

VALIDAÇÃO DE MÉTODO DE MIGRAÇÃO ESPECÍFICA DE METAIS DE EMBALAGENS PLÁSTICAS POR ICP-MS

Andriel Ferreira Conde **Frigo**¹; Elisabete Segantini **Saron**²

Nº 24229

RESUMO – A principal função das embalagens é a proteção dos alimentos acondicionados em relação ao meio externo. Além disso, os materiais de embalagem devem ser monitorados para não representarem uma fonte de contaminação aos seus produtos. A ingestão de agentes químicos de potencial toxicológico através da dieta proveniente de alimentos industrializados, depende da efetividade do controle da presença de contaminantes nos alimentos e nas embalagens. A migração de elementos químicos provenientes das embalagens plásticas ocorre através da sua interação com o alimento e pode ser causada por problemas na sua formulação e produção. Nesse sentido, as legislações nacionais e internacionais estabelecem limites de composição de determinadas substâncias e de migração específica para substâncias orgânicas e inorgânicas. Este projeto se propôs a validar a etapa de quantificação dos elementos antimônio (Sb), arsênio (As), selênio (Se), bário (Ba), boro (B), cádmio (Cd), zinco (Zn), cobre (Cu), cromo (Cr), estanho (Sn), mercúrio (Hg), prata (Ag) e chumbo (Pb) para o método de migração específica de metais de embalagens plásticas usando o simulante ácido acético 3% (g/100 mL). Para tanto, foi empregado um espectrômetro de massas com plasma indutivamente acoplado (ICP-MS), que se trata de uma técnica analítica instrumental de alta sensibilidade. Os resultados obtidos no estudo permitiram validar o método para a quantificação dos 13 elementos estudados, demonstrando capacidade para detectar os baixos limites de migração de metais estabelecidos nas legislações brasileira e europeia, permitindo monitorar o comportamento da migração destes contaminantes em embalagens plásticas para todos os tipos de alimentos.

Palavras-chaves: ICP-MS, Embalagens plásticas, Alimentos, Migração específica, Metais, Simulante ácido acético.

1 Autor, Bolsista CNPq (PIBIC): Graduação em Engenharia de Alimentos, FEA/Unicamp, Campinas-SP; a231981@dac.unicamp.br.

2 Orientadora: Pesquisadora do Instituto de Tecnologia de Alimentos - Itai, Campinas-SP; esaron@ital.sp.gov.br.

ABSTRACT – *The main function of packaging is to protect the packaged food from the external environment. In addition, packaging materials must be monitored so that they do not represent a source of contamination to your products. The ingestion of chemical agents with toxicological potential through the diet from industrialized food depends on the effectiveness of controlling the presence of contaminants in food and packaging. The migration of chemical elements from plastic packaging occurs through their interaction and contact with the food and can be caused by packaging formulation and production problems. In this sense, national and international laws establish composition limits for certain substances and specific migration limits for organic and inorganic substances. This project aimed to validate the quantification of the elements antimony (Sb), arsenic (As), selenium (Se), barium (Ba), boron (B), cadmium (Cd), zinc (Zn), copper (Cu), chromium (Cr), tin (Sn), mercury (Hg), silver (Ag) and lead (Pb) for the specific metal migration method of plastic packaging using the simulant acetic acid 3% (g/100 mL). For this purpose, an inductively coupled plasma mass spectrometer (ICP-MS) was used, which is a highly sensitive instrumental analytical technique. The results obtained in the study allowed to validate the method for the quantification of the 13 elements studied, demonstrating its ability to detect the low limits of metal migration established in Brazilian and European legislation, allowing to monitor the behavior of the migration of these contaminants in plastic packaging for all types of food.*

Keywords: ICP-MS, Plastic packaging, Food, Specific Migration, Metals, Simulant acetic acid.

1. INTRODUÇÃO

As embalagens desempenham papel essencial na conservação dos alimentos e bebidas e são indispensáveis para garantir a qualidade dos alimentos até o final de sua vida útil. Contudo, é de extrema importância que elas também sejam produzidas com o cuidado de não serem fonte de contaminação de agentes tóxicos, sendo estes transferidos para os alimentos acondicionados através do contato com o material utilizado nas embalagens. Isso se deve, pois, todo tipo de material causa alguma migração que varia em intensidade a depender do produto armazenado e de condições físicas como temperatura e umidade, além do tempo de contato.

O termo migração é definido por Katan (1996) como a transferência de massa de uma fonte externa para os alimentos por interação e contato através de processos submicroscópicos. A migração específica diz respeito à identificação e quantificação de um elemento ou composto em particular, muitas vezes de interesse toxicológico, transferidos das embalagens para os alimentos ou seus simulantes (Brasil, 2001; Padula; Ito, 2006; Catalá; Gavara, 2002).

No Brasil, a Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA) regulamenta as embalagens, equipamentos e utensílios destinados ao contato direto com alimentos. Existem resoluções que

estabelecem limites para a adição de componentes na produção dos materiais e também valores máximos permitidos para metais e outros elementos nos ensaios de migração das embalagens (Saron, 2017).

Entre as substâncias de importância toxicológica, os metais se destacam por serem um dos principais possíveis contaminantes das embalagens poliméricas, visto que estão presentes na composição de diversos aditivos e colorantes (pigmentos e corantes) utilizados na produção dos materiais com o fim de melhorar a qualidade dos produtos finais. A contaminação por metais é prejudicial aos consumidores por causar enfermidades e ao meio ambiente quando as embalagens são descartadas incorretamente (Robertson, 2013)

Portanto, as análises de migração específica de metais são necessárias e requerem métodos específicos, precisos, seletivos e com alta sensibilidade, como a técnica de espectrometria de massas por plasma indutivamente acoplado - ICP-MS, visto que os limites de migração expostos pelos regulamentos são muito baixos.

2. MATERIAL E MÉTODOS

A parte experimental deste trabalho utilizou a estrutura do Laboratório de Química do Centro de Tecnologia de Embalagens - Cetea para o preparo das soluções e do Laboratório de Inorgânicos do Centro de Ciência e Qualidade de Alimentos - CCQA, onde o ICP-MS está instalado, ambos do Instituto de Tecnologia de Alimentos - ITAL.

2.1. Materiais

Para o preparo da solução do branco analítico e das soluções com adição de analitos utilizadas como amostras, foram utilizados: água ultrapurificada (18,2 MΩ.cm), obtida por sistema Milli-Q (Merck Millipore, Darmstadt, Alemanha), ácido acético concentrado (100%) e ácido nítrico (HNO₃) concentrado (65%) (Merck, São Paulo, Brasil), soluções padrão individuais de 1000 mg L⁻¹ dos elementos As, Se, Cd, Sn, Sb, Pb, Hg, B, Ba, Zn, Ag, Cr e Cu (Merck, Darmstadt, Alemanha).

Para a validação da metodologia, foi utilizada a adição de analitos em uma solução de ácido acético 3% (mL/100 mL) com ácido nítrico (HNO₃) 0,5% (mL/100 mL) preparada em laboratório para atuar como branco analítico.

A solução de padrão de interno utilizada continha 50 µg L⁻¹ dos elementos Sc, In, Y, Ge, Rh, Re, Pt e Bi diluídos em HNO₃ 0,2%.

Todas as vidrarias e materiais usados foram lavados e descontaminados pela imersão em banho de solução aquosa de detergente Extran® (Merck, Darmstadt, Alemanha) seguidos de enxágue por água corrente e água ultrapurificada. Após esse procedimento também passaram por

imersão em solução de ácido nítrico 25%, por no mínimo 12 horas, e enxaguados novamente com água ultrapurificada.

A Tabela 1 apresenta as concentrações dos analitos adicionados no branco analítico e nos três níveis utilizados no estudo, bem como as faixas de variação dos limites de migração específica dos elementos inorgânicos estabelecidos para diferentes matrizes pelas legislações nacionais e da Europa (Brasil, 2010a, 2010b, 2012, 2019, 2022a, 2022b; Comissão da Comunidade Europeia, 2011). Exceção feita para os elementos B, Zn e Ba, os demais elementos apresentam limites com concentrações inferiores a $50 \mu\text{g kg}^{-1}$ até não detectado (ND) sem referência ao limite de detecção, os quais correspondem a concentrações a nível de traços.

Tabela 1. Concentrações dos analitos adicionados nas soluções preparadas e limites mínimos e máximos de elementos inorgânicos para diferentes matrizes, em $\mu\text{g kg}^{-1}$ (Brasil, 2010a, 2010b, 2012, 2019, 2022a, 2022b; Comissão da Comunidade Europeia, 2011).

Elemento	Adição de analito				Limites de Migração ⁽¹⁾
	Branco	1º Nível	2º Nível	3º Nível	
B	25	75	300	700	5.000 – 6.000
Cr	2,5	8	30	150	ND (LD 10) – 10.000
Cu	2,5	8	30	150	50 – 40.000
Zn	25	75	300	700	5.000
As	1,5	7,5	35	85	ND* – 1.000
Se	1,5	7,5	35	85	10
Ag	2,5	8	30	150	50
Cd	0,3	1,5	7,5	30	ND (LD 2) – 2.000
Sn	1,5	7,5	35	85	6 - 250.000
Sb	0,3	1,5	7,5	30	4 – 40
Ba	25	75	300	700	700 – 1.000
Hg	0,25	0,8	3,5	15	ND* – 1
Pb	1,5	7,5	35	85	ND* – 10

(1) Faixa de variação em função do tipo de produto

ND* = Não detectado, sem referência do limite de detecção

LD = Limite de Detecção

2.2. Equipamentos

As determinações dos elementos metálicos foram conduzidas em um espectrômetro de massas com plasma indutivamente acoplado (ICP-MS) marca Thermo Fisher Scientific, modelo iCAPTM RQ ICP-MS equipado com um amostrador automático modelo Teledyne CETAC ASX-280 Autosampler. O ICP-MS possui um detector multielementar de massas do tipo quadrupolo único (SQ), que possibilita a utilização do mecanismo de Discriminação de Energia Cinética (KED) que elimina algumas interferências poliatômicas através do gás hélio (He) que atua como gás de colisão. Esse mecanismo é, muitas vezes, a melhor forma de analisar metais de transição e metais pesados como cromo, cobre, zinco, cádmio, mercúrio e chumbo. O equipamento juntamente com seu amostrador automático estão ilustrados na Figura 1.

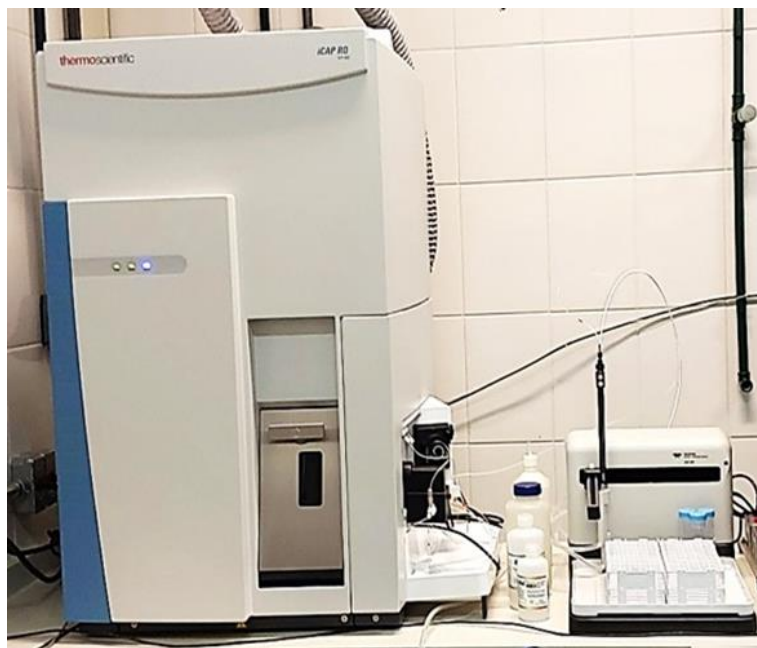


Figura 1. Espectrômetro de massas com fonte de plasma iCAP™ RQ ICP-MS.

Os parâmetros instrumentais otimizados para a determinação dos metais por ICP-MS estão apresentados na Tabela 2.

Tabela 2. Parâmetros instrumentais para a determinação da migração de metais por ICP-MS.

Gerador de RF (W)	1550
Vazão de argônio do plasma (L min ⁻¹)	14,0
Vazão de argônio auxiliar (L min ⁻¹)	0,80
Vazão de argônio do nebulizador (L min ⁻¹)	0,98
Nebulizador	Micromist
Câmara de nebulização	Quartzo, duplo passo a 2,8°C
Número de replicatas	3
Tempo de integração (s)	0,2 e 0,01 (padrão interno)
Isótopos monitorados	¹¹ B, ⁵² Cr, ⁶³ Cu, ⁶⁴ Zn, ⁶⁶ Zn, ⁷⁵ As, ⁷⁸ Se, ⁸⁰ Se, ¹⁰⁷ Ag, ¹⁰⁹ Ag, ¹¹⁰ Cd, ¹¹¹ Cd, ¹¹⁴ Cd, ¹¹⁸ Sn, ¹²⁰ Sn, ¹²¹ Sb, ¹²³ Sb, ¹³⁷ Ba, ¹³⁸ Ba, ²⁰⁰ Hg, ²⁰² Hg, ²⁰⁶ Pb e ²⁰⁸ Pb
Padrões internos	⁴⁵ Sc, ⁷² Ge, ⁸⁹ Y, ¹⁰³ Rh, ¹¹⁵ In, ¹⁸⁵ Re, ¹⁹⁵ Pt, ²⁰⁹ Bi

2.3. Validação do método

Para a validação da metodologia, foram avaliados os seguintes parâmetros: linearidade da curva analítica, limites de detecção (LD) e quantificação (LQ), precisão, exatidão e porcentagem de recuperação (Inmetro, 2020).

2.3.1. Linearidade

As linearidades das curvas de calibração foram determinadas pelo equipamento ICP- MS e seu software em cada análise realizada através do coeficiente de correlação linear (r) da curva.

2.3.2. Limite de detecção e limite de quantificação

O limite de detecção (LD) de um procedimento analítico instrumental é a menor quantidade de analito na amostra que pode ser detectada. O limite de quantificação (LQ) diz respeito à menor quantidade de analito que pode ser quantitativamente determinada com precisão e exatidão aceitáveis. Para determinar os limites de detecção e de quantificação foram realizadas 10 leituras do branco analítico adicionado de padrão dos elementos, conforme indicado na Tabela 1, utilizando os parâmetros do equipamento otimizados para o método, citados na Tabela 2. Os limites de detecção e quantificação foram calculados respectivamente pelas Equações 1 e 2.

$$LD = 0 + t_{(n-1)} * s \quad (1)$$

$$LQ = 0 + 10 * s \quad (2)$$

Nas equações acima, “n” representa o número de replicatas, “ $t_{(n-1)}$ ” representa a abscissa da distribuição de *Student* para 99% de confiança e “s” representa o desvio padrão dos brancos da amostra.

2.3.3. Precisão

A precisão do método foi avaliada através da repetibilidade, utilizando a solução de ácido acético 3% e HNO_3 0,5% com adição de padrão, através do cálculo do coeficiente de variação (CV) para cada elemento da solução branco adicionada de padrão. Os valores de coeficiente de variação máximos ($\text{CV}_{\text{máx}}$) aceitáveis para as repetições analíticas foram obtidos através da Equação 4 estabelecida por Horwitz (1982). Os resultados obtidos foram considerados adequados quando os coeficientes de variação calculados pela Equação 3 foram inferiores ou iguais aos calculados pela Equação 4.

$$CV(\%) = \frac{\text{desvio padrão} * 100}{\text{média}} \quad (3)$$

$$CV_{\text{máx}}(\%) = 2^{(1-0,5*\log(C))} \quad (4)$$

Na Equação 4, “C” representa a concentração estudada como potência de 10, em $\mu\text{g kg}^{-1}$.

2.3.4. Exatidão

A exatidão foi avaliada pelos erros relativos (ERs), através da Equação 5, obtidos pela recuperação dos analitos através da adição de padrão na solução de ácido acético 3% e HNO_3 0,5% em três níveis de concentrações intermediárias (N1 - baixo, N2 - média e N3 - alto) aos pontos das curvas analíticas, sendo todas as determinações conduzidas em três dias distintos para todos os

elementos analisados. Os resultados foram considerados exatos para os elementos que apresentaram erros relativos inferiores a 15%.

$$ER(\%) = \frac{(X_E - X_{VC}) * 100}{X_{VC}} \quad (5)$$

Na Equação 5, X_E representa o valor da concentração obtido experimentalmente e X_{VC} o valor da concentração do padrão adicionado.

2.3.5. Recuperação

As recuperações dos elementos de interesse foram determinadas pela adição de padrão na solução de ácido acético 3% e HNO_3 0,5% nos três níveis especificados na Tabela 1, utilizando 10 replicatas para cada nível. A recuperação analítica foi calculada pela Equação 6.

$$\text{Recuperação (\%)} = \frac{C_{medida} * 100}{C_{nominal}} \quad (6)$$

Na Equação 6, C_{medida} representa a concentração obtida experimentalmente e $C_{nominal}$ a concentração nominal do padrão adicionado.

A Tabela 3 apresenta faixas de recuperação aceitáveis sugeridas pela Associação Oficial de Químicos Analíticos (AOAC, 2016) para diferentes níveis de concentração.

Tabela 3. Limites de recuperação aceitáveis em função da concentração do analito.

Concentração		Limites de recuperação (%)
$\mu\text{g kg}^{-1}$	mg kg^{-1}	
10.000	10	80 - 110
1000	1	80 - 110
100	0,1	80 - 110
10	0,01	60 - 115
1	0,001	40 - 120

Fonte: INMETRO (2020).

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1. Validação do método

3.1.1. Linearidade

Para verificar a linearidade das curvas analíticas, foi utilizado o coeficiente de correlação (r). Em todas as curvas, a correlação foi igual ou superior a 0,99 no intervalo de $0,5 \mu\text{g kg}^{-1}$ a $40,0 \mu\text{g kg}^{-1}$ para os elementos Cd e Sb, de $2,5 \mu\text{g kg}^{-1}$ a $100,0 \mu\text{g kg}^{-1}$ para As, Se, Sn e Pb, de $0,5 \mu\text{g kg}^{-1}$ a $20,0 \mu\text{g kg}^{-1}$ para Hg, de $5,0 \mu\text{g kg}^{-1}$ a $200,0 \mu\text{g kg}^{-1}$ para Cr, Cu e Ag e de $50,0 \mu\text{g kg}^{-1}$ a $800,0 \mu\text{g kg}^{-1}$ para B, Ba e Zn. Alguns exemplos de curvas estudadas na validação do método estão ilustradas na Figura 3.

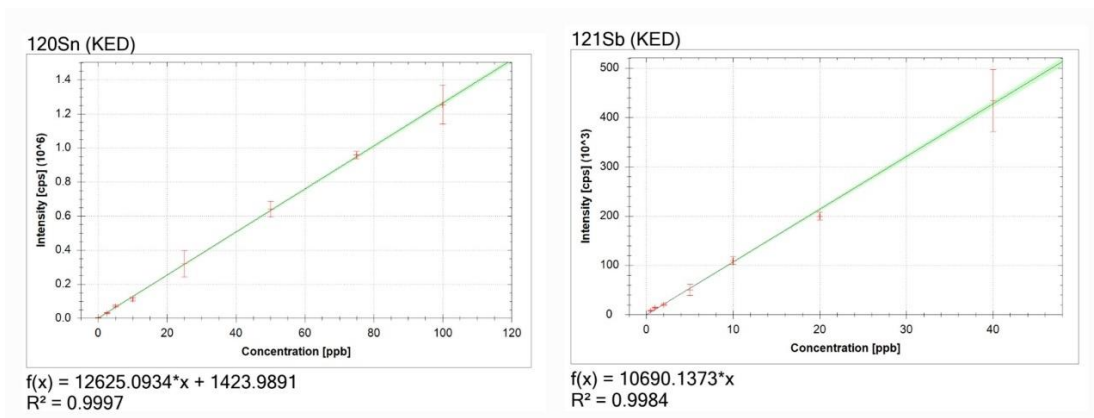


Figura 3. Curvas de calibração para os isótopos ^{120}Sn e ^{121}Sb .

3.1.2. Limites de detecção, limites de quantificação e precisão

Os isótopos analisados, seus respectivos limites de detecção e quantificação e precisão, determinados através dos coeficientes de variação, estão expostos na Tabela 4.

Tabela 4. Isótopos analisados, limites de detecção e quantificação e coeficientes de variação.

Isótopos	Padrão Interno*	LD ($\mu\text{g kg}^{-1}$)	LQ ($\mu\text{g kg}^{-1}$)	Precisão	
				CV (%)	CV _{máximo} (%)
^{11}B	$^{45}\text{Sc}^{**}$	11,62	41,18	12,31	27,06
^{52}Cr	$^{45}\text{Sc} - ^{72}\text{Ge}$	0,63	2,22	9,41	40,00
^{63}Cu	$^{45}\text{Sc} - ^{72}\text{Ge}$	0,40	1,43	5,45	40,59
^{64}Zn	$^{45}\text{Sc} - ^{72}\text{Ge}$	1,70	6,03	2,25	27,63
^{66}Zn	$^{45}\text{Sc} - ^{72}\text{Ge}$	1,65	5,83	2,22	27,68
^{75}As	$^{72}\text{Ge} - ^{89}\text{Y}$	0,32	1,14	7,28	43,17
^{78}Se	$^{72}\text{Ge} - ^{89}\text{Y}$	0,22	0,76	5,12	42,76
^{80}Se	$^{72}\text{Ge} - ^{89}\text{Y}$	0,45	1,59	7,74	40,85
^{107}Ag	$^{103}\text{Rh} - ^{115}\text{In}$	0,70	2,49	6,78	38,21
^{109}Ag	$^{103}\text{Rh} - ^{115}\text{In}$	0,55	1,96	5,56	38,16
^{110}Cd	$^{103}\text{Rh} - ^{115}\text{In}$	0,10	0,37	17,73	57,22
^{111}Cd	$^{103}\text{Rh} - ^{115}\text{In}$	0,08	0,28	11,49	55,85
^{114}Cd	$^{103}\text{Rh} - ^{115}\text{In}$	0,08	0,27	19,54	60,44
^{118}Sn	$^{115}\text{In} - ^{185}\text{Re}$	0,56	1,99	24,36	46,94
^{120}Sn	$^{115}\text{In} - ^{185}\text{Re}$	0,46	1,63	18,79	46,04
^{121}Sb	$^{115}\text{In} - ^{185}\text{Re}$	0,10	0,35	8,72	51,96
^{123}Sb	$^{115}\text{In} - ^{185}\text{Re}$	0,10	0,34	8,60	52,10
^{137}Ba	$^{115}\text{In} - ^{185}\text{Re}$	1,65	5,84	2,52	28,07
^{138}Ba	$^{115}\text{In} - ^{185}\text{Re}$	1,40	4,97	1,65	27,09
^{200}Hg	$^{195}\text{Pt} - ^{209}\text{Bi}$	0,07	0,26	8,99	54,65
^{202}Hg	$^{195}\text{Pt} - ^{209}\text{Bi}$	0,08	0,29	14,20	57,55
^{206}Pb	$^{195}\text{Pt} - ^{209}\text{Bi}$	0,53	1,88	10,49	41,26
^{208}Pb	$^{195}\text{Pt} - ^{209}\text{Bi}$	0,64	2,20	12,49	41,34

* Foi utilizada interpolação entre os dois elementos para o padrão interno, escolhidos em razão de sua massa atômica mais próxima com o isótopo analisado e calculados de maneira proporcional.

** Não houve interpolação.

Todos os isótopos analisados obtiveram LDs e LQs satisfatoriamente baixos, onde os LQs apresentaram concentrações inferiores aos dos primeiros pontos das curvas analíticas e os LDs

foram obtidos com concentrações aproximadamente 3,3 vezes menores que os LQs. Além disso, todos os isótopos também obtiveram uma precisão adequada, com os coeficientes de variação abaixo de seus valores máximos calculados de acordo com Horwitz (1982), indicando que o método de quantificação é preciso para o fim pretendido.

3.1.3. Exatidão e porcentagens de recuperação

Os valores médios dos erros relativos e as porcentagens de recuperação dos níveis intermediários (N1, N2 e N3) aos pontos das curvas estão apresentados para todos os isótopos analisados na Tabela 5.

Tabela 5. Resultados obtidos para os testes de exatidão e recuperação nos níveis N1, N2 e N3.

Isótopo	Erro Relativo (%)			Recuperação (%)		
	N1	N2	N3	N1	N2	N3
¹¹ B	9,5	4,7	3,8	105,9	104,7	103,8
⁵² Cr	11,0	8,6	4,2	100,9	101,0	97,8
⁶³ Cu	12,3	7,3	4,9	98,6	98,3	95,1
⁶⁴ Zn	5,4	2,8	3,2	98,1	100,6	102,9
⁶⁶ Zn	5,4	2,2	3,2	98,3	101,5	103,2
⁷⁵ As	4,2	5,5	3,4	95,8	101,5	97,2
⁷⁸ Se	4,2	3,1	3,5	98,2	103,1	96,6
⁸⁰ Se	10,2	5,5	2,6	108,1	105,5	97,5
¹⁰⁷ Ag	10,0	11,1	6,6	99,5	104,6	101,9
¹⁰⁹ Ag	8,6	8,5	3,8	98,8	101,4	98,9
¹¹⁰ Cd	14,0	3,8	2,9	86,0	99,0	98,3
¹¹¹ Cd	3,5	1,4	2,4	98,3	101,2	98,7
¹¹⁴ Cd	8,0	2,8	1,0	92,0	102,8	99,0
¹¹⁸ Sn	4,7	8,8	7,0	102,3	108,8	93,0
¹²⁰ Sn	4,2	5,7	5,2	103,9	105,7	94,8
¹²¹ Sb	6,1	4,4	2,0	106,1	104,4	101,0
¹²³ Sb	5,4	3,1	3,1	105,4	103,1	100,2
¹³⁷ Ba	6,1	3,4	4,8	100,8	103,4	104,8
¹³⁸ Ba	10,9	5,9	8,1	104,3	105,9	108,1
²⁰⁰ Hg	10,7	11,4	6,1	99,2	107,9	101,2
²⁰² Hg	13,6	11,3	6,8	93,6	107,7	101,5
²⁰⁶ Pb	5,5	2,4	2,8	97,8	102,4	97,5
²⁰⁸ Pb	3,4	2,0	2,2	100,2	101,2	97,8

Todos os isótopos apresentaram exatidão satisfatória (erro relativo inferior a 15%), bem como adequadas porcentagens de recuperação em todos os níveis, as quais variaram entre 86,0% a 108,8% atendendo os critérios estabelecido pela AOAC (2016) e recomendado pelo INMETRO (2020), conforme apresentado na Tabela 3.

4. CONCLUSÃO

Os resultados obtidos através dos testes e análises realizadas no equipamento ICP-MS permitiram levantar as melhores condições instrumentais e validar o método de migração específica de metais de embalagens plásticas em solução de ácido acético 3% (g/100 mL) com ácido nítrico 0,5% (mL/100 mL) para os elementos Sb, As, Se, Ba, B, Cd, Zn, Cu, Cr, Sn, Hg, Ag, e Pb, apresentando resultados de linearidade, limites de detecção e de quantificação, precisão, exatidão e porcentagens de recuperação adequados e em conformidade ao recomendado pelo INMETRO. O método demonstra capacidade para detectar os baixos limites de migração de metais estabelecidos na legislação brasileira (Anvisa) e permitirá monitorar o comportamento da migração destes contaminantes em embalagens plásticas para todos os tipos de alimentos.

5. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao CNPq pela bolsa PIBIC concedida, à toda equipe do Cetea/Ital, em especial aos técnicos de laboratório pelo apoio ao longo das análises experimentais, à pesquisadora do Ccqa/Ital Raquel F. Milani pelo treinamento e suporte na utilização do equipamento ICP-MS e a todos os demais envolvidos no projeto.

6. REFERÊNCIAS

AOAC International, Official methods of analysis of AOAC International, in Guidelines for Standard Method Performance Requirements (Appendix F). Gaithersburg: AOAC International, 2016.

BRASIL. Agência Nacional de Vigilância Sanitária. Resolução RDC nº 91 de 11 de maio de 2001. Aprova o regulamento técnico - Critérios gerais e classificação de materiais para embalagens e equipamentos em contato com alimentos. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**, Brasília, DF, 15 mai. 2001.

BRASIL. Ministério da Saúde. Agência Nacional de Vigilância Sanitária. Resolução RDC nº 51, de 26 de novembro de 2010. Dispõe sobre migração em materiais, embalagens e equipamentos plásticos destinados a entrar em contato com alimentos. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**, Brasília, DF, 22 dez. 2010a. Seção 1, n. 244, p. 75-79.

BRASIL. Ministério da Saúde. Agência Nacional de Vigilância Sanitária. Resolução RDC nº 52, de 26 de novembro de 2010. Dispõe sobre corantes em embalagens e equipamentos plásticos destinados a entrar em contato com alimentos. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**, Brasília, DF, 22 dez. 2010b. Seção 1, n. 244, p. 79-80.

BRASIL. Ministério da Saúde. Agência Nacional de Vigilância Sanitária. Resolução RDC n. 56, de 16 de novembro de 2012. Dispõe sobre a lista positiva de monômeros, outras substâncias iniciadoras e polímeros autorizados para a elaboração de embalagens e equipamentos plásticos em contato com alimentos. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**, seção 1: Poder Executivo, Brasília, DF, p. 66-77, 21 nov. 2012.

BRASIL. Agência Nacional de Vigilância Sanitária. Diretoria Colegiada. Resolução RDC n. 326, de 3 de dezembro de 2019. Estabelece a lista positiva de aditivos destinados à elaboração de materiais plásticos e revestimentos poliméricos em contato com alimentos e dá outras providências. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**: seção 1, Brasília, DF, n. 234, p. 95, 4 dez. 2019.

BRASIL. Ministério da Saúde. Agência Nacional de Vigilância Sanitária. Resolução RDC nº 717, de 01 de julho de 2022. Dispõe sobre os requisitos sanitários das águas envasadas e do gelo para consumo humano. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**, Brasília, DF, 06 jul. 2022a. 9p.

BRASIL. Ministério da Saúde. Agência Nacional de Vigilância Sanitária. Instrução Normativa n. 160, de 01 de julho de 2022. Estabelece os limites máximos tolerados (LMT) de contaminantes em alimentos. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**, Brasília, DF, 06 jul. 2022b.

CATALÁ, R.; GAVARA, R. **Migración de componentes y residuos de envases en contacto con alimentos**. Valencia: Instituto de Agroquímica y Tecnología de Alimentos, 2002.

COMISSÃO DA COMUNIDADE EUROPEIA. Regulamento (UE) N. 10/2011, de 14 de Janeiro de 2011. Relativo aos materiais e objetos de matéria plástica destinados a entrar em contato com os alimentos. **Jornal Oficial da União Europeia**, Bruxelas, L 12, Jan. 2011. 89 p. Disponível em: <https://eur-lex.europa.eu/eli/reg/2011/10>. Acesso em: 19 de dez. 2023.

HORWITZ, W. Evaluation of analytical methods used for regulation of foods and drugs. **Analytical Chemistry**, v. 54, n. 1, p. 67A-76A, 1982.

INMETRO. Coordenação Geral de Acreditação. **DOQ-CGCRE-008**: orientação sobre validação de métodos analíticos. Rio de Janeiro, jun. 2020. 30 p. Revisão nº 09.

KATAN, L. L. **Migration from food contact materials**. 5 ed. London: Blackie Academic & Professional, 1996.

PADULA, Marisa; ITO, Daniele. Embalagem e segurança dos alimentos. **CETEA/ITAL**, v.18, n 2, p1-6, 2006.

ROBERTSON, G. L. **Food packaging: principles and practice**. 3ª ed. New York: Boca Raton, 2013.

SARON SEGANTINI, Elisabete. **Elementos inorgânicos em polímeros: avaliação do teor total e da migração para simulante ácido e refrigerante**. Doutora em Ciências, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, SP, 2017. Disponível em: <<https://repositorio.unicamp.br/Busca/Download?codigoArquivo=506611>>. Acesso em: 26 fev. 2024.