

## AVALIAÇÃO DA CONCENTRAÇÃO TOTAL E DA BIOACESSIBILIDADE DE CÁDMIO E CHUMBO EM FRUTAS ORIUNDAS DA REGIÃO DE MANAUS (AMAZÔNIA BRASILEIRA)

Elziane Pereira Ferro<sup>1</sup>, Ani Caroline Weber<sup>2</sup>, Sabrina Grandó Cordeiro<sup>3</sup>, Bruna Costa<sup>4</sup>, Ytan Andreine Schweizer<sup>5</sup>, Letícia Angeli de Oliveira<sup>6</sup>, Peterson Haas<sup>7</sup>, Eduardo Miranda Ethur<sup>8</sup>, José Miguel Pestana<sup>9</sup>, Lucélia Hoehne<sup>10</sup>

**Resumo:** A composição química das frutas está diretamente ligada ao tipo de solo e clima que se encontram. Assim, este trabalho tem como objetivo a determinação da concentração total e bioacessível dos metais tóxicos cádmio (Cd) e chumbo (Pb) em frutas oriundas da floresta amazônica brasileira. A determinação da concentração total dos metais foi realizada por meio de digestão ácida total via forno micro-ondas para manga, acerola, carambola, laranja e taperebá. A concentração bioacessível foi avaliada por meio do método de bioacessibilidade para manga e laranja. Para ambos os ensaios, as concentrações de metais foram quantificadas através de Espectrometria de Emissão Óptica com Plasma Indutivamente Acoplado (ICP-OES). Obteve-se concentrações totais (mg/kg) de Cd e Pb, respectivamente, para a laranja de 2,80 e 16,48; carambola 3,56 e 13,16; acerola 3,30 e 14,27; manga 0,35 e 3,00 e para o Taperebá.as concentrações

---

1 Mestranda do Programa de Pós-Graduação em Biotecnologia da Universidade do Vale do Taquari - Univates. E-mail: [elziane.ferro@universo.univates.br](mailto:elziane.ferro@universo.univates.br)

2 Mestranda do Programa de Pós-Graduação em Biotecnologia da Univates. E-mail: [ani.weber@universo.univates.br](mailto:ani.weber@universo.univates.br)

3 Mestranda do Programa de Pós-Graduação em Biotecnologia da Univates. E-mail: [sabrina.cordeiro@univates.br](mailto:sabrina.cordeiro@univates.br)

4 Graduanda em Engenharia Química da Univates. E-mail: [bruna.costa@universo.univates.br](mailto:bruna.costa@universo.univates.br)

5 Graduando em Engenharia Química da Univates. E-mail: [ytan.schweizer@univates.br](mailto:ytan.schweizer@univates.br)

6 Graduanda em Engenharia Química da Univates. E-mail: [leticia.oliveira2@univates.br](mailto:leticia.oliveira2@univates.br)

7 Bolsista de Iniciação Científica Júnior da Univates. E-mail: [peterston.haas@universo.univates.com](mailto:peterston.haas@universo.univates.com)

8 Doutor em Química - PPGBiotecnologia da Univates. E-mail: [eduardome@univates.br](mailto:eduardome@univates.br)

9 Doutor em Ciências Veterinárias - PPGBiotecnologia da Univates. E-mail: [miguelpestana01@gmail.com](mailto:miguelpestana01@gmail.com)

10 Doutora em Química - PPGBiotecnologia da Univates. E-mail: [luceliah@univates.br](mailto:luceliah@univates.br)

ficaram abaixo do limite de quantificação (LD). Para a laranja, obteve-se 0,013 mg/kg de Cd bioacessível e para a manga os valores ficaram abaixo do de LD que é de Cd de 0,05 mg/kg de fruta e para o Pb de 0,10 mg/kg. Os resultados obtidos para os dois metais estudados encontram-se acima dos limites permitidos pela legislação brasileira, mas a concentração que realmente é absorvida pelo organismo (parte bioacessível) nos vegetais analisados ficaram abaixo do permitido. Neste sentido, esse trabalho evidenciou a necessidade de realizar mais estudos a nível de bioacessibilidade para garantir a qualidade dos frutos para seus consumidores.

**Palavras-chave:** nutrientes; bioacessibilidade; frutas.

## 1 INTRODUÇÃO

Estudos recentes relacionam o consumo de frutas com a diminuição da ocorrência de algumas doenças, como problemas cardiovasculares, alguns tipos de câncer e doenças neurodegenerativas, dando assim uma nova importância para estes alimentos. Além disso, esta classe contém elevados benefícios à saúde e faz parte da nutrição do ser humano e outros animais. Estes benefícios devem-se ao fato de os frutos comestíveis possuírem diferentes micronutrientes (vitaminas e minerais), fibras alimentares e uma grande variedade de fitoquímicos (YAHIA; GARCÍA-SOLÍS; ROMÁN *et al.*, 2019; BACHETTI *et al.*, 2019).

A absorção dos nutrientes pelo corpo humano é gradativa e pode não ocorrer em sua totalidade. Para determinar a concentração bioativa liberada de frutos comestíveis para o trato gastrointestinal usa-se a técnica de bioacessibilidade, que informa a quantidade de cada elemento disponível para absorção. Esta técnica pode ser aplicada de forma *in vivo* ou *in vitro*, mas devido à baixa aplicabilidade e dificuldade de comparação de resultados as práticas *in vivo* não possuem grande uso na determinação da quantidade bioativa dos alimentos. Neste sentido, Minekus *et al.* (2014) propuseram um protocolo padronizado de bioacessibilidade *in vitro* baseado em simulações da digestão oral, gástrica e intestinal (SCHULZ *et al.*, 2017; BALASOORIYA; DASANAYAKE; AJLOUNI, 2019; BAZARRA *et al.*, 2017).

Com o aumento significativo da poluição do ar, do solo e da água, após a revolução industrial, oriunda de diversas fontes, a contaminação de frutas e outros alimentos por micropoluentes inorgânicos, da classe metais tóxicos, têm causado preocupação aos órgãos ambientais e a comunidade científica. Dentre todos os constituintes desse grupo, os mais perigosos e estudados são o chumbo (Pb), zinco (Zn), níquel (Ni), manganês (Mn), mercúrio (Hg), cromo (Cr), cobre (Cu) e cádmio (Cd) e alumínio (Al). Atualmente, as principais fontes de metais tóxicos são a disposição de resíduos domésticos e industriais, processos industriais, insumos agrícolas, combustão de combustíveis fósseis, mineração e queima de carvão em caldeiras (ASAD *et al.*, 2019; AMER *et al.*, 2019).

Certos metais tóxicos, em baixas concentrações, são necessários para manter o organismo humano saudável. Contudo, o excesso de alguns metais tóxicos pode causar severos danos à saúde ou até a morte. Como exemplo da essencialidade, temos o crômio (Cr) trivalente ( $\text{Cr}^{3+}$ ), essencial para manter o metabolismo normal da glicose em uma faixa de ingestão diária para homens adultos (entre 19 e 50 anos) de 0,035 mg/dia e para mulheres adultas (entre 19 e 50 anos) de 0,025 mg/dia, sendo que consumos superiores o tornam tóxico. Outro elemento essencial é o cobre (Cu), que está presente em diversas proteínas e enzimas, sendo a dose diária recomendada (RDA) para adultos de 0,9 mg/dia. Consumos inferiores de Cu estão relacionados a anemia e neutropenia e a ingestão superior causa toxicidade aguda.

Dentre os metais pesados tóxicos danosos ao organismo pode-se citar ainda o alumínio (Al), um metal com efeito neurotóxico, sem função conhecida no organismo, que pode se acumular no cérebro, ossos, fígado e rins. O chumbo (Pb) também não possui efeitos positivos no organismo e seu consumo ou exposição semanal em concentrações superiores a 25  $\mu\text{g}/\text{kg}$  de massa corpórea é capaz de interromper processos fisiológicos normais e o desenvolvimento motor de crianças, podendo causar danos graves e irreversíveis ao sistema nervoso central. Os efeitos negativos do Pb se estendem por todos os ecossistemas, como o estresse oxidativo em peixes, causado pela acumulação nos tecidos desses animais (AMER *et al.*, 2019; WEI *et al.*, 2019; GOLDHABER, 2003; ZULFIQAR *et al.*, 2019; LEE *et al.*, 2019).

Ainda, o metal tóxico Cd é considerado mundialmente perigoso, devido à sua elevada meia vida e capacidade de bioacumulação (WEI *et al.*, 2019), sendo classificado como cancerígeno de Categoria I. Está relacionado a diversas doenças nos rins (disfunção glomerular e tubular), ossos (osteomalácia e osteoporose) e pulmões (enfisema pulmonar). Pode ser encontrado de diversas formas na crosta terrestre como subproduto da mineração do zinco, fumaça oriunda do cigarro e a ingestão de alguns cereais como o arroz (REYES-HINOJOSA *et al.*, 2019). O organismo humano é capaz de absorver cerca de 5 a 10% do Cd presente em fontes alimentares e a absorção por ingestão tolerável semanal é de 2,5  $\mu\text{g}/\text{kg}$  da massa corpórea, concentração estabelecida pela Autoridade Europeia para a Segurança Alimentar (AESA) em 2011 (REBELO; CALDAS, 2016). Alguns estudos demonstram que o acúmulo de Cd é superior em mulheres do que em homens, e pode ser transferido para o feto durante a gravidez e para o recém-nascido durante a amamentação, podendo acarretar distúrbios fetais e funcionais em recém-nascidos (GENG; WANG, 2019).

A preocupação acerca da bioacumulação de metais tóxicos está levando diversos pesquisadores a verificar a presença destes poluentes em alimentos e solo. Alguns estudos científicos feitos em diferentes locais do mundo, como no Paquistão (Província de Baluchistan), encontraram concentrações acima dos limites normais em solos agrícolas no Vale de Zhob, sendo a ingestão diária de metais pesados (DIM) maior para o ferro (Fe) e menor para Cd na planta

do trigo (*Triticum aestivum*). Ao analisar adultos e crianças, observou-se que as crianças apresentavam maior DIM, tendo em vista que possuíam maior ingestão por unidade de peso corporal (MUHAMMAD; ULLAH; JADOON, 2019). Por outro lado, na China, ao avaliarem a ingestão de metais pesados (Cd, Pb, Cr e Ni) em frutos de maçã, pera, pêsego, uva e jujuba, verificou-se que não havia risco para a população (NIE *et al.*, 2016).

O Ministério da Saúde do Brasil, em conjunto com a Agência Nacional de Vigilância Sanitária, aprovou o regulamento técnico MERCOSUL acerca dos limites máximos de contaminantes inorgânicos em alimentos que estão descritos na Resolução da Diretoria Colegiada - RDC N° 42 de 29 de agosto de 2013. Neste regulamento fica estabelecido um limite de Cd de 0,05 mg/kg de fruta e para o Pb de 0,10 mg/kg de fruta fresca (todas as espécies). Para as frutas frescas de bago e pequenas, o limite de Pb é de 0,20 mg/kg de fruta (BRASIL, 2013).

A Floresta Amazônica representa o maior bioma do mundo, abrigando um terço de todas as espécies e a maior bacia hidrográfica do planeta, o que torna essencial o estudo da presença de metais pesados em seu solo, plantas e frutos. A região dos frutos estudados está localizada às margens do rio Igarapé do Quarenta, na cidade de Manaus (AM). O local possui clima quente e úmido, com um ambiente térmico elevado e solos compostos em sua maioria (cerca de 80%) pelas classes Podzólico e Latossolos (CHAVES, 2008). Há poucos estudos publicados que pesquisaram a identificação dos micropoluentes inorgânicos, da classe metais tóxicos, na região amazônica brasileira. Em virtude disso, o presente estudo tem como objetivo avaliar a presença e quantificar os metais tóxicos e bioacessíveis em frutas comestíveis coletadas/colhidas da margem do rio Igarapé, mais especificamente Pb e Cd. A avaliação dos dois metais tóxicos foi efetuada após digestão ácida das amostras seguida da análise por Espectrometria de Emissão Óptica com Plasma Indutivamente Acoplado (ICP-OES), avaliando-se a concentração total e o teor bioacessível destes elementos.

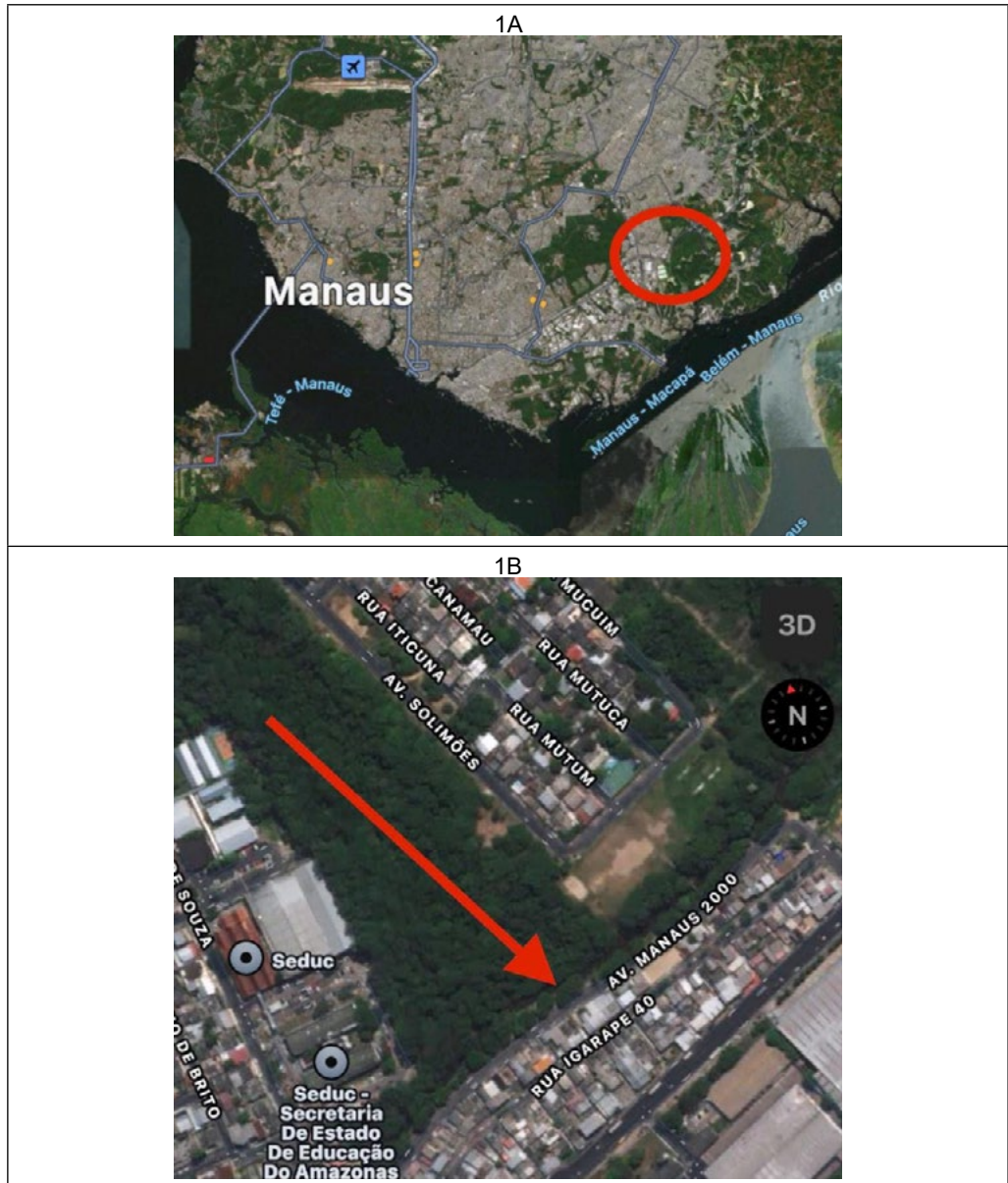
## 2 MATERIAL E MÉTODOS

### 2.1 Coleta e preparo da amostra

Cinco espécies de frutas (manga - *Mangifera indica* L., acerola - *Malpighia puniceifolia* L., laranja - *Citrus sinensis* L. Osbeck, taperebá - *Spondias lutea* L. e carambola - *Averrhoa carambola* L.) foram coletadas em árvores frutíferas localizadas às margens do rio Igarapé do Quarenta, em ambiente natural, (Figura 1 A e B) em área da Floresta Amazônica localizada na cidade de Manaus (AM) e armazenadas em sacos de polietileno. Coletou-se cerca de 500 g de manga e laranja e 100 g de acerola, taperebá e carambola. Estas amostras foram limpas, pesadas e secas em estufa a uma temperatura de 105 °C por 24 horas, atingindo peso constante. Em seguida, as alíquotas foram moídas, armazenadas em

frascos adequados, rotuladas e mantidas à temperatura ambiente (SHAHEEN *et al.*, 2016; FEIST; MIKULA, 2014).

Figura 1A e B. Localização do ponto de coleta das frutas em Manaus, em Igarapé 40, AM.



## 2.2 Reagentes e vidrarias

Os reagentes utilizados na digestão e análise das amostras são de grau analítico (P.A). Para o preparo das soluções e diluições utilizou-se água ultrapura de resistividade  $18,2 \text{ M}\Omega\cdot\text{cm}^{-1}$  (Millipore, Milli-Q). A fim de evitar contaminação das amostras, todas as vidrarias passaram por um processo de descontaminação, adaptado de Klaic (2016), que consiste na submersão das vidrarias em ácido nítrico 10% (v/v) por 24 h com posterior enxágue com água ultrapura e secagem à temperatura ambiente.

## 2.3 Digestão das frutas para quantificação total de Cd e Pb

Para quantificação total de Cd e Pb, as amostras passaram pelo processo de digestão ácida via forno micro-ondas, de acordo com a metodologia adaptada de Altundag e Tuzen (2011). Nessa etapa da metodologia, pesou-se aproximadamente 0,5 g de amostra em tubos de politetrafluoroetileno (PTFE) com posterior adição de 5 mL de ácido nítrico (ultra purificado através de destilação *sub-boiling*, CAS#7697-37-2) e 1 mL de peróxido de hidrogênio P.A 30% (Laboratório Química Moderna, Lote: 02097. CAS:7722-84-1). Os tubos foram selados e inseridos em forno micro-ondas (Anton Paar, Multiwave PRO), onde as amostras foram submetidas ao aquecimento suave, seguindo a programação de aquecimento por 5 minutos e permanência na temperatura atingida por 5 minutos, para as temperaturas de 80, 100, 120 e 150 °C. Após, resfriou-se até 50°C pelo período de 20 minutos. Por fim, as amostras digeridas foram transferidas para tubos Falcon, aferidos com água ultrapurificada, filtrados e enviados para quantificação dos metais em ICP-OES (Perkin Elmer, Optima 8000). A quantificação total de Cd e Pb foi realizada para as cinco frutas coletadas.

## 2.4 Avaliação da Bioacessibilidade

A avaliação do teor bioacessível de Pb e Cd foi avaliada somente para as frutas laranja e manga. Devido a ter mais amostras disponíveis do que as demais. Para isto, utilizou-se a metodologia adaptada de Minekus *et al.* (2014), que consiste na simulação do sistema gastrointestinal humano por meio de soluções que simulam a saliva, suco gástrico e suco intestinal.

### 2.4.1 Preparo das soluções de saliva, suco gástrico e suco intestinal

Cada solução utilizada foi composta por um conjunto de soluções e enzimas com concentrações idênticas às encontradas no corpo humano:

- Para o preparo de 100 mL de solução sintética de saliva: Em balão volumétrico, adicionou-se 2,95 mL de KCl (37,3 g/L), 1,47 mL de  $\text{KH}_2\text{PO}_4$  (34 g/L), 1,31 mL de  $\text{NaHCO}_3$  (84 g/L), 0,20 mL de  $\text{MgCl}_2(\text{H}_2\text{O})_6$  (15,2 g/L), 0,05 mL de  $(\text{NH}_4)_2\text{CO}_3$  (12 g/L), 0,12 mL de

HCl (1 mol/L), 2,5 g de  $\alpha$ -Amilase (Sigma-Aldrich) e aferiu-se com água ultrapurificada.

- Para o preparo de 100 mL de solução sintética de suco gástrico: Em um balão volumétrico, adicionou-se 1,34 mL de KCl (37,3 g/L), 0,03 mL de  $\text{KH}_2\text{PO}_4$  (34 g/L), 2,5 mL de  $\text{NaHCO}_3$  (84 g/L), 2,31 mL de NaCl (117 g/L), 0,13 mL de  $\text{MgCl}_2(\text{H}_2\text{O})_6$  (15,2 g/L), 0,42 mL de  $(\text{NH}_4)_2\text{CO}_3$  (12 g/L), 0,26 mL de HCl (6 mol/L), 1,76 g de Pepsina (JT Baker, Pepsina Powder) e aferiu-se o menisco com água ultrapura.
- Para o preparo de 250 mL de suco intestinal: Em balão volumétrico, adicionou-se 3,35 mL de KCl (37,3 g/L), 0,74 mL de  $\text{KH}_2\text{PO}_4$  (34 g/L), 21,3 mL de  $\text{NaHCO}_3$  (84 g/L), 4,7 mL NaCl (117 g/L), 1,15 mL de  $\text{MgCl}_2(\text{H}_2\text{O})_6$  (15,2 g/L), 0,35 mL de HCl (6 mol/L), 6,75 g de Bile sintética (Fluka Analytical, Bile Salts), 0,67 g de pancreatina (Sigma Aldrich, Pancreatina de Pâncreas Suíno) e aferiu-se o menisco com água ultrapura.

#### 2.4.2 Simulação do trato gastrointestinal

Para simulação do trato gastrointestinal adicionou-se aos Erlenmeyers contendo 2 g de amostra (laranja e manga) as soluções previamente preparadas, da seguinte maneira:

- Boca – Adicionou-se a cada Erlenmeyer contendo amostra 8 mL de solução salivar + 1 mL de  $\text{CaCl}_2$  7,5 mmol/L, ajustou-se o pH para 7 e colocou-se a mistura por 10 minutos em banho maria agitado a 37°C;
- Estômago - Adicionou-se as misturas resultantes em cada Erlenmeyer da etapa anterior 9,1 mL de solução gástrica + 700  $\mu\text{L}$  de  $\text{CaCl}_2$  2 mmol/L, ajustou-se o pH para 3 e levou-se a mistura resultante a banho maria agitado a 37°C por 2 h;
- Intestino delgado - Adicionou-se as misturas resultantes em cada Erlenmeyer da etapa anterior 18,5 mL de solução intestinal + 1,35 mL de  $\text{CaCl}_2$  9 mmol/L, ajustou-se o pH para 7 e colocou-se a mistura por 2h em banho maria agitado a 37°C.

#### 2.4.3 Inativação das enzimas e centrifugação das amostras

Após as simulações realizou-se a inativação das enzimas presente nas amostras através de um banho de gelo por um período de 20 minutos e a separação da parcela bioativa do sólido por centrifugação a 10.000 rpm por 30 minutos.

#### 2.5 Digestão ácida via forno micro-ondas e diluição da parcela bioacessível

A fim de evitar partículas sólidas na parcela bioativa realizou-se uma digestão ácida via forno micro-ondas, do mesmo modo que para a digestão total,

adicionando-se aos tubos de PTFE 1 mL de amostra, 1 mL de água ultrapura e 3 mL de ácido nítrico, com posterior submissão ao forno micro-ondas. Em seguida as amostras foram transferidas para tubos Falcon, avolumadas e enviadas para quantificação por ICP-OES.

## 2.6 Quantificação de Cd e Pb

O equipamento ICP-OES utilizado para quantificação de Cd e Pb foi equipado com amostrador S10, nebulizador concêntrico e câmara de nebulização concêntrica de quartzo. O gás utilizado foi Argônio, seguindo as seguintes condições de análise: Plasma 13 L/min, Gás auxiliar argônio 0,2 L/min, nebulização 0,55 L/min com potência 1200 W com vista axial 15.0, os comprimentos de onda utilizados respectivamente para cádmio e chumbo foram 226,502 nm e 220,353 nm. Todas as amostras foram feitas em triplicatas.

## 3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

### 2.1 Concentração total de Cd e Pb

As concentrações de metais tóxicos encontradas nas frutas testadas estão descritas na Tabela 1. Foi detectada a presença dos metais cádmio e chumbo em todas as alíquotas, observando um maior valor de Cd na carambola e maior valor de Pb na laranja.

Tabela 1 - Concentração dos metais tóxicos cádmio e chumbo nas frutas testadas, n=3.

Amostras de Frutas	Concentração de cádmio (mg/kg)	Concentração de Chumbo (mg/kg)
Manga	0,35 ± 0,06	3,00 ± 0,49
Acerola	3,30 ± 0,09	14,27 ± 0,41
Carambola	3,56 ± 0,25	13,16 ± 1,18
Taperebá	<LQ*	<LQ*
Laranja	2,80 ± 0,35	16,48 ± 5,96

Fonte: Dos autores (2021). \*LQ: Limite de quantificação, Cd: 0,01 mg/L e Pb: 0,005 mg/L.

Observando os dados apresentados na Tabela 1 e os comparando com o limite máximo de contaminantes inorgânicos em alimentos estabelecido pelo Ministério da Saúde brasileiro em conjunto com a Agência Nacional de Vigilância Sanitária, pode-se constatar que as amostras analisadas, com exceção do taperebá, possuem concentrações dos metais tóxicos Cd e Pb acima das permitidas pelo regulamento do país. Isto está diretamente relacionado ao fato de que o rio Igarapé do Quarenta possui uma das maiores concentrações



urbanas de Manaus, com grande destruição da mata ciliar e despejo de lixos e esgotos em sua extensão, havendo acúmulo de metais pesados na água e solos próximos. Segundo Khan *et al.* (2018) a concentração de metais pesados em frutas demonstra-se mais elevada quando as frutas são cultivadas próximas a fábricas e estradas movimentadas, bem como em plantações expostas a águas residuais municipais, industriais ou domiciliares, como é o caso da região do Igarapé do Quarenta.

As diferenças encontradas entre as concentrações observadas podem estar relacionadas com a capacidade de absorção de nutrientes de cada planta, características do solo, como o pH e composição granulométrica, influência da umidade, teor de micronutrientes e período de colheita (ZWOLAK *et al.*, 2019). Um dos parâmetros mais utilizados como indicador de uma gama de propriedades químicas é o pH do solo, influenciando de forma direta e indireta no comportamento e biodisponibilidade de elementos químicos e na toxicidade para as plantas. Geralmente, a biodisponibilidade de metais pesados é significativamente reduzida em solos com pH acima de 7. Outro fator de grande influência são os exsudatos radiculares das plantas, que podem induzir a alterações no pH da rizosfera e conseqüentemente, influenciar a disponibilidade de metais tóxicos (BRAVO *et al.*, 2017).

## 2.2 Concentração bioacessível

Os resultados expressos na Tabela 2 demonstram que a concentração bioacessível de Cd e Pb na manga foram abaixo dos limites de quantificação (LQ) do equipamento utilizado. Para a laranja, verificou-se uma pequena quantidade de Cd presente na forma bioacessível, ao passo que para o Pb os resultados foram inferiores ao LQ. Apesar do maior valor de Pb encontrado na laranja, não se refletiu na sua maior concentração bioacessível. Isto demonstra que as concentrações encontradas na digestão total não estão em sua totalidade disponíveis para absorção pelo sistema gastrointestinal humano. Contudo, não é possível estimar os efeitos no organismo pela ingestão diária desses dois frutos, sendo necessária a realização de mais estudos.

Tabela 2 - Concentração de Cd e Pb encontrados na fração bioacessível das frutas testadas

Amostras de Frutas	Concentração de cádmio (mg/Kg)	Concentração de Chumbo (mg/Kg)
Manga	<LQ*	<LQ*
Laranja	0,013	<LQ*

Fonte: Dos autores (2021). \*LQ: Limite de quantificação, Cd: 0,01 mg/L e Pb: 0,005 mg/L.

## 4 CONCLUSÃO

O presente estudo verificou que os frutos de manga, acerola, carambola e laranja, cultivados e coletados em um determinado ponto às margens do rio Igarapé do Quarenta, na região metropolitana de Manaus, apresentaram concentrações totais de Cd e Pb acima do limite imposto pelos regulamentos brasileiros. Com relação ao teor bioacessível dos metais, somente analisados em laranja e manga, verificou-se que a laranja possuiu teor de Cd quantificável, e o teor de Pb ficou abaixo do LQ. Mas todos ficaram abaixo do limite permitido pela legislação. No entanto, não é possível definir quais as consequências para o organismo humano causadas pela ingestão diária das concentrações de Cd e Pb aferidas pelo estudo devido a capacidade de bioacumulação e a elevada meia vida dos metais avaliados. Assim, seria necessário realizar mais estudos para esclarecer a bioacessibilidade desses dois metais tóxicos presentes nos frutos nativos e cultivados na região amazônica.

## 5 AGRADECIMENTOS

Este estudo tem financiamento parcial pela Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Finance Code 001, Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), Financiadora de Estudos e Projetos (FINEP), convênio 01.14.0104.00, Programa de Pós-graduação em Biotecnologia da Universidade do Vale do Taquari -Univates.

## 6 CONFLITO DE INTERESSES

Os autores declaram que não há conflito de interesses.

## REFERÊNCIAS

ALTUNDAG, H.; TUZEN, M. Comparison of dry, wet and microwave digestion methods for the multi element determination in some dried fruit samples by ICP-OES. **Food and Chemical Toxicology**, v. 49, p. 2800-2807, 2011.

AMER, M. M.; SABRY, B. A.; MARREZ, D. A.; HATHOUT, A. S.; FOUZY, A. S. M. Exposure assessment of heavy metal residues in some Egyptian fruits. **Toxicology Reports**, v. 6, p. 538-543, 2019.

ASAD, S. A.; FAROOQ, M.; AFZAL, A.; WEST, H. Integrated phytobial heavy metal remediation strategies for a sustainable clean environment - A review. **Chemosphere**, p. 925-941, 2019.

BACHETTI, T.; TURCO, I.; URBANO, A.; MORRESI, C.; FERRETI, G. Relationship of fruit and vegetable intake to dietary antioxidant capacity and markers of oxidative stress: A sex-related study. **Nutrition**, v. 61, p. 164-172, 2019.

BALASOORIYA, H.; DASANAYAKE, K.; AJLOUNI, S. Bioaccessibility of micronutrients in fresh and frozen strawberry fruits grown under elevated carbon dioxide and temperature. **Food Chem.**, v. 309, n. 125662, 2019.

BARRAZA, F.; SCHRECK, E.; LÉVÊQUE, T.; UZU, G.; LÓPEZ, F.; RUALES, J.; PRUNIER, J.; MARQUET, A.; MAURICE, L. Cadmium bioaccumulation and gastric bioaccessibility in cacao: A field study in areas impacted by oil activities in Ecuador. **Environmental Pollution**, v. 229, p. 950-963, 2017.

BRASIL. Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA). **Resolução RDC nº 42, de 29 de agosto de 2013**. Dispõe sobre o Regulamento Técnico MERCOSUL sobre Limites Máximos de Contaminantes Inorgânicos em Alimentos. Diário Oficial da República Federativa do Brasil, p. 33-35, 2013.

BRAVO, S.; AMORÓS, J. A.; PÉREZ-DE-LOS-REYES, C.; GARCÍA, F. J.; MORENO, M. M.; SÁNCHEZ-ORMEÑO, M.; HIGUERAS, P. Influence of the soil pH in the uptake and bioaccumulation of heavy metals (Fe, Zn, Cu, Pb and Mn) and other elements (Ca, K, Al, Sr and Ba) in vine leaves, Castilla-La Mancha (Spain). **Journal of Geochemical Exploration**, v. 174, p. 79-83, 2017.

CHAVES, E. V. **Absorção de metais pesados de solos contaminados do aterro sanitário e polo industrial de Manaus pelas espécies de plantas *Senna multijuga*, *Schizolobium amazonicum* e *Caesalpinia echinata***. Tese de Doutorado, Universidade Federal do Amazonas, Manaus, 2008.

FEIST, B.; MIKULA B. Preconcentration of heavy metals on activated carbon and their determination in fruits by inductively coupled plasma optical emission spectrometry. **Food Chemistry**, v. 147, p. 302-306, 2014.

GENG, H. X.; WANG, L. Cadmium: Toxic effects on placental and embryonic development. **Environmental Toxicology and Pharmacology**, v. 67, p. 102-107, 2019.

GOLDHABER, S. B. Trace element risk assessment: essentiality vs. toxicity. **Regul. Toxicol. Pharmacol.**, v. 38, n. 2, p. 232-242, 2003.

KHAN, Z. I.; UGULU, I.; SAHIRA, S.; AHMAD, K.; ASHFAQ, A.; MEHMOOD, N.; DOGAN, Y. Determination of toxic metals in fruits of *Abelmoschus esculentus* grown in contaminated soils with different irrigation sources by Spectroscopic Method. **International Journal of Environmental Research**, v. 12, p. 503-511, 2018

KLAIC, P. M. A. **Parâmetros reológicos e resistência térmica de xantana de *Xanthomonas arboricola* pv *pruni*: potencialização por desacetilação, reticulação e troca iônica**. Tese de Doutorado, Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, 2016.

LEE, J. W.; CHOI, H.; HWANG, U. K.; KANG, J. C.; KANG, Y. J.; KIM, K. I.; KIM, J. H. Toxic effects of lead exposure on bioaccumulation, oxidative stress, neurotoxicity, and immune responses in fish: A review. **Environmental Toxicology and Pharmacology**, v. 68, p. 101-108. 2019.

MINEKUS, M.; ALMINGER, M.; ALVITO, P.; BALANCE, S.; BOHN, T.; BOURLIEU, C.; CARRIÈRE, F.; BOUTROU, R.; CORREDIG, M.; DUPONT, D.; DUFOUR, C.; EGGER, L.; GOLDING, M.; KARAKAYA, S.; KIRKHUS, B.; LE FEUNTEUN, S.; LESMES, U.; MACIERZANKA, A.; MACKIE, A.; MARZE, S.; MCCLEMENTS, D. J.; MÉNARD, O.; RECIO, I.; SANTOS, C. N.; SINGH, R. P.; VEGARUD, G. E.; WICKHAM, M. S. J.; WEITSCHIES, W.; BRODKORB, A. A standardised static in-vitro digestion method suitable for food – an international consensus. **Food Funct.**, v. 6, n. 6, p. 1113-1124, 2014.

MUHAMMAD, S.; ULLAH, R.; JADOON, I. A. K. Heavy metals contamination in soil and food and their evaluation for risk assessment in the Zhob and Loralai valleys, Baluchistan province, Pakistan. **Microchemical Journal**, v. 149, n. 103971, 2019.

NIE, J.; KUANG, L.; LI, Z.; XU, W.; WANG, C.; CHEN, Q.; LI, A.; ZHAO, X.; XIE, H.; ZHAO, D.; WU, Y.; CHENG, Y. Assessing the concentration and potential health risk of heavy metals in China's main deciduous fruits. **Journal of Integrative Agriculture**, v. 15, p. 1645-1655, 2016.

REBELO, F. M.; CALDAS, E. D. Arsenic, lead, mercury and cadmium: Toxicity, levels in breast milk and the risks for breastfed infants. **Environmental Research**, v. 151, p. 671-688, 2016.

REYES-HINOJOSA, D.; LOZADA-PÉREZ, C. A.; CUEVAS, Y. Z.; LÓPEZ-REYES, A.; MARTÍNEZ-NAVA, G.; FERNÁNDEZ-TORRES, J.; OLIVOS-MEZA, A.; LANDA-SOLIS, C.; GUTIÉRREZ-RUIZ, M. C.; DEL CASTILLO, E. R.; MARTÍNEZ-FLORES, K. Toxicity of cadmium in musculoskeletal diseases. **Environmental Toxicology and Pharmacology**, v. 72, n. 103219, 2019.

ROMÁN, G. C.; JACKSON, R. E.; GADHIA, R.; RÓMAN, A. N.; REIS, J. Mediterranean diet: The role of long-chain  $\omega$ -3 fatty acids in fish; polyphenols in fruits, vegetables, cereals, coffee, tea, cacao and wine; probiotics and vitamins in prevention of stroke, age-related cognitive decline, and Alzheimer disease. **Rev. Neurol.**, v. 175, n. 10, p. 724-741, 2019.

SCHULZ, M.; BILUCA, F. C.; GONZAGA, L. V.; BORGES, G. S. C.; VITALI, L.; MICKE, G. A.; GOIS, J. S.; ALMEIDA, T. S.; BORGES, D. L. G.; MILLER, P. R. M.; COSTA, A. C. O.; FETT, R. Bioaccessibility of bioactive compounds and antioxidant potential of juçara fruits (*Euterpe edulis* Martius) subjected to *in vitro* gastrointestinal digestion. **Food Chem.**, v. 228, p. 447-454, 2017.

SHAHEEN, N.; IRFAN, N. M.; KHAN, I. N.; ISLAM, S.; ISLAM, M. S.; AHMED, M. K. Presence of heavy metals in fruits and vegetables: Health risk implications in Bangladesh. **Chemosphere**, v. 152, p. 431-438, 2016.

WEI, J.; GAO, J.; CEN, K. Levels of eight heavy metals and health risk assessment considering food consumption by China's residents based on the 5th China total diet study. **Science of the Total Environment**, v. 689, p. 1141-1148, 2019.

YAHIA, E. M.; GARCÍA-SOLÍS, P.; CELIS, M. E. M. Contribution of Fruits and Vegetables to Human Nutrition and Health. **Postharvest Physiology and Biochemistry of Fruits and Vegetables**, p. 19-45, 2019.

ZULFIQAR, U.; FAROOQ, M.; HUSSAIN, S.; MAQSOOD, M.; HUSSAIN, M.; ISHFAQ, M.; AHMAD, M.; ANJUM, M. A. Lead toxicity in plants: Impacts and remediation. **Journal of Environmental Management**, v. 205, n. 109557, 2019.

ZWOLAK, A.; SARZYNSKA, M.; SZPYRKA, E.; STAWARCZYK, K. Sources of soil pollution by heavy metals and their accumulation in vegetables: a review. **Water, Air and Soil Pollution**, v. 230, p. 1-9, 2019.