

DETERMINAÇÃO DE ELEMENTOS TÓXICOS EM MATERIAIS PLÁSTICOS METALIZADOS

Eufemia Paez Soares¹, Mitiko Saiki¹ e Hélio Wiebeck²

¹Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares - Laboratório de Análises por Ativação Neutrônica - IPEN-CNEN/SP
Av. Lineu Prestes 2.242

05508-000 Cidade Universitária, São Paulo, SP, Brasil

²Escola Politécnica da Universidade de São Paulo – Caixa Postal 61548
05424-970 Cidade Universitária, São Paulo, SP, Brasil.

RESUMO

No presente trabalho o método de ativação com nêutrons (AAN) foi aplicado na análise de plásticos metalizados de embalagens de alimentos, cosméticos e produtos como CD, cartões de telefone e de identificação. Para análise, estas amostras foram irradiadas, juntamente com os padrões elementares, sob fluxo de nêutrons térmicos do reator IEA-R1. As medidas das atividades gama induzidas nas amostras e padrões foram feitas usando um detector de germânio hiperpuro ligado a espectrômetro de raios gama. Foram determinados, nos plásticos metalizados, os elementos As, Ba, Br, Ca, Cd, Cr, Co, Fe, Ni, Sc, Se, Sb, Sn e Zn e as suas concentrações, em geral, apresentaram uma ampla variabilidade de $\mu\text{g kg}^{-1}$ a níveis de percentagens dependendo do elemento e da amostra. A presença de elementos tóxicos indica a necessidade de selecionar os materiais plásticos para a sua incineração ou reaproveitamento pela reciclagem. O método de AAN utilizado foi altamente viável na análise de plásticos devido ao seu caráter não destrutivo e a possibilidade de uma análise multielementar com uma boa exatidão e precisão dos resultados.

Keywords: metallized plastic, NAA, inorganic compounds, elemental analysis, plastics

I. INTRODUÇÃO

Os materiais plásticos começaram a surgir na metade do século 19 e a partir do início do século 20 houve um grande progresso tecnológico no setor de plásticos, ficando evidente que muitos tipos de materiais como madeira, papel, algodão, pedra e metal, entre outros, poderiam ser substituídos por polímeros [1]. Na década de 90, 30 milhões de toneladas de plástico foram utilizadas para embalagens na forma de sacolas, garrafas, espumas, caixas, ocupando o primeiro lugar entre os maiores faturamentos de embalagens para o setor alimentício [1-3].

Além disso, a metalização de plásticos vem sendo aplicada para aperfeiçoar o acabamento, a decoração e muitas vezes, para melhorar as propriedades das peças. Entre as melhorias de propriedades estão os aumentos da resistência à tração, ao choque, à flexão, melhorar o efeito estético para comercialização, aumento da tolerância à luz e ao calor, estabilidade aos produtos químicos e à corrosão e, também a diminuição da absorção de umidade. As peças plásticas metalizadas, em geral, têm um custo menor que as peças de metal fundidas e proporcionam economia de peso, maior resistência à corrosão e versatilidade de projeto. Os plásticos metalizados vêm sendo utilizados na confecção de

brinquedos, eletrodomésticos, embalagens de alimentos, de cosméticos e muitas outras aplicações [4, 5].

A aplicação crescente de plásticos se deve também ao desenvolvimento de plásticos especiais que suportam grandes esforços e altas temperaturas. Os novos aditivos têm proporcionado propriedades desejadas para cada tipo de peça a ser fabricada. A leveza e versatilidade de moldagem, aliada à possibilidade de metalização, impressão e outras formas de proteção e decoração tornam o uso de materiais plásticos maior a cada dia, principalmente na indústria de automóvel e embalagens.

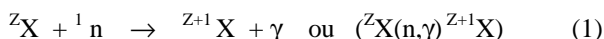
Por outro lado, só na cidade de São Paulo foram coletadas, como lixo urbano, 900 toneladas de embalagens plásticas por dia [6]. Desta forma, as determinações de elementos tóxicos em materiais plásticos passaram, então, a constituir assunto de grande interesse decorrente do crescente uso de plásticos nos mais variados produtos e embalagens. Hoje, existe uma preocupação com o destino dos materiais plásticos, uma vez que estes podem conter elementos tóxicos provenientes de aditivos e de sua metalização.

O objetivo do presente trabalho foi determinar os constituintes inorgânicos presentes em amostras de polímeros metalizados. Estas determinações serão de

grande interesse na seleção de plásticos para reciclagem, incineração ou para um tratamento destes materiais de maneira segura sem ocasionar danos ao meio ambiente. Os elementos foram caracterizados pelo método de análise por ativação com nêutrons instrumental.

II. METODOLOGIA

Análise por Ativação com Nêutrons (AAN). Este método se baseia na medida de radioatividade que é induzida aos elementos da amostra por meio da irradiação com nêutrons. A seqüência de eventos que ocorrem numa reação nuclear típica utilizada na análise por AAN inicia quando um nêutron interage com um núcleo alvo por meio de uma colisão não-elástica e forma-se um núcleo composto num estado excitado. A energia de excitação do núcleo composto é devido à energia de ligação do nêutron com o núcleo. O núcleo composto sofre relaxamento para uma configuração mais estável por meio da emissão de raios gama prontos característicos. Em muitos casos, esta nova configuração produz um núcleo radioativo que também sofre relaxamento por emissão de um ou mais raios-gama de decaimento, mas a uma velocidade mais lenta, de acordo com o tempo de meia-vida do núcleo radioativo. A reação nuclear pode ser representada, genericamente, pela Eq. (1)



A medida da radiação emitida pelo ${}^{Z+1}\text{X}$ permite a análise qualitativa e quantitativa do elemento. A identificação do radioisótopo formado é feita pela energia gama e meia vida. A atividade induzida em taxas de contagens a um elemento após certo tempo de irradiação é dada pela Eq. (2) [7]:

$$A = z \phi \sigma N m f [1 - e^{-0,693ti/t_{1/2}}] / M \quad (2)$$

onde: A = atividade em taxa de contagens; z = coeficiente de detecção ou eficiência do detector; ϕ = fluxo de nêutrons, $\text{n cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$; σ = secção de choque para nêutrons térmicos em cm^2 ; N = número de Avogadro; m = massa do elemento; f = abundância isotópica do nuclídeo alvo; M = massa atômica do elemento; t_i = tempo de irradiação; $t_{1/2}$ = tempo de meia-vida do radionuclídeo considerado.

Considerando a Eq. (2), para amostra e padrão, que foram irradiados e medidos na mesma geometria, para o tempo $t_d=0$, obtém-se as Eq. (3) e (4)

$$A_a^0 = z\phi\sigma N m_a f [1 - e^{-0,693ti/t_{1/2}}] / M \quad (3)$$

$$A_p^0 = z\phi\sigma N m_p f [1 - e^{-0,693ti/t_{1/2}}] / M \quad (4)$$

dividindo-se estas equações obtidas membro a membro, tem-se:

$$A_a^0/A_p^0 = m_a/m_p \quad (5)$$

onde os índices a e p referem-se a amostra e padrão, respectivamente, e A^0 é atividade para o tempo de decaimento $t_d=0$.

Escrevendo a Eq. (5) em termos de concentração, pode-se obter a concentração do radionuclídeo na amostra como se pode observar na Eq. (6)

$$C_a = m_p \cdot A_a \cdot e^{0,693(t_{da} - t_{dp})t_{1/2}} / A_p \cdot M_a \quad (6)$$

onde: M_a = massa total de amostra; C_a = concentração do elemento na amostra ($C_a = m_a/M_a$); t_d = tempo de decaimento e A são as taxas de contagens para o tempo de decaimento t_d .

III. PARTE EXPERIMENTAL

Amostras de Plástico e sua Limpeza para Análise.

As amostras consistiram de embalagens de alimentos, cosméticos e perfumes, discos compactos - CD, cartões de telefone e de identificação, que receberam os códigos AE (alimentos), CP (cosméticos e perfumes) e AC (cartões e discos compactos - CD). Estas amostras foram lavadas com água deionizada e em seguida foram esfregadas com chumaços de algodão embebidos com hexano p.a. Para AAN as amostras foram cortadas em fragmentos de dimensões menores que 1 cm x 1 cm.

Soluções Padrão de Elementos. Foram utilizadas soluções padrão de As, Ba, Ca, Co, Cr, Fe, Ni, Sb, Sc, Se e Sn adquiridas prontas para uso da Spex Certiprep. As soluções padrão de Br, Cd e Zn foram preparadas no laboratório dissolvendo o elemento na forma metálica ou sal com reagentes convenientes. A partir destas soluções preparou-se soluções padrão mistas ou individuais.

Preparação de Padrões de Elementos para Irradiação.

Para a irradiação, prepararam-se padrões sintéticos simples e multielementares. Para isto 50 ou 100 μL destas soluções foram pipetadas sobre tiras de papel de papel filtro Whatman nº 41, de dimensões 1,2 cm x 2,0 cm e posterior secagem destas tiras num dessecador a temperatura ambiente. Na Tabela 1, estão as massas de cada um dos elementos dos padrões utilizados.

TABELA 1. Massas dos Padrões Elementares Utilizados

Código do padrão	Elementos e massas (μg)		
B	Br= 5,1		
BNS	Ba= 49,90	Ni= 50,15	Sn= 50,20
CAS	As= 1,5	Cr= 1,497	Sb=0,601 Se= 8,0
FZC	Ca= 501,70	Fe= 501,70	Zn= 34,608
SC	Cd= 3,507	Co= 0,0999	Sc= 0,0601

Procedimento para Análise por Ativação com Nêutrons.

Cerca de 100 mg de cada amostra, pesados em invólucros de polietileno foram irradiados no reator IEA-R1 do IPEN/CNEN/SP por um período de 16 horas e sob um fluxo de nêutrons térmicos de $10^{12} \text{ n cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$, juntamente com padrões sintéticos dos elementos. Após cerca de cinco dias

de decaimento as amostras e padrões foram montados em pranchetas (panelinhas) de aço inoxidável para a medida de atividades gama. A primeira medida foi efetuada após uma média de 5 dias de decaimento e a segunda contagem após uma média de 10 dias de decaimento. Cada padrão foi medido por um período de 5400 a 6000 segundos e cada amostra de 25000 a 50000 segundos. As medidas foram realizadas no sistema Canberra, constituído de um detector de Ge hiperpuro (modelo GX2020), o qual está acoplado ao processador integrado de sinais modelo 1510 e a placa S100, ambos da Canberra. A resolução do sistema (FWHM) utilizado foi de 0,80 keV para fotopico 121,97 keV de ^{57}Co e 1,80 keV para fotopico de 1331,49 keV da fonte de ^{60}Co .

Para a aquisição dos espectros utilizou-se o programa S100 da Canberra e para processamento dos dados de contagem o programa VERSAO2, uma nova versão do programa VISPECT2 [8]. A identificação dos radioisótopos foi feita pela meia vida e energia dos raios gama. As concentrações dos elementos foram calculadas pelo método comparativo utilizando a Eq.(6).

Análise dos Materiais Certificados. A principal dificuldade na avaliação da precisão e exatidão dos resultados da análise de materiais plásticos é a escassez de material de referência certificada para uma matriz a plástico, para comercialização. Foram analisados neste trabalho os mais variados tipos de materiais certificados de referência, a saber: NIST 1577b Bovine Liver do National Institute of Standards and Technology - NIST; MESS-1-Marine Sediment e BCSS-1 Marine Sediment do National Research Council - NRC, Polietilenos VDA 002, VDA 003 e IMEP-10 do Institute for Reference Materials and Measurements - IRMM e de ligas metálicas Padrão 10 e Padrão 15 proveniente do Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo - IPT.

Para expressar os resultados das análises do material NIST 1577b Bovine Liver na base seca deste material, foi

determinada a porcentagem de perda de peso na base seca, por meio de secagem de cerca de 200 mg do material a 85 °C, numa estufa por um período de 4 horas, onde foi obtido o valor de 4,53% de perda em peso. Para os demais materiais de referência estas perdas foram desprezíveis, por se tratarem de materiais pouco higroscópicos.

As condições experimentais utilizadas na análise dos materiais de referência foram as mesmas daquelas das análises das amostras de plástico com exceção do tempo de irradiação que foi de 8 horas e as massas pesadas foram cerca de 100 mg para o material certificado Bovine Liver, 50 mg para o MESS-1- Marine Sediment e BCSS-1 - Marine Sediment e para materiais de referência de Polietileno e 30 mg para as ligas metálicas do IPT.

IV. RESULTADOS E DISCUSSÃO

As Tabelas 2 e 3 apresentam os resultados das análises de As, Ba, Br, Ca, Cd, Co, Cr, Fe, Ni, Sb, Sc, Se, Sn e Zn em embalagens plásticas metalizadas de diferentes tipos de alimentos e cosméticos. Para algumas amostras nem todos estes elementos foram detectados, devido às suas baixas concentrações ou interferências na análise. Também se verificou que há uma grande variabilidade entre as concentrações elementares. Os elementos tóxicos Sb e Cr foram encontrados em todas as amostras em teores que variaram de 4 $\mu\text{g kg}^{-1}$ a 44 $\mu\text{g g}^{-1}$ para o Sb e 0,120 a 162 $\mu\text{g g}^{-1}$ para o Cr. Os elementos tóxicos As, Cd e Ni foram encontrados em algumas embalagens plásticas em teores menores que 0,4 $\mu\text{g g}^{-1}$ para As, 1 $\mu\text{g g}^{-1}$ para Cd, 13 $\mu\text{g g}^{-1}$ para Ni. As amostras de embalagens de cosméticos (CP1 e CP7) apresentaram as mais altas concentrações para a maioria dos elementos analisados (Tabela 3).

TABELA 2. Concentrações de elementos obtidos em embalagens plásticas metalizadas de diferentes tipos de alimentos

ELEMENTO ($\mu\text{g g}^{-1}$)	EMBALAGENS DE ALIMENTOS				
	AE1	AE2	AE3	AE4	AE5
As	– ^a	0,138 ± 0,006 ^b	0,191 ± 0,004	–	–
Ba	–	35 ± 4	280 ± 5	–	–
Br	0,55 ± 0,02	0,682 ± 0,008	1,65 ± 0,07	1,56 ± 0,07	1,75 ± 0,01
Ca	–	306 ± 77	–	–	–
Cd	–	1,0 ± 0,1	–	–	–
Co	–	0,179 ± 0,005	0,024 ± 0,003	0,230 ± 0,006	3,92 ± 0,05
Cr	0,24 ± 0,03	163 ± 2	2,22 ± 0,09	0,17 ± 0,07	1,44 ± 0,04
Fe	12,1 ± 0,9	–	25 ± 2	–	918 ± 7
Ni	–	–	1,9 ± 0,7	–	13 ± 1
Sb	0,0072 ± 0,0006	36,3 ± 0,1	17,12 ± 0,06	44,3 ± 0,1	0,054 ± 0,001
Sc	0,0021 ± 0,0002	0,1294 ± 0,0007	0,1355 ± 0,0007	0,0742 ± 0,0007	0,0224 ± 0,0007
Se	0,04 ± 0,01	3,59 ± 0,08	2,19 ± 0,07	3,16 ± 0,09	0,09 ± 0,03
Zn	639 ± 2	10,1 ± 0,2	23,1 ± 0,3	13,7 ± 0,2	1088 ± 5

^a – elemento não foi detectado.

^b A incerteza devido aos erros de medidas considerando-se as taxas de contagens do padrão e amostra.

TABELA 3. Concentrações de elementos obtidos em embalagens plásticas metalizadas de cosméticos

ELEMENTO ($\mu\text{g g}^{-1}$)	EMBALAGENS PLÁSTICAS METALIZADAS DE COSMÉTICOS							
	CP1	CP2	CP3	CP4	CP5	CP6	CP7	CP8
As	0,386 ± 0,006	0,0059 ± 0,0006	0,19 ± 0,02	0,0014 ± 0,0006	0,0044 ± 0,0005	0,005 ± 0,001	0,087 ± 0,004	0,0027 ± 0,0009
Ba	181 ± 4	–	14 ± 1	–	–	–	908 ± 7	–
Br	0,431 ± 0,009	0,359 ± 0,007	0,120 ± 0,003	0,095 ± 0,004	0,315 ± 0,005	0,63 ± 0,04	3,04 ± 0,01	0,15 ± 0,02
Ca	148 ± 47	158 ± 23	254 ± 32	208 ± 16	134 ± 14	–	675 ± 80	66 ± 17
Cd	518 ± 8	–	–	–	–	–	26,4 ± 0,5	–
Co	3,61 ± 0,05	2,59 ± 0,04	0,079 ± 0,003	0,018 ± 0,001	0,038 ± 0,002	3,28 ± 0,03	8,46 ± 0,08	1,99 ± 0,03
Cr	54,9 ± 0,6	0,98 ± 0,02	0,12 ± 0,03	0,121 ± 0,009	2,59 ± 0,03	5,18 ± 0,05	0,13 ± 0,03	0,08 ± 0,01
Fe	34 ± 2	58 ± 2,1	7 ± 2	6,4 ± 0,7	19 ± 1	20 ± 1	20 ± 2	23 ± 2
Sb	5,89 ± 0,05	0,0150 ± 0,0005	0,077 ± 0,002	0,0038 ± 0,0003	0,0080 ± 0,0002	0,018 ± 0,001	0,465 ± 0,006	0,0076 ± 0,0009
Sc	0,1140 ± 0,0008	0,0014 ± 0,0002	0,0455 ± 0,0005	0,00045 ± 0,00009	0,0050 ± 0,0001	0,0198 ± 0,0002	0,0149 ± 0,0004	0,0117 ± 0,0003
Se	33,0 ± 0,1	–	2,23 ± 0,04	–	–	0,04 ± 0,01	0,87 ± 0,04	–
Zn	593 ± 3	10,4 ± 0,2	152 ± 1	14,5 ± 0,2	4 ± 1	107,6 ± 0,5	14,6 ± 0,2	138,8 ± 0,7

Na Tabela 4 estão os resultados das análises de duas amostras de cada um dos materiais: discos CD, cartões de telefone e identificação. Conforme mostra a Tabela 4, no plástico metalizado dos discos CD foram encontrados os elementos Ba, Br, Ca, Co, Cr, Sb, Sc e Zn em concentrações relativamente baixas. Já nas análises dos cartões de telefone (AC6 e AC7) foram detectados os elementos tóxicos com As, Ni e Sn. Os teores de Ni encontrados foram da ordem de 0,1% e os de Sn foram da ordem de 7,3%. Os cartões de identificação indicaram a presença dos elementos tóxicos As, Cd, Sb e Sn.

Análises de Materiais Referência. As médias dos resultados obtidos nas análises dos materiais de referência NIST- 1577b Bovine Liver, MESS-1 e BCSS-1 Marine

Sediment, Polietilenos VDA002, VDA003 e IMEP-10 e de ligas metálicas Amostra Padrão 10 e a 15 IPT, são apresentadas na Tabela 5, juntamente com os valores certificados. Estes resultados apresentam, para a maioria dos elementos, uma boa concordância com os valores certificados, com porcentagens de erros relativos inferiores a 14 % e boa precisão, com desvios padrões relativos variando de 0,1 a 8,9 %. Os resultados menos exatos com porcentagens de erros superiores a 14% foram obtidos para o elemento Ni no material BCSS-1 e Se no NIST- 1577b, devido às baixas taxas de contagens obtidas nas medidas destes materiais. Para avaliar a exatidão e a precisão dos resultados dos materiais de referência calculou-se, também,

TABELA 4. Concentrações de elementos em discos compactos - CD, cartões plásticos metalizados de telefone e cartões metalizados de identificação

ELEMENTO ($\mu\text{g g}^{-1}$)	DISCOS CD		CARTÕES DE TELEFONE		CARTÕES DE IDENTIFICAÇÃO	
	AC4	AC5	AC6	AC7	AC8	AC9
As	0,0013 ± 0,0005	–	0,75 ± 0,04	0,78 ± 0,07	0,195 ± 0,005	0,678 ± 0,004
Ba	2,3 ± 0,6	379 ± 3	23874 ± 212	613 ± 7	383 ± 6	338 ± 5
Br	0,276 ± 0,008	0,45 ± 0,01	0,72 ± 0,02	2,18 ± 0,04	1,00 ± 0,04	4,38 ± 0,01
Ca	31 ± 12	68 ± 15	7938 ± 201	9430 ± 249	18950 ± 467	6200 ± 234
Cd	–	–	–	37,2 ± 0,3	761 ± 4	2,6 ± 0,3
Co	0,022 ± 0,001	0,016 ± 0,001	1,43 ± 0,020	0,7 ± 0,1	0,84 ± 0,02	0,152 ± 0,008
Cr	0,166 ± 0,008	0,45 ± 0,01	8,6 ± 0,1	7,3 ± 0,1	0,50 ± 0,05	0,27 ± 0,03
Fe	1,7 ± 0,4	–	9 ± 2	11 ± 2	21 ± 2	10 ± 2
Ni	–	–	1115 ± 6	1033 ± 6	21693 ± 69	1775 ± 19
Sb	0,1552 ± 0,0008	0,0038 ± 0,0003	0,430 ± 0,003	0,457 ± 0,003	0,176 ± 0,001	0,1561 ± 0,0008
Sc	–	–	0,177 ± 0,001	0,166 ± 0,001	1,37 ± 0,09	6,52 ± 0,05
Se	–	–	4,40 ± 0,09	9,57 ± 0,09	2,03 ± 0,03	3,77 ± 0,06
Sn	2,9 ± 0,5	1,0 ± 0,5	69176 ± 814	78626 ± 922	4,2 ± 0,3	5,5 ± 0,2
Zn	5,28 ± 0,07	5,81 ± 0,07	3,5 ± 0,1	5,3 ± 0,4	–	–

o valor de z-score [9]. Os valores de z calculados a partir dos resultados obtidos variaram entre $-1,69$ e $+1,94$, isto é, os z obtidos estão entre $-3 < z < +3$, indicando que os resultados obtidos estão dentro da faixa dos valores

certificados a um nível de confiança de 99%. Não foram calculados os erros relativos e os valores de z-score para os elementos que representaram apenas valores informativos.

TABELA 5. Concentrações dos Elementos nos Materiais de Referência.

Elemento	Material de ref. ^a	Unidade	Este Trabalho $\bar{x} \pm s^b$	Valores certificados ^c	E_r^d , %	S_r^e , %	z-score
As	1	$\mu\text{g g}^{-1}$	$11,2 \pm 0,2$	$11,1 \pm 1,4$	0,9	2,0	0,07
	2	$\mu\text{g g}^{-1}$	$11,2 \pm 0,4$	$10,6 \pm 1,2$	5,3	3,5	0,44
	6	$\mu\text{g g}^{-1}$	$9,45 \pm 0,08$	$9,61 \pm 0,57$	1,6	0,8	-0,27
	8	%	$0,0037 \pm 0,0002$	(0,004)	--	5,4	---
Br	3	$\mu\text{g g}^{-1}$	$9,51 \pm 0,04$	(9,7)	---	0,4	---
	6	$\mu\text{g g}^{-1}$	$308,4 \pm 0,5$	280 ± 24	10,2	0,2	1,18
Ca	1	$\mu\text{g g}^{-1}$	5026 ± 233	5432 ± 529	7,5	4,6	-0,70
	3	$\mu\text{g g}^{-1}$	105 ± 14	116 ± 4	9,5	13	-0,76
Cd	3	$\mu\text{g g}^{-1}$	$0,49 \pm 0,07$	$0,50 \pm 0,03$	1,0	14	-0,07
	4	$\mu\text{g g}^{-1}$	$72,9 \pm 0,3$	$75,9 \pm 2,1$	4,0	0,1	-1,43
	5	$\mu\text{g g}^{-1}$	$197,8 \pm 0,8$	$191,9 \pm 4,8$	3,1	0,4	1,22
	6	$\mu\text{g g}^{-1}$	$108,9 \pm 1,0$	$119,72 \pm 6,29$	9,0	8,9	-1,69
Co	1	$\mu\text{g g}^{-1}$	$11,20 \pm 0,06$	$11,4 \pm 2,1$	1,8	5,4	-0,10
	2	$\mu\text{g g}^{-1}$	$9,8 \pm 0,07$	$10,8 \pm 2,1$	9,4	0,7	-0,53
	3	$\mu\text{g g}^{-1}$	$0,297 \pm 0,003$	(0,25)	---	1,0	---
Cr	1	$\mu\text{g g}^{-1}$	$135,9 \pm 0,5$	123 ± 14	10,5	0,4	0,92
	2	$\mu\text{g g}^{-1}$	$69,8 \pm 0,3$	71 ± 11	1,6	0,5	1,10
	6	$\mu\text{g g}^{-1}$	$95,6 \pm 1,7$	$100,9 \pm 5,7$	5,2	1,8	-0,89
Fe	1	$\mu\text{g g}^{-1}$	32700 ± 62	32872 ± 979	0,5	0,2	0,18
	2	$\mu\text{g g}^{-1}$	29126 ± 92	30494 ± 1748	4,5	0,3	-0,78
	3	$\mu\text{g g}^{-1}$	181 ± 2	184 ± 15	1,4	1,1	-0,17
	7	%	$0,449 \pm 0,006$	(0,42)	--	1,3	---
	8	%	$0,019 \pm 0,001$	(0,022)	--	5,3	---
Ni	1	$\mu\text{g g}^{-1}$	$64,8 \pm 3,3$	$55,3 \pm 3,6$	17,2	5,1	1,94
	7	%	$0,175 \pm 0,003$	(0,19)	--	1,7	---
	8	%	$0,031 \pm 0,001$	(0,035)	--	3,2	---
Se	3	$\mu\text{g g}^{-1}$	$0,85 \pm 0,02$	$0,73 \pm 0,06$	16,3	2,5	1,87
Sb	7	%	$0,0957 \pm 0,0003$	(0,10)	--	0,3	---
	8	%	$0,0455 \pm 0,0002$	(0,053)	--	0,4	---
Sn	7	%	$4,21 \pm 0,06$	(4,70)	--	1,4	---
Zn	1	$\mu\text{g g}^{-1}$	$116,4 \pm 0,5$	119 ± 12	2,2	0,5	-0,21
	2	$\mu\text{g g}^{-1}$	$179,5 \pm 0,6$	191 ± 17	6,0	0,4	-0,68
	3	$\mu\text{g g}^{-1}$	$125,8 \pm 0,3$	127 ± 16	0,9	0,2	-0,07
	7	%	$5,92 \pm 0,03$	(5,51)	--	0,5	---
	8	%	$0,1715 \pm 0,0009$	(0,18)	--	0,5	---

a. 1- NRC-BCSS-1 Marine Sediment; 2 - NRC-MESS-1 Marine Sediment; 3 - NIST-1577b Bovine Liver; 4 - Polietileno VDA 002-IRMM; 5 - Polietileno VDA 003-IRMM; 6 - Polietileno IMEP-10-IRMM; 7 - IPT Amostra Padrão 10; 8 - IPT Amostra Padrão 15;

b. $\bar{x} \pm s$ - média aritmética e desvio padrão de 3 a 8 determinações;

c. Números entre parênteses indicam valores informativos;

d. E_r - Percentagem de erro relativo;

e. S_r - desvio padrão relativo.

V. CONCLUSÕES

Certos tipos de embalagens metalizadas de cosméticos, assim como os cartões telefônicos, podem constituir uma fonte de contaminação ambiental de elementos tóxicos como Cd, Ni e Sn.

A AAN foi adequada na caracterização dos componentes inorgânicos em plásticos metalizados devido principalmente ao seu caráter multielementar e possibilidade de análise de uma ampla faixa de concentrações, sem a necessidade de dissolução das amostras que, no caso de plásticos metalizados, é bastante difícil. Os resultados dos materiais de referência, apresentaram uma boa precisão e exatidão.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à Escola SENAI Mario Amato, à FAPESP e ao CNPq.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] MULDER, K. F., **Sustainable Consumption and Production of Plastics?** Technological Forecasting and Social Change, v.58, p.105-124, 1998.
- [2] SPIETH, E.H., **Mercado Brasileiro de Plásticos** – In: I Congresso Brasileiro de Polímeros, Assoc. Bras. Pol. **Anais**. SP: ABPol, p. 30 -34, 1991.
- [3] SINO, M.A., **Plástico Lidera as Vendas de Material de Embalagem**, Plástico Moderno, n. 254, p.12 - 22, 1995.
- [4] WIEBECK, H., HARADA, J., ARAÚJO, S.C., **Acabamentos em Artefatos de Plástico**, São Paulo: Projeto Atual-Tec - CECAE/USP , s.d.
- [5] SANTINI, M.C., TEIXEIRA, L.A. – **Condicionamento de Superfícies de Plásticos ABS para**

Metalização - In **Anais** do 56° Congresso Anual da Associação Brasileira de Metalurgia.. MG: ABM, p. 30-38, 2001.

[6] IPT/CEMPRE – **Lixo Municipal – Manual de Gerenciamento Integrado** – 2ed. São Paulo: IPT/CEMPRE, 2000.

[7] DE SOETE, D., GILBELS, R., HOSTE, J., **Neutron Activation Analysis**, New York: Wiley-Interscience, p.140, 1972.

[8] PICCOT, D., Comunicação pessoal.

[9] BODE, P., **Instrumental and Organizational Aspects of a Neutron Activation Analysis Laboratory**. The Netherlands: Interfacultair Reactor Instituut (Doutorado), 1996.

ABSTRACT

In this work, neutrons activation analysis (NAA) was applied in the analysis of metallized plastics from packagings of foods and cosmetics as well as in products as compact disk (CD), phone and identification cards. These samples were adequately cleaned and prepared for irradiation under thermal neutrons flux of IEA-R1 nuclear reactor with elemental standards. The gamma ray measurements were carried out using an HGe detector connected to a gamma ray spectrometer. Elements as As, Ba, Br, Ca, Cd, Cr, Co, Fe, Ni, Sc, Se, Sb, Sn and Zn were determined in metallized plastic samples and these results presented a large variability from $\mu\text{g kg}^{-1}$ to percentage levels; depending on the element and the sample. The presence of toxic elements indicated the necessity of selecting plastic materials for their incineration or recovery by recycling. NAA method used was highly suitable in the plastic analysis due to its non-destructive character and the possibility of a multielemental analysis with a good accuracy and precision of the results.