados como Hg atmosférico e outros como Fe e Mn.

Wolswijk *et al.* (2018) analisaram a distribuição de mercúrio em sedimentos, tecidos vegetais e animais na reserva florestal Matang Mangrove na Malásia e encontraram alta concentração de Hg nas folhas, proveniente da absorção pelo ar ou ela deposição atmosférica, quando comparado a outros tecidos vegetais. Yousaf *et al.* (2020) analisaram as cascas de árvores no entorno de Toronto no Canadá e notaram que as amostras estavam fortemente enriquecidas com metais pesados, principalmente nos locais próximos às estradas com tráfego elevado de veículos. Além disso, Ishtiaq *et al.* (2017) demonstraram que as folhas de espécies arbóreas podem ser usadas como bioindicadores de poluição do ar em zona urbana, pois os metais pesados e outros particulados provenientes do uso de veículos estão afetando diretamente as folhas das árvores, devido a sua capacidade de penetrar na folha, modificar ou destruir suas células e tecidos.

O oiti é de fato bastante utilizado na arborização urbana em todo Brasil (Silva *et al.*, 2019), porém há estudos que demonstram que esta árvore pode ter outros usos. Jardim *et al.* (2021) elucidam que *M. tomentosa*, presente nos centros urbanos, pode ser utilizada como biomonitora passiva e de acumulação de material particulado. Moreira-Araújo *et al.* (2019) evidenciou que os seus frutos possuem alto teor de compostos bioativos e atividade antioxidante. Medeiros *et al.* (2020) constataram que devido ao seu teor de nutrientes e antioxidantes, *M. tomentosa* pode ser usada para aplicações alimentares. Além disso, pesquisas comprovam que o oiti tem potencial para uso medicinal. Segundo Agra *et al.* (2007), *M. tomentosa* é empregada para o tratamento empírico de diabetes na medicina popular. Miranda *et al.* (2002) relataram que as sementes atuam como inibidores do vírus do herpes, e Ribeiro *et al.* (2014) demonstraram que compostos isolados das folhas e frutos possuem ação leishmanicida.

## 5. Considerações Finais

Evidencia-se, portanto, que as árvores utilizadas na arborização urbanas podem ser úteis no monitoramento da poluição atmosférica. Devido à adaptação às condições adversas, pesquisas nessa área tornam-se promissoras, evidenciando a necessidade de mais estudos para o pleno estabelecimento de protocolos de avaliação. Empregando *M. tomentosa* para o monitoramento da poluição atmosférica foi possível registrar a presença de mercúrio no perímetro urbano dos seis municípios avaliados na região norte de Mato Grosso. Observou-se uma relação direta com uma das atividades produtivas, onde se concentra a maior ocorrência de MAPEOs. Os menores valores obtidos nos municípios podem estar associados à dispersão do mercúrio a partir das fontes de emissão, o que se torna mais difícil de mensurar. De maneira geral, recomenda-se o uso de *M. tomentosa* como indicadora da deposição atmosférica de mercúrio em áreas urbanas, sugere-se a necessidade de continuidade dos estudos abordando uma série temporal para se estabelecerem protocolos específicos para diferentes tipos de poluentes atmosféricos, além de estudos mais aprofundados em relação ao mercúrio, considerando-se a característica econômica dessa região.

## Agradecimentos

Ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais da Universidade Federal de Mato Grosso, Câmpus Universitário de Sinop, à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pela concessão da bolsa de estudos ao primeiro autor. À Financiadora de Estudos e Projetos (FINEP), e ao Laboratório Integrado de Pesquisas em Química – LIPEQ, pela realização das análises químicas e participação na execução da pesquisa.

## Referências

- Agra, M. F., Freitas, P. F. & Barbosa-Filho, J. M. (2007). Synopsis of the plants know as medicinal and poisonouns in Northeast of Brasil. *Revista Brasileira Farmacognosia*, 17(1): 114-140. <https://doi.org/10.1590/S0102-695X2007000100021>.
- Akagi, H. (2004). *Manual de análises de mercúrio*. Ministério do Meio Ambiente - Japão, 119 p.
- Alves, L. L., Monteiro, E. M., Ribeiro, J. L. P., Madureira, N. F. S. & Penido, T. M. A. (2021). Crown projection area of *Licania tomentosa* (Benth.) Fritsch (Chrysobalanaceae), estimated by linear regression. *Brazilian Journal of Development*, 7(4), 40150-40159. <https://doi.org/10.34117/bjdv7n4-466>.
- Amos, H. M., Sonke, J. E., Obrist, D., Robins, N., Hagan, N., Horowitz, H. M., Mason, R. P., Witt, M., Hedgcock, I., Corbitt, E. S. & Sunderland, E. (2015). Observational and modeling constraints on global anthropogenic enrichment of mercury. *Environmental Science and Technology*, 49(7), 4036-4047. <https://doi.org/10.1021/es5058665>.
- Andrade, R. P., Michel, R. F. M., Schaefer, C. E. G. R., Simas, F. N. B. & Windmoller, C. C. (2012). Hg distribution and speciation in Antarctic soils of the Fildes and Ardley peninsulas, King George Island. *Antarctic Science*, 24(4), 395-407. <https://doi.org/10.1017/S0954102012000107>.
- AMAP - Arctic Monitoring and Assessment Programme (2013). United Nations Environment Programme (UNEP). *Global Mercury Assessment: Sources, Emissions, Releases and Environmental Transport*, UNEP Chemicals Branch: Geneva, Switzerland.
- Ariya, P. A., Amyot, M., Dastoor, A., Deeds, D., Feinberg, A., Kos, G., Poulain, A., Ryjkov, A., Semeniuk, K., Subir, M. & Toyota, K. (2015). Mercury physicochemical and biogeochemical transformation in the atmosphere and at atmospheric interfaces: a review and future directions. *Chemical Reviews*, 115(10), 3760-3802. <https://doi.org/10.1021/cr500667e>.
- Bacarji, A. G., Vilpoux, O. F. & Paranhos-Filho, A. C. (2021). Impacts of agrarian reform on land use in the biomes of the Midwest region of Brazil between 2004 and 2014. *Annals of the Brazilian Academy of Sciences*, 93(1): e20181106. <https://doi.org/10.1590/0001-3765202120181106>.
- Birke, M., Rauch, U. & Hofmann, F. (2018). Tree bark as a bioindicator of air pollution in the city of Stassfurt, Saxony-Anhalt, Germany. *Journal of Geochemical Exploration*, 187, 97-117. <https://doi.org/10.1016/j.gexplo.2017.09.007>.
- Brasil (2021) Instrução normativa nº 88, de 26 de março de 2021. Dispõe sobre Os limites máximos tolerados (LMT) de contaminantes em alimentos, os princípios gerais para o seu estabelecimento e os métodos de análise para fins de avaliação de conformidade. Ministério da Saúde, Agência Nacional de Vigilância Sanitária. <https://www.in.gov.br/en/web/dou/-/resolucao-rdc-n-487-de-26-de-marco-de-2021-311593455>. Acesso 28 jun 2021.
- Brignole, D., Drava, G., Minganti, V., Giordani, P., Samson, R., Vieira, J., Pinho, P. & Branquinho, C. (2017). Chemical and magnetic analyses on tree bark as an effective tool for biomonitoring: A case study in Lisbon (Portugal). *Chemosphere*, 195, 508-514. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2017.12.107>.
- Carvalho, T. S. & Domingues, E. P. (2016). Projeção de um cenário econômico e de desmatamento para a Amazônia Legal brasileira entre 2006 e 2030. *Nova Economia*, 26(2), 585-621. <http://dx.doi.org/10.1590/0103-6351/2665>.
- Casagrande, G. C. R., Franco, D. N. M., Moreno, M. I. C., Andrade, E. A., Battirola, L. D. & Andrade, R. L. T. (2020). Assessment of atmospheric mercury deposition in the vicinity of artisanal and small-scale gold mines using *Glycine max* as Bioindicators. *Water, Air & Soil Pollution*, 231, 551. <https://doi.org/10.1007/s11270-020-04918-y>.
- Castro, L. F. & Sisenando, H. A. (2017). Monitoramento da qualidade do ar por meio do ensaio com *Tradescantia pallida* na cidade do Rio de Janeiro/Brasil. *Revinter*, 10(3), 101-115. <https://doi.org/10.22280/revintervol10ed3.313>.
- Coelho, R. V. F. & Faria, A. M. M. (2014). Mapeamento de empresas industriais no estado de Mato Grosso. *Revista de Estudos Sociais*, 16(32), 62-84. <https://periodicoscientificos.ufmt.br/ojs/index.php/res/article/view/2074>.
- Dettori, M., Deiana, G., Balletto, G., Borruso, G., Murgante, B., Arghittu, A., Azara, A. & Castiglia, P. (2021). Air pollutants and risk of death due to COVID-19 in Italy. *Environmental Research*, 192, 110459. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2020.110459>.
- Driscoll, C. T., Mason, R. P., Chan, H. M., Jacob, D. J. & Pirrone, N. (2013). Mercury as a global 299 pollutant: Sources, pathways, and effects. *Environmental Science and Technology*, 47(10), 4967-4983. <https://doi.org/10.1021/es305071v>.
- Evers, D. C., Egan Keane, S., Basu, N. & Buck, D. (2016). Evaluating the effectiveness of the Minamata Convention on Mercury: Principles and recommendations for next steps. *Science of The Total Environment*, 569/570, 888-903. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2016.05.001>.
- Fu, X., Zhang, H., Liu, C., Zhang, H., Lin, C. & Feng, X. (2019). Significant seasonal variations in isotopic composition of atmospheric total gaseous mercury at forest sites in China caused by vegetation and mercury sources. *Environmental Science and Technology*, 53(23), 13748-13756. <https://doi.org/10.1021/acs.est.9b05016>.
- Gonzalez-Raymat, H., Liu, G., Liriano, C., Li, Y., Yin, Y., Shi, G. J. & Cai, Y. (2017). Elemental mercury: Its unique properties affect its behavior and fate in the environment. *Environmental Pollution*, 229, 69-86. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2017.04.101>.
- Hawkins, D. & Weisberg, S. (2017). Combining the Box-Cox power and generalized log transformations to accommodate nonpositive responses in linear and mixed effects linear models. *South African Statistical Journal*, 51(2). <https://journals.co.za/doi/epdf/10.10520/EJC-bd05f9440>
- Hilson, G., Zolnikov, T. R., Ortiz, D. R. & Kumah, C. (2018). Formalizing artisanal gold mining under the Minamata convention: Previewing the challenge in Sub-Saharan Africa. *Environmental Science and Policy*, 85, 123-131. <https://doi.org/10.1016/j.envsci.2018.03.026>.
- Howard, D., Macsween, K., Edwards, G. C., Desservettaz, M., Guérette, E., Paton-Walsh, N., Surawski, N. C., Sullivan, A., Weston, C., Volkova, L., Powell, J., Keywood, M. D., Reisen, F. & Meyer, C. P. (2019). Investigation of mercury emissions from burning of Australian eucalypt forest surface fuels using a combustion wind tunnel and field observations. *Atmospheric Environment*, 202, 17-27. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2018.12.015>.

- IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (2011). Censo Demográfico 2010, Área territorial brasileira. Rio de Janeiro: IBGE. <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/mt/panorama>. Acesso 23 mai 2021.
- IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (2021). Diretoria de Pesquisas, Coordenação de População e Indicadores Sociais, 2021 [acesso em 11 de maio de 2021]. Área da unidade territorial: *Área territorial brasileira*. Rio de Janeiro. <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/mt/panorama>. Acesso 11 mai 2021.
- Ishtiaq, M., Hussain, A., Maqbool, M., Mushtaq, W., Azam, A., Shahzaman, M. & Mehmood, H. (2017). Comparative study on effect of auto-vehicular pollution on morphology and anatomy of two common plant species from Urban areas of Gujrat and Bhimber (AJK), Pakistan. *International Journal of Biosciences*, 10(3), 265-274. <http://dx.doi.org/10.12692/ijb/10.3.265-274>
- Jardim, W. S., Cardoso, K. M. & Jesus, C. P. (2021). Caracterização e utilização de três espécies da arborização urbana no biomonitoramento de material particulado. *Revista Brasileira de Meio Ambiente*, 9(2), 23-32.
- Janta, R. & Chantara, S. (2017). Tree bark as bioindicator of metal accumulation from road traffic and air quality map: A case study of Chiang Mai, Thailand. *Atmospheric Pollution Research*, 8(5), 956-967. <https://doi.org/10.1016/j.apr.2017.03.010>.
- Jesus, L. D. F., Moreira, M. F. R., Azevedo, S. V., Borges, R. M., Gomes, R. A. A., Bergamini, F. P. B. & Teixeira, L. R. (2018). Lead and mercury levels in an environmentally exposed population in the Central Brazil. *Reports in Public Health*, 34(2), e00034417. <https://doi.org/10.1590/0102-311x00034417>.
- Kirby, A., Rucevska, I., Yemelin, V., Cooke, C., Simonett, O., Novikov, V. & Hughes, G. (2013). Mercury Time to act. *UNEP*. <https://grid.cld.bz/Mercury-Time-to-Act/28>. Acesso 20 mai 2021.
- Kruskal, W. H., & Wallis, W. A., (1952). Use of ranks in one-criterion variance analysis. *Journal of the American Statistical Association*, 47(260), 583-621. <https://doi.org/10.2307/2280779>.
- Lakatos, E. M., & Marconi, M. A. (2003). Fundamentos de Metodologia Científica. 5ª Edição. Ed. Atlas, São Paulo.
- Leandro, D. S., Lessa, D., Silva, R. A., Mendes, S. O. & Duarte, T. E. P. N. (2018). Estudos para uso de organismos potencialmente bioindicadores e biomonitores. *Biodiversidade*, 17(2), 115-130.
- Li, Q., Tang, L., Qiu, G. & Liu, C. (2020). Total mercury and methylmercury in the soil and vegetation of a riparian zone along a mercury-impacted reservoir. *Science of the Total Environment*, 738, 139794. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.139794>.
- Manisalidis, I., Stavropoulou, E., Stavropoulos, A. & Bezirtzoglou, E. (2020). Environmental and health impacts of air pollution: a review. *Frontier in Public Health*, 8, 1-13. <https://doi.org/10.3389/fpubh.2020.00014>.
- Massaro, L. & Theije, M. (2018). Understanding small-scale gold mining practices: An anthropological study on technological innovation in the Vale do Rio Peixoto (Mato Grosso, Brazil). *Journal of Cleaner Production*, 204(10), 618-635. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.08.153>.
- Mato Grosso (2021). Prefeitura Municipal de Paranaíta, História do município. Mato Grosso. <https://www.paranaita.mt.gov.br/O-Municipio/Historia-do-Municipio/>. Acesso 18 mai 2021.
- May Júnior, J. A., Guigley, H., Hoogesteijn, R., Tortato, F. R., Devlin, A., Carvalho Júnior, R. M., Morato, R. G., Sartorello, L. R., Rampim, L. E., Haberfeld, M., Paula, R. C. & Zocche, J. J. (2018). Mercury content in the fur of jaguars (*Panthera onca*) from two areas under different levels of gold mining impact in the Brazilian Pantanal. *Annals of the Brazilian Academy of Sciences*, 90(2 Suppl. 1), 2129-2139. <https://doi.org/10.1590/0001-3765201720170190>.
- Medeiros, J. L., Almeida, T. S., Lopes-Neto, J. J., Almeida-Filho, L. C. P., Ribeiro, P. R. V., Brito, E. S., Morgano, M. A., Silva, M. G., Farias, D. F. & Carvalho, A. F. U. (2020). Chemical composition, nutritional properties, and antioxidant activity of *Licania tomentosa* (Benth.) fruit. *Food Chemistry*, 313, 126117. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2019.126117>.
- Miranda, M. M., Gonçalves, J. L., Romanos, M. T., Silva, M. H., Ejzemberg, R., Granja, L. F. & Wigg, M. D. (2002). Anti-herpes simplex vírus effect of a seed extract from tropical plant *Licania tomentosa* (Beth) Fritsch (Chrysobalanaceae). *Phytomedicine*, 9(7), 641-645. <https://doi.org/10.1078/094471102321616463>.
- Miranda, M. M., Jesus, I. M., Faial, K. R. F., Lima, M. O. & Asmus, C. I. R. F. (2020). Risco epidemiológico de transmissão vertical do mercúrio na região de fronteira na Pan Amazônia. In: Dal Molin, R. S. *Saúde Em Foco Temas Contemporâneos – Volume 3*. Guarujá, SP: Científica Digital.
- Moreira-Araújo, R. S. R., Barros, N. V. A., Porto, R. G. C. L., Brandão, A. C. A. S., Lima, A. & Fett, R. (2019). Bioactive compounds and antioxidant activity three fruit species from the Brazilian Cerrado. *Revista Brasileira de Fruticultura*. <https://doi.org/10.1590/0100-29452019011>.
- Moodya, K. H., Hasana, K. M., Aljica, S., Blakemana, V. M., Hicks, L. P., Lovinga, D. C., Moorea, M. E., Hammetta, B. S., Silva-González, M., Seneya, C. S. & Kiefera, A. M. (2020). Mercury emissions from Peruvian gold shops: Potential ramifications for Minamata compliance in artisanal and small-scale gold mining communities. *Environmental Research*, 182, 109042. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2019.109042>.
- Neto, A. P. N., Costa, L. C. S. M., Kikuchi, A. N. S., Furtado, D. M. S., Araujo, M. Q. & Melo, M. C. C. (2012). Method validation for the determination of total mercury in fish muscle by cold vapour atomic absorption spectrometry. *Food Additives and Contaminants*, 29(4), 617-624. <https://doi.org/10.1080/19440049.2011.642009>.
- Olson, C. I., Fakhraei, H. & Driscoll, C. T. (2020). Mercury emissions, atmospheric concentrations, and wet deposition across the conterminous United States: Changes over 20 years of monitoring. *Environmental Science and Technology Letters*, 7(6), 376-381. <https://doi.org/10.1021/acs.estlett.0c00185>.
- Praselia, H., Sakakibara, M., Otori, K., Laird, J. S., Sera, K. & Kurmiawan, I. A. (2018). *Mangifera indica* as bioindicator of mercury atmospheric contamination in an ASGM area in north Gorontalo Regency, Indonesia. *Geosciences*, 8(1), 31. <https://doi.org/10.3390/geosciences8010031>.
- QGIS.org, 2021. QGIS Geographic Information System. QGIS Association. <http://www.qgis.org>.

- Ribeiro, T. G., Chávez-Fumagalli, M. A., Valadares, D. G., Franca, J. R., Lage, P. S., Duarte, M. C., Andrade, P. H. R., Martins, V. T., Costa, L. E., Arruda, A. L. A., Faraco, A. A. G., Coelho, E. A. F. & Castillo, R. O. (2014). Antileishmanial activity and cytotoxicity of Brazilian plants. *Experimental Parasitology*, 143, 60-68. <http://dx.doi.org/10.1016/j.exppara.2014.05.004>.
- Saiz-Lopez, A., Sitkiewicz, S. P., Roca-Sanjuán, D., Oliva-Enrich, J. M., Dávalos, J. Z., Notario, R., Jiskra, M., Xu, Y., Wang, F., Trackray, C. P., Sunderland, E. M., Jacob, D. J., Travnikov, O., Cuevas, C. A., Acuña, A. U., Rivero, D., Plane, J. M. C., Kinnison, D. E. & Sonke, J. E. (2018). Photoreduction of gaseous oxidized mercury changes global atmospheric mercury speciation, transport and deposition. *Nature Communications*, 9, 4796. <https://doi.org/10.1038/s41467-018-07075-3>.
- Scott, A. & Knott, M. (1974). Cluster-analysis method for grouping means in analysis of variance. *Biometrics*, 30(3), 507-512. <https://doi.org/10.2307/2529204>.
- Seccatore, J., Veiga, M., Origliasso, C., Marin, T. & Tomi, G. (2014). An estimation of the artisanal small-scale production of gold in the world. *Science of the Total Environment*, 496, 662-667. <http://dx.doi.org/10.1016/j.scitotenv.2014.05.003>.
- Shahid, M., Dumat, C., Khalida, S., Schreck, E., Xiong, T. & Niazi, N. K. (2017). Foliar heavy metal uptake, toxicity and detoxification in plants: a comparison of foliar and root metal uptake. *Journal of Hazard Materials*, 325, 36-58. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2016.11.063>.
- Silva, R. R., Branco, J. C., Thomaz, S. M. T. & Cesar, A. (2017). Convenção de Minamata: análise dos impactos socioambientais de uma solução em longo prazo. *Saúde em Debate*, 41, 50-62. <https://doi.org/10.1590/0103-11042017s205>.
- Silva, A. D. P., Batista, A. C., Giongo, M. V., Biondi, D., Santos, A. F., Oliveira, L. M. & Cachoeira, J. N. (2019). Arborização das praças de Gurupi – To – Brasil: composição e diversidade de espécies. *REVSBau*, 14(4), 1-12. <http://dx.doi.org/10.5380/revsbau.v14i4.67547>.
- Silva, L. F. O., Pinto, D., Neckel, A., Dotto, G. L. & Oliveira, M. L. S. (2020). The impact of air pollution on the rate of degradation of the fortress of Florianópolis Island, Brazil. *Chemosphere*, 251, 126838. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2020.126838>.
- Simone, F. D., Cinnirella, S., Gencarelli, C. N., Yang, X., Hedgecock, I. M. & Pirrone, N. (2015). Model study of global mercury deposition from biomass burning. *Environmental Science and Technology*, 49(11), 6712-6721. <https://doi.org/10.1021/acs.est.5b00969>.
- Souza, A. P., Mota, L. L., Zamadei, T., Martim, C. C., Almeida, F. T. E. & Paulino, J. (2013). Classificação climática e balanço hídrico climatológico no estado de Mato Grosso. *Nativa*, 1(1), 34-43. <http://10.31413/nativa.v1i1.1334>.
- Streets, D. G., Horowitz, H. M., Jacob, D. J., Lu, Z., Levin, L., Shure, A. F. H. T. & Sunderland, E. M. (2017). Total mercury released to the environment by human activities. *Environmental Science and Technology*, 51(11), 5969-5977. <https://doi.org/10.1021/acs.est.7b00451>.
- Sundseth, K., Pacyna, J. M., Pacyna, E. G., Pirrone, N. E. & Thorne, R. J., (2017). Global sources and pathways of mercury in the context of human health. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 14(1), 105. <https://doi.org/10.3390/ijerph14010105>.
- Tak, A. A. & Kakde, U. B. (2020). Biochemical, morphological and anatomical changes in tree foliage exposed to vehicular pollution. *International Journal of Environment, Agriculture and Biotechnology*, 5(2), 1-10. <https://doi.org/10.22161/ijeab.53.23>.
- Tegegne, Y., Lindner, M., Fobissie, K. & Kanninem, M. (2016). Evolution of drivers of deforestation and forest degradation in the Congo Basin forests: exploring possible policy options to address forest loss. *Land Use Policy*, 51, 312-324. <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2015.11.024>.
- Thomson Reuters, 2018. GFMS Gold Survey 2018. <https://bit.ly/2RgYwCR>. Acesso em 20 mai 2021.
- Turkyilmaz, A., Sevik, H., Cetin, M. & Saleh, E. A. A. (2018a). Changes in heavy metal accumulation depending on traffic density in some landscape plants. *Polish Journal of Environmental Studies*, 27(5), 2277-2284. <https://doi.org/10.15244/pjoes/78620>.
- Turkyilmaz, A., Sevik, H., Isinkaralar, K. & Cetin, M. (2018b). Using *Acer platanoides* annual rings to monitor the amount of heavy metals accumulated in air. *Environmental Monitoring and Assessment*, 190, 578. <https://doi.org/10.1007/s10661-018-6956-0>.
- Turkyilmaz, A., Sevik, H., Isinkaralar, K. & Cetin, M. (2019). Use of tree rings as a bioindicator to observe atmospheric heavy metal deposition. *Environmental Science and Pollution Research*, 26, 5122-5130. <https://doi.org/10.1007/s11356-018-3962-2>.
- UN Environment - United Nations Environment Programme. (2013). Global Mercury Assessment 2013: Sources, Emissions, Releases and Environmental Transport. *United Nations Pubns*, Geneva. <https://wedocs.unep.org/handle/20.500.11822/7984>. Acesso em 13 mai 2021.
- UN Environment - United Nations Environment. (2017). Minamata Convention on Mercury - Text and Annexes. <http://www.mercuryconvention.org/Portals/11/documents/Booklets/COP1%20version/Minamata-Convention-booklet-eng-full.pdf>. Acesso em 13 mai 2021.
- UN Environment - United Nations Environment. (2019). Global Mercury Assessment 2018. <http://www.unenvironment.org/resources/publication/globalmercury-assessment-2018>. Acesso 20 de ago 2021.
- US EPA - United States Environmental Protection Agency (1997). Mercury Study Report to Congress Health Effects of Mercury and Mercury Compounds, Washington (DC), *United States Environmental Protection Agency*, 1997 EPA-452/R97-007. <https://www.epa.gov/sites/default/files/2015-09/documents/volume5.pdf>. Acesso em 24 ago 2021.
- WHO - World Health Organization. Regional Office for Europe. (2000). Air quality guidelines for Europe: second edition. *World Health Organization. Regional Office for Europe*. <https://apps.who.int/iris/handle/10665/107335>. Acesso em 24 mai 2021.
- Wolswijk, G., Satyanarayana, B., Dung, L. Q., Siau, Y. F., Ali, A. N. B., Saliu, I. S., Fisol, M. A. B., Gonnelli, C. & Dahdouh-Guebas, F. (2020). Distribution of mercury in sediments, plant and animal tissues in Matang Mangrove Forest Reserve, Malaysia. *Journal of Hazardous Materials*, 387, 121665. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2019.121665>.
- Yousaf, M., Mandiwana, K. L. & Baig, K. S. (2020). Evaluation of *Acer rubrum* tree bark as a bioindicator of atmospheric heavy metal pollution in Toronto, Canada. *Water, Air & Soil Pollution*, 231, 382. <https://doi.org/10.1007/s11270-020-04758-w>.
- Zamproni, K., Biondi, D. & Bobrowski, R. (2016). Avaliação quali-quantitativa da espécie *Licania tomentosa* (Benth.) Fritsch. na arborização viária de Bonito - MS. *REVSBau*, 11(2), 45-58. <http://dx.doi.org/10.5380/revsbau.v11i2.63421>.