



Tópicos em ciência dos alimentos

Volume IV



Wesclen Vilar Nogueira
Organizador



Pantanal Editora

2022

Wesclen Vilar Nogueira
Organizador

Tópicos em ciência dos alimentos
Volume IV



Pantanal Editora

2022

Copyright© Pantanal Editora

Editor Chefe: Prof. Dr. Alan Mario Zuffo

Editores Executivos: Prof. Dr. Jorge González Aguilera e Prof. Dr. Bruno Rodrigues de Oliveira

Diagramação: A editora. **Diagramação e Arte:** A editora. **Imagens de capa e contracapa:** Canva.com. **Revisão:** O(s) autor(es), organizador(es) e a editora.

Conselho Editorial

Grau acadêmico e Nome

Prof. Dr. Adaylson Wagner Sousa de Vasconcelos
Profa. MSc. Adriana Flávia Neu
Profa. Dra. Allys Ferrer Dubois
Prof. Dr. Antonio Gasparetto Júnior
Profa. MSc. Aris Verdecia Peña
Profa. Arisleidis Chapman Verdecia
Prof. Dr. Arinaldo Pereira da Silva
Prof. Dr. Bruno Gomes de Araújo
Prof. Dr. Caio Cesar Enside de Abreu
Prof. Dr. Carlos Nick
Prof. Dr. Claudio Silveira Maia
Prof. Dr. Cleberton Correia Santos
Prof. Dr. Cristiano Pereira da Silva
Profa. Ma. Dayse Rodrigues dos Santos
Prof. MSc. David Chacon Alvarez
Prof. Dr. Denis Silva Nogueira
Profa. Dra. Denise Silva Nogueira
Profa. Dra. Dennyura Oliveira Galvão
Prof. Dr. Elias Rocha Gonçalves
Prof. Me. Ernane Rosa Martins
Prof. Dr. Fábio Steiner
Prof. Dr. Fabiano dos Santos Souza
Prof. Dr. Gabriel Andres Tafur Gomez
Prof. Dr. Hebert Hernán Soto Gonzáles
Prof. Dr. Hudson do Vale de Oliveira
Prof. MSc. Javier Revilla Armesto
Prof. MSc. João Camilo Sevilla
Prof. Dr. José Luis Soto Gonzales
Prof. Dr. Julio Cezar Uzinski
Prof. MSc. Lucas R. Oliveira
Profa. Dra. Keyla Christina Almeida Portela
Prof. Dr. Leandro Argentel-Martínez
Profa. MSc. Lidiene Jaqueline de Souza Costa Marchesan
Prof. Dr. Marco Aurélio Kistemann
Prof. MSc. Marcos Pisarski Júnior
Prof. Dr. Marcos Pereira dos Santos
Prof. Dr. Mario Rodrigo Esparza Mantilla
Profa. MSc. Mary Jose Almeida Pereira
Profa. MSc. Núbia Flávia Oliveira Mendes
Profa. MSc. Nila Luciana Vilhena Madureira
Profa. Dra. Patrícia Maurer
Profa. Dra. Queila Pahim da Silva
Prof. Dr. Rafael Chapman Auty
Prof. Dr. Rafael Felipe Ratke
Prof. Dr. Raphael Reis da Silva
Prof. Dr. Renato Jaqueto Goes
Prof. Dr. Ricardo Alves de Araújo (*In Memoriam*)
Profa. Dra. Sylvana Karla da Silva de Lemos Santos
MSc. Tayronne de Almeida Rodrigues
Prof. Dr. Wéverson Lima Fonseca
Prof. MSc. Wesclen Vilar Nogueira
Profa. Dra. Yilan Fung Boix
Prof. Dr. Willian Douglas Guilherme

Instituição

OAB/PB
Mun. Faxinal Soturno e Tupanciretã
UO (Cuba)
IF SUDESTE MG
Facultad de Medicina (Cuba)
ISCM (Cuba)
UFESSPA
UEA
UNEMAT
UFV
AJES
UFGD
UEMS
IFPA
UNICENTRO
IFMT
UFMG
URCA
ISEPAM-FAETEC
IFG
UEMS
UFF
(Colômbia)
UNAM (Peru)
IFRR
UCG (México)
Mun. Rio de Janeiro
UNMSM (Peru)
UFMT
Mun. de Chap. do Sul
IFPR
Tec-NM (México)
Consultório em Santa Maria
UFJF
UEG
FAQ
UNAM (Peru)
SEDUC/PA
IFB
IFPA
UNIPAMPA
IFB
UO (Cuba)
UFMS
UFPI
UFG
UEMA
IFB
UFPI
FURG
UO (Cuba)
UFT

Conselho Técnico Científico
- Esp. Joacir Mário Zuffo Júnior
- Esp. Maurício Amormino Júnior
- Lda. Rosalina Eufrausino Lustosa Zuffo

Ficha Catalográfica

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP) (eDOC BRASIL, Belo Horizonte/MG)	
T673	Tópicos em ciência dos alimentos [livro eletrônico]: volume IV / Organizador Wesclen Vilar Nogueira. – Nova Xavantina, MT: Pantanal Editora, 2022. 75p. : il. Formato: PDF Requisitos de sistema: Adobe Acrobat Reader Modo de acesso: World Wide Web ISBN 978-65-81460-46-4 DOI https://doi.org/10.46420/9786581460464 1. Alimentos – Análise. 2. Tecnologia de alimentos. I. Nogueira, Wesclen Vilar. CDD 664.07
Elaborado por Maurício Amormino Júnior – CRB6/2422	



Nossos e-books são de acesso público e gratuito e seu download e compartilhamento são permitidos, mas solicitamos que sejam dados os devidos créditos à Pantanal Editora e também aos organizadores e autores. Entretanto, não é permitida a utilização dos e-books para fins comerciais, exceto com autorização expressa dos autores com a concordância da Pantanal Editora.

Pantanal Editora

Rua Abaete, 83, Sala B, Centro. CEP: 78690-000.
Nova Xavantina – Mato Grosso – Brasil.
Telefone (66) 99682-4165 (Whatsapp).
<https://www.editorapantanal.com.br>
contato@editorapantanal.com.br

Apresentação

A coleção de e-books “Tópicos em Ciência dos Alimentos” aborda e demonstra diferentes aspectos relacionados à cadeia produtiva de alimentos. O Volume IV da coleção aborda em seus capítulos o desenvolvimento de novos produtos, aspectos nutricionais, físico-químicos e microbiológicos de alimentos, bem como o controle de contaminantes (e.g., metais e micotoxinas).

O e-book não tem a pretensão de ser completo, mas fornecer informações importantes e supri a escassez de material na literatura para assuntos muitas vezes desconhecidos. Para isso, utilizou-se linguagem contextualizada e de fácil compreensão aos leitores. Assim, espero que os pontos abordados possam ser utilizados por profissionais da área de Ciência dos Alimentos e áreas afins nos diferentes níveis de formação, garantindo a difusão de conhecimento para a sociedade.

Desejo a todos uma excelente leitura!

Wesclen Vilar Nogueira


Sumário


Apresentação	4
Capítulo 1	6
Potencialidades na elaboração de bala de goma com ora-pro-nobis e estévia	6
Capítulo 2	26
Peixe fresco: aspectos nutricionais, físico-químicos e microbiológicos	26
Capítulo 3	45
Controle de mercúrio em alimentos	45
Capítulo 4	60
Processos biotecnológicos relacionados à mitigação de micotoxinas em alimentos	60
Índice Remissivo	74
Sobre o organizador	75

Controle de mercúrio em alimentos


Recebido em: 28/06/2022

Aceito em: 01/07/2022

 10.46420/9786581460464cap3

Eliézer Quadro Oreste¹ 

Rosane Lopes Crizel¹ 

Anelise Christ-Ribeiro¹ 

INTRODUÇÃO

De acordo com a Organização Mundial da Saúde (OMS), o mercúrio está entre os dez produtos químicos mais perigosos para a saúde pública (OMS, 2017). Estima-se que 19 milhões de pessoas em todo o mundo podem estar expostos ao mercúrio (Crespo-Lopez et al., 2021). Com isso, o tratado internacional, Convenção de Minamata sobre Mercúrio, que agrega esforços para reduzir a contaminação ambiental com mercúrio e prevenir e tratar casos de intoxicação humana foi assinado por 92 países, em outubro de 2013. A OMS (OMS, 2014), por sua vez, recomenda a promoção de cuidados relativos à saúde, incluindo estratégias para comunicação eficaz de riscos e facilitação do intercâmbio de informações epidemiológicas sobre os impactos na saúde associados à exposição ao mercúrio.

As principais estratégias estão relacionadas as formas (orgânicas e inorgânicas) mercúrio que apresentam toxicidade ao sistema nervoso central e periférico. As formas orgânicas se destacam, sendo os compostos mais tóxicos. O biomonitoramento da exposição ao mercúrio depende da forma química sendo analisado em amostras sanguíneas, urinárias e capilares. As emissões de mercúrio no meio ambiente são originadas de fontes naturais como processos geoquímicos e/ou fontes antropogênicas como produção de metais não ferrosos (minerações e fundições), cimento, soda cáustica e descarte de resíduos (Ferreira et al., 2015).

Para humanos, a contaminação por mercúrio ocorre via alimentos utilizados na dieta, principalmente peixes e frutos do mar, seguido de vegetais. Neste último caso, a ocorrência de mercúrio está associada ao uso de fertilizantes fosfatados no processamento agrícola que contém além do mercúrio, cádmio, chumbo e outros. Vale ressaltar que a ingestão máxima de metilmercúrio, uma das formas mais tóxicas do mercúrio, é de $1,6 \mu\text{g kg}^{-1}$ por semana (OMS, 2014).

Portanto, determinar a contaminação de metais potencialmente tóxicos em alimentos é de extrema importância para mitigar os níveis dos efeitos tóxicos causados em humanos causados e criar soluções para diminuir a exposição da população. Assim, o objetivo deste capítulo é compilar dados relativos aos aspectos gerais, toxicidade, ocorrência em alimentos e formas de determinação do mercúrio.

ASPECTOS GERAIS SOBRE MERCÚRIO

O mercúrio (Hg), na sua forma elementar, é líquido nas condições normais de pressão e temperatura. Além dessa propriedade, o Hg possui outras como a alta densidade ($13,55 \text{ g cm}^{-3}$ a $20 \text{ }^\circ\text{C}$), condutividade elétrica e facilidade de resfriamento, o que levou a várias aplicações desse metal em diversos campos da indústria (Ebadian et al., 2001; Wang et al., 2012). Além disso, possui temperatura de ebulição de $357,73 \text{ }^\circ\text{C}$, pressão de vapor de $1,6 \text{ bar}$ a $20 \text{ }^\circ\text{C}$, resistividade de $95,75 \text{ }\mu\Omega \text{ cm}$ a $20 \text{ }^\circ\text{C}$, tensão superficial de $436 \text{ dines cm}^{-1}$ a $25 \text{ }^\circ\text{C}$ e viscosidade de $1,55 \text{ Pa s}$ a $20 \text{ }^\circ\text{C}$ (Ebadian et al., 2001; Wang et al., 2012).

Com relação aos compostos formados a partir desse metal, são mais abundantes aqueles ligados ao Hg(II) do que quando comparado com os compostos formados com Hg(I). Dentre os mais encontrados, destaca-se o cloreto de mercúrio (HgCl_2), cloreto mercurioso (Hg_2Cl_2), fulminato de mercúrio ($\text{Hg}(\text{CNO})_2$) e sulfeto de mercúrio (HgS). Além desses compostos, também é destacável a formação de organomercuriais, nos quais o Hg é ligado a pelo menos um átomo de carbono, formando assim compostos com a ligação Hg-C quimicamente estável, que não se rompe em meio aquoso de ácidos e bases fracas (Nascimento; Chasin, 2001; Ebadian et al., 2001).

O mercúrio é considerado um poluente atmosférico perigoso e merece extrema atenção devido a sua toxicidade. Contudo, várias fontes de emissões de Hg contribuem para a poluição ambiental, as quais podem ser classificadas em emissões naturais ou antropogênicas. Como fonte natural, pode-se destacar a emissão desse elemento através da desgaseificação da crosta terrestre, de vulcões ou por meio de evaporação dos oceanos. Já como fonte antropogênica, as principais formas são a partir do processo de mineração de ouro ou pela queima de combustíveis fósseis para geração de energia (Azevedo; Chasin, 2003; Pacyna et al., 2010). Uma vez lançado para a atmosfera, o Hg pode se dispersar por quilômetros e resistir por um grande tempo, o que está ligado diretamente à forma físico-química em que este elemento se encontra (EPA, 1997).

Quando depositado no ambiente aquático, o Hg tem a capacidade de ser convertido a sua forma orgânica, geralmente o metilmercúrio. A reação de conversão pode ocorrer sob condições aeróbias e anaeróbias, através de um mecanismo biológico ou químico. Um exemplo de mecanismo biológico é a metilação do Hg através de uma reação que ocorre principalmente com metilcobalamina (coenzima da vitamina B12), coenzima produzida por bactérias e encontrada em quantidades significativas no meio aquático (Bisinoti; Jardim, 2004; Craig; Morton, 1978).

Uma vez no ambiente, o Hg pode chegar facilmente aos seres humanos, seja pelo consumo de alimentos contaminados, principalmente de origem marinha, ou através da exposição dérmica ao ar, água ou solos. Com relação a exposição a forma orgânica de Hg, a situação pode tornar-se crítica, visto que nessa forma o metal apresenta propriedade bioacumulativa, sendo eliminado de forma lenta quando comparado com sua forma inorgânica (Bisinoti; Jardim, 2004).

TOXICIDADE DO MERCÚRIO

As sucessivas aplicações do Hg em diversos setores e as conseqüentes emissões para o meio ambiente elevam cada vez mais o nível de exposição humana a esse elemento tóxico. Além disso, o Hg possui propriedade de biomagnificação, ou seja, as suas concentrações vão aumentando progressivamente ao longo da cadeia alimentar, podendo assim refletir no consumo de alimentos contaminados, o qual se credencia como uma das principais fontes de intoxicação humana (Crespo-Lopez et al., 2009).

O mercúrio pode causar diversos danos à saúde humana, uma vez que este metal possui alta afinidade por grupos tiol (-SH) presente em enzimas, o que se caracteriza como uma reação muito rápida. Isso pode levar a afetar diferentes sistemas, tais como o reprodutivo, imunológico, cardiovascular, renal, respiratório, entre outros (Nascimento & Chasin, 2001; Zahir et al., 2005; Clarkson; Magos, 2006). Contudo, o sistema mais afetado por esse metal é o sistema nervoso central (SNC), pois uma vez intoxicado, a vítima pode apresentar sintomas como irritabilidade, fadiga, insônia, mudanças comportamentais, perda auditiva, letargia, tremores, convulsões, coordenação motora, depressão e coma, inclusive à morte. Esses sintomas estão devidamente associados ao tempo e a dose de exposição da vítima ao metal (Oliveira et al., 1998; Nascimento; Chasin, 2001; Nevado et al., 2009). A dose letal para o Hg, na sua forma inorgânica para uma pessoa adulta de aproximadamente 70 kg é de 14 a 57 mg kg⁻¹. Já para sua forma orgânica, o valor pode variar de 20 a 60 mg kg⁻¹ para um adulto com o mesmo peso do caso anterior (EPA, 1997).

Para um possível tratamento a intoxicação por Hg, uma alternativa é o uso de medicamento que contenha grupos -SH adjacentes, uma vez que haverá uma competição entre os grupos pela ligação com o íon metálico. Alguns exemplos de agentes quelantes, que podem ser empregados para tal finalidade é o ácido 2,3-dimercaptopropano-1-sulfônico (DMPS), ácido meso-2,3-dimercaptosuccínico (DMSA), D-penicilamina e 2,3-dimercaptopropanol (BAL) (Berg et al., 2008; Guzzi; La Porta, 2008).

MERCÚRIO EM ALIMENTOS

O processo de controle de qualidade de alimentos é uma garantia deque o consumidor está ingerindo um produto adequado, ou seja, livre de um estado impróprio à saúde humana. Tal controle deve ser realizado de forma efetiva, envolvendo os processos de produção, armazenamento, distribuição e consumo de um determinado alimento. Com isso, é possível alcançar um estado de segurança alimentar, uma vez que os alimentos serão fiscalizados a fim de garantir que esteja livre de qualquer tipo de contaminante que possam colocar em risco a saúde coletiva (Cavalli, 2001).

O consumo de produtos alimentícios contaminados por Hg torna-se uma das principais formas de intoxicação humana (Nascimento; Chasin, 2001). Sendo assim, fica evidente a necessidade do controle de qualidade, a fim de evitar que alimentos contendo mercúrio chegue à mesa do consumidor. Os alimentos mais preocupantes são de origem marinha, pois apesar dos peixes apresentarem alto valor

nutricional, possui a capacidade de absorver e acumular metais tóxicos presentes no meio (Moreda-Piñeiro et al., 2012).

Os níveis máximos para Hg presente em produtos de origem marinha foram publicados pela comissão de regulação da União Europeia (UE), os quais foram divididos em dois grupos. No primeiro grupo o limite máximo permitido é de $0,5 \text{ mg kg}^{-1}$ em massa úmida, o que abrange os produtos de pesca com exceção de peixes predadores. Já no segundo grupo, o limite é o dobro do valor estabelecido para o grupo anterior, ou seja, o valor estabelecido é de $1,0 \text{ mg kg}^{-1}$ e inclui produtos de carnes de peixes predadores (Commission regulation, 2006, EPA 2022).

Mercúrio também pode causar danos à saúde humana por meio de ingestão de alimentos de origem vegetal, pois o descaso com o meio ambiente pode levar a deposição desse elemento em solos e águas de irrigação e, conseqüentemente, levar a contaminação desses alimentos. Além disso, produtos cárneos provenientes de animais terrestres também contém níveis de mercúrio, uma vez que a vegetação também está diretamente relacionada com o meio de alimentação de animais (e.g., bovinos e suínos) (Nascimento; Chasin, 2001). Com isso, diante dos vários danos que esse elemento pode trazer a sociedade, há uma necessidade do controle de Hg em alimentos, a fim de garantir maior segurança ao consumidor.

DETERMINAÇÃO DE MERCÚRIO

Para a determinação de Hg, é necessária extrema atenção, principalmente na etapa de amostragem e preparo das amostras. Caso essa etapa seja realizada de forma inapropriada, pode haver probabilidade de erro nas análises por perdas do analito por volatilização e/ou adsorção. Além disso, quando se realiza análise de qualquer natureza, é indispensável à prevenção de qualquer tipo de contaminação, seja na amostra ou no material a ser utilizado (Suzuki et al., 2004; López-Antón et al., 2012).

Para as análises de forma geral, o nível de contaminação alcançado pode ser acompanhado a partir do branco analítico, o qual trata-se de uma solução que passa por todas as etapas do procedimento analítico, mas sem conter a amostra e/ou elemento a ser estudado. Contudo, quando realizada a sequência analítica com cautela, é possível obter resultados confiáveis para o teor de Hg presente nas amostras estudadas (Suzuki et al., 2004; Krug, 2010).

Análises para a determinação de Hg é extremamente importante, pois assim é possível obter informação do nível total do elemento presente na amostra em estudo. Contudo, determinações quantitativas distintas de cada espécie de Hg são atrativas, devido aos diferentes efeitos que essas espécies podem apresentar tanto a saúde humana como para o meio ambiente. Esse processo de determinação de diferentes espécies é chamado de análise de especiação e se dá principalmente para a distinção de Hg^{2+} e espécies orgânicas de mercúrio (e.g., CH_3Hg^+ e $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{Hg}^+$) (Kot; Namiesnik, 2000; Suzuki et al., 2004).

Outra etapa fundamental é a escolha da técnica para a determinação de Hg, pois dependendo da concentração do elemento presente na amostra, essa técnica deve apresentar alta sensibilidade,

possibilitando a determinação do elemento a nível traço ou ultra traço. Além disso, é importante também levar em consideração a natureza e a quantidade de amostra para proceder as análises (Morita et al., 1998; Micaroni et al., 2000).

Dentre as técnicas instrumentais utilizadas para a determinação de Hg, destaca-se a espectrometria de absorção atômica com geração química de vapor (CVG AAS, do inglês *chemical vapor generation atomic absorption spectrometry*) ou com forno de grafite (GF AAS, do inglês *graphite furnace atomic absorption spectrometry*), a espectrometria de fluorescência atômica com geração de vapor frio (CV AFS, do inglês *cold vapor atomic fluorescence spectrometry*), a espectrometria de emissão óptica com plasma indutivamente acoplado (ICP OES, do inglês *inductively coupled plasma optical emission spectrometry*) e a espectrometria de massas com plasma indutivamente acoplado (ICP-MS, do inglês *inductively coupled plasma mass spectrometry*) (Micaroni et al., 2000; Leermakers et al., 2005).

De forma geral, as técnicas citadas são as mais utilizadas para tal finalidade, podendo ainda ser acopladas a outras técnicas com o objetivo de alcançar maior sensibilidade e menores limites de detecção (LD), das quais é possível citar o uso da cromatografia gasosa ou líquida e a eletroforese capilar (Serafimovski et al., 2008). Além disso, na literatura é possível encontrar estudos utilizando o acoplamento de lâmpada UV as técnicas de análise, ou seja, fazendo o uso da *photo-CVG* (do inglês *photochemical vapor generation*). A radiação proveniente da lâmpada é capaz de reduzir o vapor de Hg por meio de um mecanismo que envolve a formação de radicais orgânicos provenientes do meio em que se encontra o analito (Guo et al., 2003). Tal técnica vem sendo explorada com sucesso para a determinação desse elemento em diversos tipos de matrizes, pois além de ser simples não utiliza reagentes para o processo de redução química, que são caros e instáveis (Vieira et al., 2007; Bendicho et al., 2010; Silva et al., 2012).

Considerando a técnica de CVG AAS, é bastante difundida para a determinação de diversos analitos metálicos, pois trata-se de um processo em que espécies químicas são convertidas a compostos voláteis, resultando então na transferência dos analitos da fase condensada para a fase gasosa (Sturgeon; Mester, 2002). O Hg é o único elemento químico que possui uma elevada pressão de vapor (0,0016 mbar em 20 °C), o que atribui a esse elemento a vantagem de ser determinável a temperatura ambiente, ou seja, não a necessidade de uma atomização térmica para a redução deste elemento para o estado fundamental. Essa técnica é então conhecida como CV AAS (do inglês, *cold vapor atomic absorption spectrometry*) (Welz; Sperling, 1999).

A técnica de CV AAS começou a ser estudada na década de sessenta para a determinação de Hg. Hath e Ott (1968) fizeram uma das primeiras publicações sobre esse assunto, na qual esses autores usaram sulfato de estanho (SnSO_4) como meio redutor e o vapor de Hg gerado podia então ser carregado, com o auxílio de um gás (ar, N_2 ou Ar), até uma cela, sendo posteriormente determinado. Contudo, os créditos à CV AAS para a determinação de Hg devem ser atribuídos a Poluektov e Vitkun, pioneiros na utilização de sais de Sn para a redução do Hg^{2+} a Hg^0 e combinar essa reação com a AAS (Welz; Sperling, 1999).

O uso de CVG AAS envolve basicamente três etapas, tais como a geração da espécie volátil por meio de reação química, o transporte desse vapor até uma unidade de detecção e a atomização ou ionização do elemento de interesse. Contudo, quando se refere a formação de espécies voláteis, é necessário o uso de reagentes redutores, como SnCl_2 (frequentemente utilizado em CV AAS) ou NaBH_4 (frequentemente utilizado em espectrometria de absorção atômica com geração de hidretos, HG AAS, do inglês *hydride generation atomic absorption spectrometry*) (Takase et al., 2002; Pohl, 2004).

Dentre as principais vantagens da técnica de CVG AAS, pode-se citar a prévia separação do analito da matriz, ou seja, a geração da espécie volátil contendo o analito é o único componente da amostra que é encaminhada até a cela de atomização, evitando assim possíveis interferências advindas da matriz da amostra no momento da leitura instrumental. Essa eficiência na introdução da amostra e, conseqüentemente, o transporte do vapor atômico gerado, proporciona a essa técnica uma maior sensibilidade e um menor LD. Outro ponto positivo que também merece destaque é a possibilidade de acoplamento a diferentes sistemas de detecção, podendo assim explorar estudos de especiação e pré-concentração de analitos (Sturgeon; Mester, 2002; Takase et al., 2002).

Por outro lado, essa técnica também pode apresentar algumas desvantagens, como por exemplo, a existência de concomitantes na solução de leitura, o que poderá interferir na reação de geração do vapor atômico. Outro fator que também pode vir a prejudicar a reação é o estado físico da solução (como a densidade, viscosidade, entre outros), o que está diretamente ligado a cinética de geração de vapor. Além desses, outros pontos que podem tornar-se críticos e afetar significativamente a geração de vapor é a concentração dos reagentes e o estado de oxidação do analito (Takase et al., 2002)

A determinação de metais pela técnica de VG se dá geralmente por meio de sistemas de fluxo contínuo (CF, do inglês *continuous flow*) ou por injeção em fluxo (FI, inglês *flow injection*). Como característica comum, destaca-se que para ambos os sistemas, o reagente redutor e a amostra encontram-se em um ponto de confluência e passam por uma bobina de reação. Posteriormente, a fase gasosa formada, que contém o analito de interesse, é então separada da fase líquida através de um componente denominado separador gás/líquido (GLS). Outra característica interessante é que ambos os sistemas podem ser facilmente automatizados (Welz; Sperling, 1999). A diferença entre os sistemas é basicamente a quantidade de amostra que participa da reação de geração de vapor, pois no CF a amostra é aspirada continuamente juntamente com os demais reagentes, obtendo um sinal analítico também de forma contínua. Já no FI, um pequeno volume de amostra é injetado em um canal onde uma solução carreadora é aspirada, gerando assim um sinal analítico de forma transiente, podendo ser avaliado por integração em área ou altura. Além disso, o sistema FI apresenta algumas vantagens em relação ao CF como maior frequência analítica, reprodutibilidade e simplicidade de operação (Růžicka ; Hansen, 1975; Åström, 1982; Welz; Sperling, 1999).

Outro tipo de sistema que também pode ser utilizado para o processo de geração de vapor é em batelada, no qual é operado pelo princípio de que os vapores contendo o analito são gerados em um

frasco de reação, sendo diretamente conduzido à cela de quartzo. Esse frasco de reação tem a função do separador gás/líquido, diferenciando-se assim dos demais sistemas em fluxo citados anteriormente (Welz; Sperling, 1999). O sistema em batelada apresenta algumas desvantagens frente aos demais sistemas em fluxo. Entre esses, pode-se destacar o grande volume de solução presente no frasco de reação, podendo afetar assim a sensibilidade do procedimento. Além disso, esses sistemas geralmente são manuais, o que reflete em maior tempo para cada análise e, conseqüentemente, uma menor frequência analítica (Welz; Sperling, 1999).

Antes das primeiras evidências do uso de NaBH_4 como reagente redutor para a CVG, a opção mais utilizada era o SnCl_2 , principalmente para a determinação de Hg, pois, apesar de ser um redutor mais fraco, é frequentemente empregado até hoje na técnica de CV AAS (Wu et al., 2010). Como vantagem desse reagente, pode-se citar a susceptibilidade a interferências causadas por metais de transição, a qual é menor do que quando se faz o uso de NaBH_4 . Entretanto, a reação de redução é mais lenta, requerendo assim o auxílio de um gás adicional para purga, a fim de garantir uma eficiente separação gás/líquido (Sturgeon; Mester, 2002; Wu et al., 2010). Essa necessidade de gás adicional não é tão acentuada quando se usa o NaBH_4 pois além da produção de hidretos, tem-se também a geração de gás hidrogênio, o qual ajuda na condução do vapor (Welz; Sperling, 1999). Contudo, concentrações elevadas desse reagente podem levar a produção acentuada de hidrogênio, diminuindo assim a intensidade do sinal analítico, devido à diluição do vapor atômico (Segade; Tyson, 2003).

Com o uso de SnCl_2 , a redução de Hg se dá apenas para a forma inorgânica desse elemento, ou seja, este reagente redutor tem dificuldade de reduzir espécies orgânicas, como CH_3Hg^+ , à forma elementar (Heller; Weber, 1998; Sturgeon; Mester, 2002). Quando se quer gerar vapor de espécies orgânicas, deve-se usar NaBH_4 como reagente redutor, pois assim é possível a formação de um hidreto volátil (Sturgeon; Mester, 2002). Contudo, a determinação de CH_3Hg^+ a partir da formação de seu hidreto não trata-se de CV AAS, pois para a quebra da ligação e liberação do Hg para a sua forma fundamental é necessário o fornecimento de aquecimento a cela, o que é típico de HG AAS (Kaercher et al., 2005; Torres et al., 2005).

Para a determinação de Hg total, considerando a técnica de CV AAS, é necessária a conversão das formas orgânicas a inorgânica antes de serem encaminhados a reação de redução com SnCl_2 (Ramalhosa et al., 2001; Wu et al., 2010). Esse processo de oxidação da matéria orgânica se dá principalmente quando se trata de determinação de Hg em amostras biológicas, o qual pode se dar pelo uso de soluções oxidantes injetadas em linha, como persulfato de potássio ($\text{K}_2\text{S}_2\text{O}_8$), brometo/bromato de potássio (KBr/KBrO_3), permanganato de potássio (KMnO_4) ou dicromato de potássio ($\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$). Além disso, outra alternativa para eliminação da matéria orgânica presente na amostra é o uso de calcinação ou digestão com ácidos oxidantes fortes (como HNO_3), bem como a exposição à radiação UV ou micro-ondas (Tao et al., 1998; Ramalhosa et al., 2001). Entretanto esse elemento apresenta alta

volatilidade, o que exige uma extrema atenção na etapa de preparo das amostras, devido a probabilidade de erros inerentes a perdas por volatilização, bem como por contaminação ou adsorção (Tao et al., 1998)

A etapa de preparo de amostras é extremamente importante, pois é a partir dela que a amostra é convertida a uma forma adequada para análise, ou seja, garantir que a espécie química de interessa seja determinada (Oliveira, 2003; Krug, 2010). Além disso, essa etapa também é importante para casos em que é preciso concentrar ou diluir as amostras, bem como para separar analitos de um grupo de outros componentes, a fim de evitar interferências no momento da análise instrumental (Mitra, 2003). Quando se fala em preparo de amostras, deve-se também destacar os procedimentos preliminares, os quais são essenciais para garantir uma maior segurança nas análises químicas. Dentre esses procedimentos, encontram-se a lavagem, secagem, moagem e peneiramento, os quais serão necessários dependendo da natureza da amostra em questão (Krug, 2010).

Como objetivos dessa etapa, busca-se obter sempre os melhores resultados, no mais curto espaço de tempo, com a mínima contaminação, baixo consumo de reagente e geração de pouco resíduo (Krug, 2010). Para isso, a literatura reporta diferentes caminhos que podem ser seguidos para o preparo de diferentes tipos de amostras (Oliveira, 2003; Korn et al., 2008). Para sanar a dúvida de qual método de preparo de amostra é o mais indicado, alguns fatores devem ser levados em consideração, tais como conhecer as características do elemento que se quer determinar, as faixas de concentração desse elemento, a quantidade de amostra disponível, a qualidade do local em que será feito as análises, o custo relacionado, o tempo gasto e a qualificação e/ou experiência do analista que irá manusear as amostras (Krug, 2010).

Com exceção da técnica que utiliza análise direta de sólidos, a maioria dos procedimentos analíticos necessita que a amostra esteja em estado líquido para a introdução em um instrumento de análise. Para isso, um dos métodos mais empregados para esse tratamento é a decomposição ácida, onde os analitos de interesse permanecem solúveis, porém separados da fração orgânica da amostra (Krug, 2010).

Considerando o processo de decomposição, diferentes métodos podem ser adotados, dependendo do tipo de amostra e a finalidade da análise. Geralmente esses processos envolvem a adição de reagentes e energia, que seja suficiente para romper algumas ligações químicas (Oliveira, 2003; Krug, 2010). Dentre esses procedimentos, a decomposição por via úmida é muito empregada para amostras de alimentos, a qual pode se dar tanto em sistema aberto como em sistema fechado (Oliveira, 2003). Para ambos os casos, o reagente adicionado às amostras trata-se de um ácido mineral oxidante, uma mistura entre diferentes ácidos ou uma mistura entre ácido e outro reagente (e.g., peróxido de hidrogênio). Com isso a matéria orgânica presente é então oxidada a CO_2 e H_2O , permanecendo os analitos de interesse em solução ácida na forma de cátions inorgânicos simples (Krug, 2010).

Na decomposição por via úmida em sistema aberto, o aquecimento pode ser realizado por meio de um bloco digestor, chapa de aquecimento, bico de Bunsen ou em forno mufla. Contudo, o grande inconveniente de se utilizar sistemas abertos, principalmente quando se quer determinar Hg, é o risco

deperdas do analito e/ou ácido por volatilização, bem como a contaminação da solução da amostra (Oliveira, 2003; Ribeiro et al., 2004; Matusiewicz; Stanisz, 2010). Outras desvantagens também podem estar associadas, como o longo tempo necessário para a decomposição e o uso de grandes volumes de ácidos. Isso se dá, principalmente, quando se necessita a reposição desses reagentes devido a sua volatilização em temperaturas elevadas, implicando assim em altos valores de brancos analíticos e, desta forma, comprometendo o LD da análise (Krug, 2010).

Em um sistema aberto com a utilização de apenas HNO_3 como reagente, não é possível obter uma total eficiência de decomposição dependendo do tipo de amostra. Por exemplo, Gonzalez et al., (2009) informam que para a decomposição rápida e completa de amostras com alto teor de carboidratos, precisa-se de uma temperatura de 140 °C, enquanto que para altos teores de proteínas e lipídios são necessários 150 e 160 °C, respectivamente. Em tais temperaturas com certeza ter-se-ia a perda de analito por volatilização se o objetivo fosse a determinação de Hg, pois para se ter uma ideia da dificuldade de se preparar uma amostra com aquecimento para tal finalidade, Krug (2010) relata que 81 % do Hg é perdido a 110 °C durante 24h de aquecimento em amostra de peixe. Esse dado trata-se de um processo de decomposição por via seca, ou seja, a amostra é submetida a aquecimento em forno mufla até a queima da fração orgânica e obtenção de um resíduo na forma de cinza, o qual é solúvel em ácido diluído. Apesar desse procedimento, nota-se que a etapa de preparo de amostras para a determinação de elementos voláteis pode ser crítica devido à dificuldade de garantir que a amostra seja decomposta e ao mesmo tempo sem perder os analitos a serem analisados.

Para contornar tais inconvenientes na etapa de preparo das amostras, o uso de decomposição em sistema fechado é muito utilizado, a fim de melhorar a eficiência de digestão e evitar perdas de analitos e/ou reagentes por volatilização (Oliveira, 2003; Flores et al., 2007). Os primeiros estudos do uso de sistema fechado para o preparo de amostra foram relatados por Carius em 1860, onde esse pesquisador utilizou tubo de vidro selado, no qual fora adicionado a amostra e HNO_3 , sendo posteriormente aquecido a temperaturas elevadas (250 a 300 °C) por algumas horas (Oliveira, 2003; Krug, 2010). Nessas condições, a decomposição ácida com HNO_3 se torna muito eficiente devido ao aumento proporcional da temperatura e pressão do sistema (Krug, 2010).

Dentre os métodos que utilizam sistema fechado, recentemente os fornos de micro-ondas vem ganhando destaque no preparo de amostras, devido a sua simplicidade, rapidez e aplicabilidade para diversos tipos de matrizes (Oliveira, 2003; Korn et al., 2008; Nemati et al., 2010). O uso da radiação micro-ondas para a decomposição de amostras já é bastante conhecido, tendo os primeiros relatos em 1975, sendo esses estudos realizados em frascos aberto e em fornos domésticos. Com os avanços instrumentais, novos sistemas de micro-ondas foram criados a fim de aperfeiçoar tal prática bem como garantir maior segurança ao operador, uma vez que é possível obter informações de pressão e temperatura interna aos tubos durante o processo de decomposição (Krug, 2010).

As micro-ondas são ondas eletromagnéticas portadoras de energia, onde uma vez absorvidas provocam aumento considerável na temperatura de tal material absorvente. Isso se deve a interação dessa radiação eletromagnética com íons contidos na solução, provocando a migração iônica e rotação de dipolos. Esse aquecimento tem como característica a absorção direta de energia pelo material, ou seja, não ocorre conforme observado no aquecimento convencional (chapas de aquecimento, chamas, etc.) (Arruda; Santelli, 1997; Krug, 2010).

CONCLUSÃO

Com base no exposto, é evidente a necessidade de controle de Hg em alimentos devido aos efeitos deletérios a saúde humana. Entretanto, a escolha da técnica para uma análise química elementar é uma etapa extremamente importante, pois é a partir desta será possível a obtenção dos resultados de interesse para o controle dos constituintes de amostras. Para a determinação deste analito, a técnica de CVG AAS tem se mostrado eficiente e aplicável para uma grande variedade de amostras de alimentos, apresentado resultados com elevada sensibilidade e baixos limites de detecção.

Outro ponto importante é o preparo de amostras, o qual deve ser compatível com a técnica instrumental de análise. Avaliar qual o melhor procedimento a ser adotado em cada análise química não é uma tarefa fácil. Essa escolha deve ser feita com atenção, a fim de garantir a obtenção de resultados seguros e mínima geração de erros durante o procedimento. Para isso, é recomendado a avaliação de parâmetros de validação a fim de garantir maior confiabilidade nos dados originados, tais como linearidade, curva de calibração, sensibilidade, limite de detecção, limite de quantificação, precisão, exatidão, recuperação, especificidade, estabilidade e robustez.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Arruda, M. A. Z., & Santelli, R. E. (1997). Mecanização no preparo de amostras por microondas: o estado da arte. *Química Nova*, 20, 638-643. DOI: 10.1590/S0100-40421997000600012
- Åström, O. (1982). Flow injection analysis for the determination of bismuth by atomic absorption spectrometry with hydride generation. *Analytical Chemistry*, 54, 190-193. DOI: 10.1021/ac00239a011
- Azevedo, F. A., & Chasin, A. A. M. (2003). *Metais: Gerenciamento da toxicidade*. São Paulo: Editora Atheneu, 554 p.
- Bendicho, C., Pena, F., Costas, M., Gil, S., & Lavilla, I. (2010). Photochemistry-based sample treatments as greener approaches for trace-element analysis and speciation. *Trends in Analytical Chemistry*, 29, 681-691. DOI: 10.1016/j.trac.2010.05.003
- Berg, J. M., Tymoczko, J. L., & Stryer, L. (2008). *Bioquímica*, 6ª ed. Rio de Janeiro: Editora Guanabara, 1114p.

- Bisinoti, M. C., & Jardim, W. F. (2004). O comportamento do metilmercúrio (MetilHg) no ambiente. *Química Nova*, 27, 593-600. DOI: 10.1590/S0100-40422004000400014
- Cavalli, S. B. (2001). Segurança alimentar: a abordagem dos alimentos transgênicos. *Revista Nutrição*, 14, 41-46. DOI: 10.1590/S1415-52732001000400007
- Clarkson, T. W., & Magos, L. (2006). The toxicology of mercury and its chemical compounds. *Critical Reviews in Toxicology*, 36, 609–662. DOI: 10.1080/10408440600845619
- Commission regulation (EC) N0 1881/2006 of 19 December 2006 setting maximum levels for certain contaminants in foodstuffs, Official Journal of the European Union, n. L255, 01 of September of 2007, 1-24.
- Craig, P. J., & Morton, S. F. (1978). Kinetics and mechanism of the reaction between methylcobalamin and mercury chloride. *Journal of Organometallic Chemistry*, 145, 79-89. DOI: 10.1016/S0022-328X(00)84076-0
- Crespo-Lopez, M. E., Augusto-Oliveira, M., Lopes-Araújo, A., Santos-Sacramento, L., Yuki Takeda, P., Macchi, B. de M., do Nascimento, J.L.M., Maia, C.S.F., Lima, R. R., & Arrifano, G. P. (2021). Mercury: What can we learn from the Amazon? *Environment International*, 146, 106223. DOI: 10.1016/j.envint.2020.106223
- Crespo-Lopez, M. E., Macêdo, G. L., Pereira, S.I. D., Arrifano, G. P. F., Picanço-Diniz, D. L. W., Nascimento, J. L. M., & Herculano, A. M. (2009). Mercury and human genotoxicity: Critical considerations and possible molecular mechanisms. *Pharmacological Research*, 60, 212–220. DOI: 10.1016/j.phrs.2009.02.011
- Ebadian, M. A., Allen, M., & Cai, Y. (2001). Mercury contaminated material decontamination methods: investigation and assessment. Hemispheric Center for Environmental Technology (HCET) – Final Report, Department of Energy, Miami, 61p.
- EPA, Environmental Protection Agency. Mercury study report to congress. EPA-452/R-97-003, United States, v. 1, 1997, 95p.
- EPA, Environmental Protection Agency. Technology Transfer Network Air Toxics Web Site: Mercury Compounds. Disponível em: <<http://www.epa.gov/ttn/atw/hlthef/mercury.html>>. Acessado em junho de 2022.
- Ferreira, S. L. C., Lemos, V. A., Silva, L. O. B., Queiroz, A. F. S., Souza, A. S., Silva, E. G. P., Santos, W.L.N., & Virgens, C. F. (2015). Analytical strategies of sample preparation for the determination of mercury in food matrices — A review. *Microchemical Journal*, 121, 227–236. DOI: 10.1016/j.microc.2015.02.012.
- Flores, E. M. M., Barin, J. S., Mesko, M. F., & Knapp, G. (2007). Sample preparation techniques based on combustion reactions in closed vessels – a brief overview and recent applications. *Spectrochimica Acta Part B*, 62, 1051–1064. DOI:10.1016/j.sab.2007.04.018

- Gonzalez, M. H., Souza, G. B., Oliveira, R. V., Forato, L. A., Nóbrega, J. A., & Nogueira, A. R. A. (2009). Microwave-assisted digestion procedures for biological samples with diluted nitric acid: Identification of reaction products. *Talanta*, 79, 396–401. DOI: 10.1016/j.talanta.2009.04.001
- Guo, X., Sturgeon, R. E., Mester, Z., & Gardner, G. J. (2003). UV vapor generation for determination of selenium by heated quartz tube atomic absorption spectrometry. *Analytical Chemistry*, 75, 2092–2099. DOI: 10.1021/ac020695h
- Guzzi, G. P., & La Porta, C. A. M. (2008). Molecular mechanisms triggered by Mercury. *Toxicology*, 244, 1–12. DOI: 10.1016/j.tox.2007.11.002
- Hath, W. R., & Ott, W. L. (1968). Determination of sub-microgram quantities of mercury by atomic absorption spectrophotometry. *Analytical Chemistry*, 40, 2085–2087. DOI: 10.1021/ac50158a025
- Heller, A. A., & Weber, J. H. (1998). Seasonal study of speciation of mercury (II) and monomethylmercury in spartina alterniflora from the Great Bay Estuary, NH. *The Science of the Total Environment*, 221, 181–188. DOI: 10.1016/S0048-9697(98)00285-X.
- Kaercher, L. E., Goldschmidt, F., Paniz, J. N. G., Flores, E. M. M., & Dressler, V. L. (2005). Determination of inorganic and total mercury by vapor generation atomic absorption spectrometry using different temperatures of the measurement cell. *Spectrochimica Acta Part B*, 60, 705–710. DOI: 10.1016/j.sab.2005.03.006
- Korn, M. G. A., Boa Morte, E. S., Santos, D. C. M. B., Castro, J. T., Barbosa, J. T. P., Teixeira, A. P., Fernandes, A. P., Welz, B., Santos, W. P. C., Santos, E. B. G. N., & Korn, M. (2008). Sample preparation for the determination of metals in food samples using spectroanalytical methods – a review. *Applied Spectroscopy Reviews*, 43, 67–92. DOI: 10.1080/05704920701723980
- Kot, A., & Namiesńnik, J. (2000). The role of speciation in analytical chemistry. *Trends in analytical chemistry*, 19, 69–80. DOI: 10.1016/S0165-9936(99)00195-8
- Krug, F. J. (2010). *Métodos de preparo de amostras: fundamentos sobre preparode amostras orgânicas e inorgânicas para análise elementar*. 2 ed., Piracicaba: Editora EditSBQ, 340 p.
- Leermakers, M., Baeyens W., Quevauviller P., & Horvat, M. (2005). Mercury in environmental samples: speciation, artifacts and validation. *Trends in Analytical Chemistry*, 24, 383–393. DOI: 10.1016/j.trac.2004.01.001
- López-Antón, M. A., Díaz-Somoano, M., Ochoa-González, R., & Martínez-Tarazona, M. R. (2012). Analytical methods for Mercury analysis in coal and coal combustion by-products. *International Journal of Coal Geology*, 94, 44–53. DOI: 10.1016/j.coal.2012.01.010
- Matusiewicz, H., & Stanisz, E. (2010). Evaluation of high pressure oxygen microwave-assisted wet decomposition for the determination of mercury by CVAAS utilizing UV-induced reduction. *Microchemical Journal*, 95, 268–273. DOI: 10.1016/j.microc.2009.12.012.

- Micaroni, R. C. C. M., Bueno, M. I. M. S., & Jardim, W. F. (2000). Compostos de mercúrio. Revisão de métodos de determinação, tratamento e descarte. *Química Nova*, 23, 487-495. DOI: 10.1590/S0100-40422000000400011
- Mitra, S. (2003). *Sample preparation techniques in analytical chemistry*. New Jersey: John Wiley & Sons.
- Moreda-Piñeiro, J., Moreda-Piñeiro, A., Romarís-Hortas, V., Domínguez-González, R., Alonso-Rodríguez, E., López-Mahía, P., Muniategui-Lorenzo, S., Prada-Rodríguez, D., & Barreiro-Barrera, P. (2012) Trace metals in marine foodstuff: bioavailability estimation and effect of major food constituents. *Food Chemistry*, 134, 339–345. DOI:10.1016/j.foodchem.2012.02.165
- Morita, M., Yoshinaga, J., & Edmonds, J. S. (1998). The determination of mercury species in environmental and biological samples. *Pure and Applied Chemistry*, 70, 1585-1615. DOI: 10.1351/pac199870081585
- Nascimento, E. S., & Chasin, A. A. M. (2001). *Ecotoxicologia do mercúrio e seus compostos*. Série Cadernos de Referência Ambiental, 1, Salvador: CRA, 176p.
- Nemati, K., Bakar, N. K. A., Abas, M. R. B., Sobhanzadeh, E., & Low, K. H. (2010). Comparative study on open system digestion and microwave assisted digestion methods for metal determination in shrimp sludge compost. *Journal of Hazardous Materials*, 182, 453–459. DOI: 10.1016/j.jhazmat.2010.06.053
- Nevado, J. J. B., Martín-Doimeadios, R. C. R., Moreno, M. J., Nascimento, J. L. M., Herculano, A. M., & Crespo-López, M. E. (2009). Mercury speciation analysis on cell lines of the human central nervous system to explain genotoxic effects. *Microchemical Journal*, 93, 12–16. DOI:10.1016/j.microc.2009.03.008
- Oliveira, E. (2003). Sample preparation for atomic spectroscopy: evolution and future trends. *Journal of the Brazilian Chemical Society*, 14, 174-182. DOI: 10.1590/S0103-50532003000200004.
- Oliveira, R. B., Gomes-Leal, W., Nascimento, J. L. M., & Picanço-Diniz, C. W. (1998). Methylmercury intoxication and histochemical demonstration of NADPH diaphorase activity in the striate cortex of adult cats. *Brazilian Journal of Medical and Biological Research*, 31, 1157-1161. DOI:10.1590/S0100-879X1998000900009
- OMS, Organização Mundial da Saúde. (2014). Public health impacts of exposure to mercury and mercury compounds: the role of WHO and ministries of public health in the implementation of the Minamata Convention. Accessed 10th June 2022. <https://apps.who.int/iris/handle/10665/162849>.
- OMS, Organização Mundial da Saúde. (2017). Mercury and health. Accessed 10th June 2022. <https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/mercury-and-health>.
- Pacyna, E. G., Pacyna, J. M., Sundseth, K., Munthe, J., Kindbom, K.; Wilson, S., Steenhuisen, F., & Maxson, P. (2010). Global emission of mercury to the atmosphere from anthropogenic sources in 2005 and projections 2020. *Atmospheric Environment*, 44, 2487-2499. DOI: 10.1016/j.atmosenv.2009.06.009

- Pohl, P. (2004). Recent advances in chemical vapour generation via reaction with sodium tetrahydroborate. *Trends in Analytical Chemistry*, 23, 21-27. DOI: 10.1016/S0165-9936(04)00103-7
- Ramalhos, E., Segade, S. R., Pereira, E., Vale, C., & Duarte, A. (2001). Simple methodology for methylmercury and inorganic mercury determinations by high performance liquid chromatography cold vapour atomic fluorescence spectrometry. *Analytica Chimica Acta*, 448, 135–143. DOI: 10.1016/S0003-2670(01)01317-4
- Ribeiro, A. S., Vieira, M. A., & Curtius, A. J. (2004). Slurry Sampling for Hg Determination in Sediments, Sewage Sludge and Coal Samples by Cold Vapor Atomic Absorption Spectrometry. *Journal of the Brazilian Chemical Society*, 15, 825-831. DOI: 10.1590/S0103-50532004000600007
- Řužička, J., & Hansen, E. H. (1975). Flow injection analyses: Part I. A new concept of fast continuous flow analysis. *Analytica Chimica Acta*, 78, 145-157. DOI: 10.1016/S0003-2670(01)84761-9
- Segade, S. R., & Tyson, J. F. (2003). Determination of inorganic mercury and total mercury in biological and environmental samples by flow injection-cold vapor atomic absorption spectrometry using sodium borohydride as the sole reducing agent. *Spectrochimica Acta Part B*, 58, 797–807. DOI: 10.1016/S0584-8547(03)00015-6
- Serafimovski, I., Karadjova, I., Stafilov, T., & Cvetković, J. (2008). Determination of inorganic and methylmercury in fish by cold vapor atomic absorption spectrometry and inductively coupled plasma atomic emission spectrometry. *Microchemical Journal*, 89, 42–47. DOI: 10.1016/j.microc.2007.11.003
- Silva, C. S., Oreste, E. Q., Nunes, A. M., Vieira, M. A., & Ribeiro, A. S. (2012). Determination of mercury in ethanol biofuel by photochemical vapor generation. *Journal of Analytical Atomic Spectrometry*, 27, 689-694. DOI: 10.1039/C2JA10281A
- Sturgeon, R. E., & Mester, Z. (2002). Analytical applications of volatile metal derivatives. *Applied Spectroscopy*, 56, 202A-213A.
- Suzuki, T., Akagi, H., Arimura, K., Ando, T., Sakamoto, M., Satoh, H., Naganuma, A., Futatsuka, M., & Matsuyama, A. (2004). *Mercury analysis manual*. Ministry of the Environment, Japan, 105p.
- Takase, I., Pereira, H. B., Luna, A. S., Grinberg, P., & Campos, R. C. (2002). A geração química de vapor em espectrometria atômica. *Química Nova*, 25, 1132-1144. DOI: 10.1590/S0100-40422002000700014
- Tao, G. Willie, S. N., & Sturgeon, R. E. (1998). Determination of total mercury in biological tissues by flow injection cold vapour generation atomic absorption spectrometry following tetramethylammonium hydroxide digestion. *Analyst*, 123, 1215–1218. DOI: 10.1039/a802000k
- Torres, D. P., Vieira, M. A., Ribeiro, A. S., & Curtius, A. J. (2005). Determination of inorganic and total Mercury in biological Samples treated with tetramethylammonium hydroxide by cold vapor atomic

- absorption spectrometry using different temperatures in the quartz cell. *Journal of Analytical Atomic Spectrometry*, 20, 289-294. DOI:10.1039/b416167j
- Vieira, M. A., Ribeiro, A. S., Curtius, A. J., & Sturgeon, R. E. (2007). Determination of total mercury and methylmercury in biological samples by photochemical vapor generation. *Analytical and Bioanalytical Chemistry*, 388, 837-847. DOI: 10.1007/s00216-007-1194-2
- Wang, J., Feng, X., Anderson, C. W. N., Xing, Y., & Shang, L. (2012). Remediation of Mercury Contaminated Sites - A Review. *Journal of Hazardous Materials*, 221, 1-18. DOI: 10.1016/j.jhazmat.2012.04.035
- Welz, B., & Sperling, M. (1999). *Atomic Absorption Spectrometry*. 3 ed., Wiley-Vch: Germany, 955p.
- Wu, P., He, L., Zheng, C., Hou, X., & Sturgeon, R. E. (2010). Applications of chemical vapor generation in non-tetrahydroborate media to analytical atomic spectrometry. *Journal of Analytical Atomic Spectrometry*, 25, 1217-1246. DOI: 10.1039/c003483e
- Zahir, F., Rizwi, S. J., Haq, S. K., & Khan, R. H. (2005). Low dose mercury toxicity and human health. *Environmental Toxicology and Pharmacology*, 20, 351-360. DOI: 10.1016/j.etap.2005.03.007

Índice Remissivo

A

alimentos, 57, 58, 61, 62, 64

E

enzimas, 58, 59, 60, 61, 62, 63, 64

F

fermentativos, 58, 59, 60, 64

M

micotoxinas, 57, 58, 60, 61, 62, 63, 64, 67

U

ultrassom, 62

Sobre o organizador



Wesclen Vilar Nogueira

Graduado em Engenharia de Pesca pela UNIR. Mestre e doutorando em Engenharia e Ciência de Alimentos pela FURG.



Pantanal Editora

Rua Abaete, 83, Sala B, Centro. CEP: 78690-000

Nova Xavantina – Mato Grosso – Brasil

Telefone (66) 99682-4165 (Whatsapp)

<https://www.editorapantanal.com.br>

contato@editorapantanal.com.br

