

APLICAÇÃO DA TÉCNICA DE CROMATOGRAFIA DE EXTRAÇÃO NA SEPARAÇÃO DE ELEMENTOS TRANSURÂNICOS

Terezinha A. Kuada; *Maria Cláudia F.C. Felinto; Mitiko Yamaura
Harko T. Matsuda, Bertha F. Araújo
Comissão Nacional de Energia Nuclear - IPEN-CNEN/SP
Travessa R, 400 - Cidade Universitária
05508-900, São Paulo, SP

RESUMO

A técnica de cromatografia de extração vem sendo muito aplicada na separação de urânio e dos TRU's, dada a possibilidade de combinar a seletividade dos agentes extratores com a facilidade de operação em coluna. Neste trabalho apresenta-se uma revisão dos principais trabalhos encontrados na literatura, bem como os materiais cromatográficos preparados nos laboratórios da Divisão de Química Quente do IPEN, visando sua aplicação na partição de U, Np, Pu, Am, Cm ao nível de traços, de rejeitos de alta atividade.

INTRODUÇÃO

Nos processos de tratamento do combustível nuclear irradiado geram-se vários tipos de rejeitos, classificados em três categorias: rejeitos de alta atividade (HAW), média atividade (IAW) e os rejeitos de baixa atividade (LAW). Na Tabela 1 tem-se as composições dos rejeitos de alta atividade provenientes de combustíveis de reatores tipo LWR, HTGR e LMFBR[1].

O crescente interesse em relação à proteção do meio ambiente focaliza a necessidade de uma nova avaliação nos processos de separação de urânio e plutônio do combustível nuclear irradiado, bem como nos processos de disposição dos rejeitos radioativos. Um dos conceitos atuais em estudo em vários países, é o conceito de partição e transmutação[2,3]. A partição tem como objetivo a separação dos elementos transurânicos (TRU's) e produtos de fissão (PF) de meia-vida longa de rejeitos de média e alta atividade, visando a diminuição do volume e minimização dos problemas durante a estocagem e/ou disposição de rejeitos. A transmutação é um processo atualmente em estudo, visando a transformação desses elementos de meia-vida longa em outros de meia vida curta ou estáveis, por interação com neutrons nos reatores nucleares. Para a transmutação neutrônica dos produtos de fissão, é necessário um fluxo de neutrons da ordem de 10^{16} - 10^{17} neutrons/cm².s. Por outro lado, os isótopos dos TRU's podem ser transmutados nos reatores atualmente disponíveis[2,3].

Considerando-se esses aspectos, o Departamento de Engenharia Química/Supervisão de Química Quente do IPEN iniciou os trabalhos de P & D em partição de TRU's e dos PF de rejeitos líquidos de alta atividade.

Neste trabalho, como uma contribuição inicial, apresenta-se um resumo de técnicas empregadas na partição desses núclídeos bem como os estudos preliminares da viabilidade de se utilizar a técnica de cromatografia de extração na recuperação destes elementos.

TÉCNICAS DE SEPARAÇÃO

Cromatografia de Troca Iônica. Os métodos de cromatografia de troca iônica são conhecidos e usados na separação e identificação dos elementos TRU's. Dados importantes com relação ao comportamento desses elementos nos trocadores orgânicos ou inorgânicos em soluções de ácidos inorgânicos contendo vários agentes complexantes, bem como aplicações dessas técnicas para resolução de problemas práticos apresentam-se resumidas em várias monografias[4,5].

Recentes dados tem sido publicados na literatura utilizando-se a cromatografia de troca iônica principalmente para separação e concentração de elementos transplutônios (TPE) trivalentes e produtos de fissão[6,7,8]

Tabela 1 Composição típica do rejeito líquido de alta atividade proveniente do reprocessamento de combustíveis irradiados de reatores tipo LWR, LMFBR e HTGR[1].

| Material | grama/MT de reator tipo | | | |
|-----------------------------|-------------------------|----------------|----------------|---------|
| | LWR | HTGR | LMFBR | |
| Reprocessamento químico | Hidrogênio | 400 | 3.800 | 1.300 |
| | Ferro | 1.100 | 1.500 | 26.200 |
| | Níquel | 100 | 400 | 3.300 |
| | Crômio | 200 | 300 | 6.900 |
| | Silicone | - | 200 | - |
| | Lítio | - | 200 | - |
| | Boro | - | 1.000 | - |
| | Molibdênio | - | 40 | - |
| | Alumínio | - | 6.400 | - |
| | Cobre | - | 40 | - |
| | Borato | - | - | 98.000 |
| | Nitrato | 65.800 | 435.000 | 244.000 |
| | Fosfato | 900 | - | - |
| | Sulfato | - | 1.100 | - |
| Fluoreto | - | 1.900 | - | |
| Sub-total | 68.500 | 452.000 | 380.000 | |
| Perdas do combustível | Urânio | 4.800 | 250 | 4.300 |
| | Tório | - | 4.200 | - |
| | Plutônio | 40 | 1.000 | 500 |
| Sub-total | 4.840 | 5.450 | 4.800 | |
| Elementos Transurânicos (g) | Neptúnio | 480 | 1.400 | 260 |
| | Americio | 140 | 30 | 1.250 |
| | Cúrio | 40 | 10 | 50 |
| Sub-total | 660 | 1.440 | 1.560 | |
| Outros Actinídeos (g) | < 0,001 | 20 | < 0,001 | |
| Produtos de Fissão | 28.800 | 79.400 | 33.000 | |
| TOTAL | 103.000 | 538.000 | 419.000 | |

* Bolsista do RHA/CNPq

Extração por Solventes. A técnica de extração por solventes é largamente empregada na separação de elementos TRU's e de produtos de fissão de rejeitos líquidos. Diversos tipos de agentes extratores como compostos organofosforados, aminas, agentes quelantes, etc., ou a mistura destes compostos (extração sinérgica) são largamente usados.

- **Compostos Organofosforados Monofuncionais.** Dentre os reagentes organofosforados monofuncionais, o fosfato de tri-n-butila (TBP), os óxidos de fosfina (TOPO), os ácidos dialquil fosfóricos, particularmente, o ácido di-2-etilhexilfosfórico (HDEHP), são os mais utilizados para a extração de elementos TRU's[9,10,11].

- **Reagentes Organofosforados Bifuncionais.** Outra classe de agentes extratores utilizados mais recentemente são os reagentes organofosforados bifuncionais (bidentados). Dentre eles, o dihexil-N,N-dietilcarbamoilmetil-fosfonato (CMP) e o óxido octil(fenil)-N,N-diisobutylcarbamoilmetilfosfina (CMPO) são os mais seletivos para os elementos transurânicos, especialmente à separação de Am e Cm de soluções de rejeitos altamente ácidos[8,12].

- **Aminas e Sais de Amônio.** As aminas, especialmente as terciárias (TOA e TIOA) e sais de amônio quaternário são igualmente usados para a separação dos elementos TRU's[13,14].

- **Reagentes Diamidas Bifuncionais.** As diamidas bifuncionais, particularmente, a 2,3-propano diamida, também é utilizada para a separação de actínídeos, incluindo o Am e Cm trivalentes, de soluções nítricas de rejeitos radioativos[15].

- **Reagentes Macrocíclicos.** Com a descoberta dos "crown ethers", a química, em particular na área de coordenação, recebeu um notável impulso. Esta família de ligantes macrocíclicos tem apresentado resultados satisfatórios quando utilizados como agentes extratores na química de separação.

Os "crown ethers" tem um alto grau de seletividade, o que lhes favorece a capacidade de enriquecer, separar e determinar as concentrações dos íons que os hospedam. O tamanho da cavidade da coroa destes ligantes é um fator preponderante na formação dos complexos e extração dos metais.

Na área nuclear, os "crown ethers" são usados como sequestradores de Cs⁺ e Sr²⁺[8,16].

- **Mistura de Compostos (Efeito Sinérgico).** Na separação de actínídeos os sistemas de extração sinérgicos são de grande interesse, onde, com combinação de dois ou mais agentes extratores se obtém maior distribuição de um determinado metal comparado àquela obtida pela soma dos coeficientes de distribuição obtidos individualmente.

Essa combinação de agentes extratores para aumentar a eficiência de extração de actínídeos é muito usada, especialmente, na separação dos pares Am/Cm, Am/Eu e U/Mo [8,17,18].

Membranas Líquidas. Novos caminhos tem sido abertos na separação dos elementos transurânicos pela utilização das membranas líquidas em suportes (SLM). As vantagens dessa técnica em relação à extração líquida consiste no baixo consumo do agente extrator, muitas vezes de custo elevado, e o alto grau de separação e concentração obtidos. Em alguns casos, o processo de extração com membranas são mais seletivos. O inconveniente da extração com membrana é que esse processo é lento e, em muitos casos, não é um processo contínuo. Os campos elétricos podem acelerar consideravelmente a transferência de massa através das membranas. Este processo é mais eficiente para o processamento de soluções altamente diluídas, como no caso dos rejeitos radioquímicos. Um processo muito eficiente para isolar e separar os elementos é a combinação da extração com membranas com a utilização das reações de oxi-redução[8,10,19].

Precipitação e Co-precipitação. Os métodos de precipitação e co-precipitação foram muito utilizados durante os primeiros estágios da pesquisa dos elementos transplutônios, quando as suas propriedades foram estudadas para sua separação e pré-concentração de diferentes materiais e para a separação de impurezas.

Estes métodos também são úteis para a separação dos elementos transplutônios em diferentes estados de oxidação[8,9,20].

Cromatografia de Extração. A cromatografia de extração é uma técnica simples muito aplicada à separação de elementos

transurânicos, especialmente daqueles presentes no rejeito em concentrações muito baixas e de difícil separação. O método combina, com sucesso, as vantagens da extração com solventes (seletividade) e as facilidades de operação em coluna. A separação é baseada na diferença de distribuição dos íons entre dois líquidos imiscíveis, um dos quais é móvel, e o outro é fixo em um suporte.

O fosfato de tri-n-butila (TBP)[21], os ácidos alquilfosfóricos, em particular o HDEHP[22], os sais de amônio terciários[23] e quaternários[24] ou misturas de agentes extratores são usados como fase orgânica durante a isolamento e separação dos elementos transplutônios. A sílica-gel silicizada, o teflon finamente dispersado, o kieselguhr, as terras diatomáceas e os vidros são usados como suportes. Os ácidos inorgânicos e suas soluções salinas são usados como eluentes durante a separação dos elementos transplutônios, e as soluções de tiocianato de amônio são usadas durante a separação dos elementos das terras raras em grupos. Os dados da separação dos TPE são sumarizados em monografias de BRAWN & CHERSINI[25]. Atualmente, os trabalhos tem sido direcionados utilizando os compostos organofosforados bifuncionais tais como o CMP e o CMPO[26,27] e os ligantes macrocíclicos como os "crown ethers"[28,29], impregnados em suportes inertes como Kieselguhr, Amberlite XAD, Biobeads, Amberchrom C.G.

Os efeitos sinérgicos das misturas de agentes extratores tem sido usados em um grande número de experimentos, a fim de aumentar a efetividade da separação dos TPE por cromatografia de extração[30,31].

Dentre as técnicas de separação apresentadas, a MQQ do IPEN/ CNEN-SP iniciou os trabalhos de P & D em partição, usando a técnica de cromatografia de extração, baseado-se nas experiências acumuladas no Instituto ao longo de vários anos de pesquisa na área de cromatografia de troca iônica[32,33,34] e em cromatografia de extração de actínídeos[35,36].

PARTE EXPERIMENTAL

Iniciaram-se os trabalhos de P & D em partição de TRU de rejeitos líquidos com a preparação de material cromatográfico, sua caracterização e testes operacionais em coluna. Nesta fase, utilizaram-se como fase estacionária os solventes tradicionais como TBP (Merck), TOA (Fluka), Aliquat-336 (Aldrich), TIOA (Koch-Light), HDEHP (Fluka) e TOPO (Química Moderna) e como materiais de suporte o Kieselguhr (Merck), Kel-F (Merck), Sílica-gel (Merck), Cromossorb WAW-DMCS (Merck), Levetrel (Bayer) e Biobeads (Bio Rad).

Fixação da Fase Estacionária no Material de Suporte. Fez-se a impregnação da fase estacionária em material de suporte, contactando-se quantidades variáveis do agente extrator diluído em metanol ou etanol, à quantidade conhecida e fixa do material de suporte. O excesso do solvente foi eliminado por evaporação em corrente de nitrogênio, à temperatura ambiente.

Determinação da Razão de Distribuição. Realizaram-se os testes preliminares para determinação da razão de distribuição por grama de resina, em batch, contactando-se a solução aquosa de nitrato de urânio contendo concentrações conhecidas de urânio e traços de tório, com o material cromatográfico. Utilizou-se, nesses experimentos, uma relação fase estacionária/suporte bem abaixo do limite máximo, a fim de se evitar o arraste do agente extrator pela fase móvel.

DISCUSSÃO E CONCLUSÕES

Dentre os sistemas cromatográficos estudados, verificou-se que o Levetrel e o Biobeads foram os materiais de suporte que apresentaram a capacidade de retenção maior, tanto de compostos organofosforados quanto de aminas usadas como fase estacionária. A Tabela 2 mostra a capacidade limite de impregnação para cada material cromatográfico preparado.

O comportamento de cada um dos materiais cromatográficos preparados foi verificado mediante a determinação do coeficiente de distribuição, em operação "batch", com solução de nitrato de urânio contendo traços de tório. Para esses experimentos, selecionaram-se sistemas constituídos por Levetrel ou Biobeads como material suporte, mantendo-se a relação fase estacionária/material suporte de 40-50% m/m, dependendo do material cromatográfico. Os resultados encontram-se nas Tabelas 3 e 4 e são resultados parciais da fase inicial dos trabalhos de um programa de P & D em partição de rejeitos. Os trabalhos

encontram-se em desenvolvimento, com caracterização espectroscópica do material cromatográfico e estudo do comportamento operacional em colunas, para posterior aplicação na separação de transurânicos e de produtos de fissão. Ainda na fase de preparação de material cromatográfico, será dada maior

ênfase aos estudos do efeito sinérgico e agentes extratores mais seletivos como o CMPO. Após esta fase, iniciar-se-ão estudos e aplicação dessa técnica à partição de TRU's e PF's de rejeitos de alta atividade.

Tabela 2 Capacidade de retenção de diversos suportes para as fases estacionárias TBP, Aliquat, TOA, TIOA, HDEHP e TOPO

| SUPORTE | | LIMITE MÁXIMO | | | | | |
|------------|---------------|---------------------|-------------------------|---------------------|----------------------|-----------------------|-----------------------|
| TIPO | GRANULOMETRIA | mL TBP/ g Resina | mL Aliquat/ g Resina | mL TOA/ g Resina | mL TIOA/ g Resina | mL HDEHP/ g Resina | mL* TOPO/ g Resina |
| BIOBEADS | 20-50 mesh | 1,25 | 1,25 | 1,50 | 1,00 | 1,00 | 1,00 |
| LEVEXTREL | 20-50 mesh | 1,00 | 1,25 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 |
| KEL-F | 20-70 mesh | 0,50 | 1,00 | 0,50 | 0,50 | 0,50 | 1,50 |
| KIESELGUHR | 45-70 mesh | 0,75 | 1,0 | 0,50 | 0,50 | 0,50 | 1,50 |
| SILICA-GEL | 10-40 μ m | 0,50 | 1,0 | 0,50 | 0,50 | 0,50 | 1,00 |
| CROMOSSORB | 80-100 mesh | 0,50 | 0,5 | 0,50 | 0,50 | 0,50 | 1,00 |

* solução de 0,5M TOPO/metil isobutil cetona

Tabela 3: Coeficientes de Distribuição do TOA, TBP, TIOA, Amberlite Aliquat, TOPO-TBP-ISOPAR no suporte Levextrel

| [H ⁺] | MATERIAL CROMATOGRÁFICO | | | | | | | | | | | |
|-------------------|--------------------------------|-----------------|--------------------------------|-----------------|---------------------------------|-----------------|---------------------------------------|-----------------|------------------------------------|-----------------|--|-----------------|
| | 40% TOA/ LEVEXTREL (m/m) | | 40% TBP/ LEVEXTREL (m/m) | | 40% TIOA/ LEVEXTREL (m/m) | | 40% AMBERLI- TE/LEVEXTREL (m/m) | | 40% ALIQUAT/ LEVEXTREL (m/m) | | 50% [(0,2M TOPO + 1,2M TBP)/isopar] /LEVEXTREL (m/m) | |
| | D _U | D _{Th} | D _U | D _{Th} | D _U | D _{Th} | D _U | D _{Th} | D _U | D _{Th} | D _U | D _{Th} |
| 0,31 | 0,33 | 4,62 | 6,92 | 3,52 | 1,43 | 8,49 | 0,49 | - | 1,92 | 3,43 | 0,90 | 0,21 |
| 1,07 | 2,40 | 5,09 | 13,71 | - | 1,26 | 1,54 | - | - | 10,61 | 9,02 | 1,36 | 4,61 |
| 2,72 | 56,74 | - | 108,13 | 4,15 | 2,99 | 0,57 | 1,70 | - | - | 35,12 | 2,51 | 4,55 |
| 5,61 | 8,16 | 3,56 | 81,13 | - | 22,57 | 0,38 | 0,45 | 3,66 | 28,65 | 11,54 | 3,06 | 0,06 |

Tabela 4: Coeficientes de distribuição de TOA, TBP, TOPO-TBP, Aliquat e DEHPA no suporte Biobeads

| [H ⁺] | MATERIAL CROMATOGRÁFICO | | | | | | | | | |
|-------------------|-------------------------------|-----------------|-------------------------------|-----------------|-----------------------------------|-----------------|-------------------------------------|-----------------|---------------------------------|-----------------|
| | 50% TOA/ BIOBEADS (m/m) | | 50% TBP/ BIOBEADS (m/m) | | *TOPO + TBP/ BIOBEADS (m/m) | | 50%ALIQUAT-336 BIOBEADS (m/m) | | 50% DEHPA/ BIOBEADS (m/m) | |
| | D _U | D _{Th} | D _U | D _{Th} | D _U | D _{Th} | D _U | D _{Th} | D _U | D _{Th} |
| 0,31 | 0,65 | 2,84 | 5,00 | 2,17 | 2,14 | 2,73 | 0,61 | 6,23 | 1,00 | 8,76 |
| 1,07 | 2,00 | 13,65 | 10,05 | 5,69 | 2,57 | 41,54 | 5,30 | 17,72 | 2,57 | 6,54 |
| 2,72 | 2,20 | 4,65 | 148,90 | 0,96 | 2,93 | 3,82 | 6,03 | 87,64 | 4,28 | - |
| 5,61 | 4,59 | 2,74 | 57,84 | 0,92 | 3,60 | 1,39 | 4,86 | 30,11 | 7,60 | 4,80 |

* solução de 0,5M TOPO/metil isobutil cetona

REFERÊNCIAS

- [1] United States Atomic Energy Commission. **High-Level Radioactive Waste Management Alternatives**, 1974 (WASH-1297).
- [2] International Atomic Energy Agency **Feasibility of Separation and Utilization of Caesium and Strontium from High Level Liquid Waste**, 1993 (Technical Reports Series N° 356).
- [3] KUBOTA, M.; YAMAGUCHI, I. & NAKAMURA, H. **Development of Partitioning Method - Cold and Semihot Experimental Works with Partitioning Testing Apparatus**, 1981 (JAERI-M 9627)
- [4] KATZ, J.J.; SEABORG, G.T. & MORSS, L.R. **The Chemistry the Actinide Elements**, 2nd Ed., Chapman and Hall, London, N.Y., 1986.
- [5] MYSASOEDOV, B.F. & LEBEDEV, I.A. **Separation and Determination of Transplutonium Elements**. *Crit. Rev. Anal. Chem.*, 15(4): 347-394, 1985.
- [6] MISHRA, S.P. & SRINIVASU, N. **Ion Exchangers in Radioactive Waste Management. IV. Radiotracer Studies on Adsorption of Strontium Ion Over Sodium Titanate**. *J. Radioanal. Nucl. Chemistry, Articles*, 162(2): 299-305, 1992.
- [7] GLATZ, J.P.; OKELUND, H. & OUGIER, M. **Development of a Multipurpose Unit for the Separation of Actinides**. *J. Less. Comm. Met.*, 122: 419-423, 1986.
- [8] CECILLE, L.; CASARCI, M. & PIETRELLI, L. **New Separation Chemistry Techniques for Radioactive Waste and Other Specific Applications**. London & New York, Elsevier, 1991
- [9] SCHULZ, W.W. et alii. **Application of Tributyl Phosphate in Nuclear Fuel Processing**. In: *Science & Technology of Tributyl Phosphate*, Vol. III, Boca Raton, CRC, 1990.
- [10] FREEMAN, A.J. & KELLER, C. **Handbook of the Physics and Chemistry of the Actinides**, Amsterdam, Elsevier, 1991.
- [11] RYDBERG, J.; MUSIKAS, C. & CHOPPIN, G.R. **Principles and Practices of Solvent Extraction**. New York, Marcel Dekker, 1992.
- [12] MATHUR, J.N. et alii. **Extraction of Actinides and Fission Products by Octyl (phenyl)-N,N-Diisobutylcarbamoylmethylphosphine Oxide From Nitric Acid Media**. *Talanta*, 39(5): 493-496, 1992.
- [13] JEDINÁKOVÁ, V.; DVORAK, Z. & ZILKOVA, J. **Description of Am(III) Microamount Extraction in the Presence of Lanthanide Macroamounts**. *J. Radioanal. Nucl. Chem., Articles*, 101(1): 27-31, 1986.
- [14] MILYUKOVA, M.S. et alii. **Extraction of Trivalent Lanthanides and Actinides by Primary Amines**. *J. Radioanal. Nucl. Chem., Articles*, 121: 403-408, 1988.
- [15] MUSIKAS, C. & HUBERT, H. **Extraction by N, N'-Tetraalkylmalonamides. II. Extraction of Metallic Ions**. *Solv. Extr. Ion Exch.*, 5: 877-893, 1987.
- [16] HORWITZ, E.P. et alii. **SREX: A New Process for the Extraction and Recovery of Strontium from Acidic Nuclear Waste Streams**. *Solvent Extraction and Ion Exchange*, 9(1): 1-25, 1991.
- [17] BEHERA, P.; MISHRA, R. & CHAKRAVORTTY, V. **Solvent Extraction of Uranium(VI) and Molybdenum(VI) by Alamine 310 and its Mixtures from Aqueous H₃PO₄ solutions**. *J. Radioanal. Nucl. Chem. Articles*, 173(1): 161-169, 1993.
- [18] ENSOR, D.D.; NICKS, M. & PRUETT, D.J. **Extraction of Uranyl Ions by Synergistic Mixtures of Thenoyltrifluoroacetone and Macrocylic Donors**. *Solvent Extraction and Ion Exchange*, 6(4): 621-629, 1988.
- [19] DOZOL, J.F. et alii. **Application of Crown-Ethers to Caesium and Strontium Removal from Marcoule Reprocessing Concentrate**. In: *New Separation Chemistry Techniques for Radioactive Waste and Other Specific Applications*. CECILLE, L.; CASARCI, M. & PIETRELLI, L., London & N.Y., Elsevier, 1991. p.173
- [20] RAGHURAMAN, K.; MHATRE, H.R. & JADHAV, A.V. **Studies on the Use of Nickel as a Carrier for the Co-Precipitation of Americium from Dilute Acidic Waste Solution**. *Radiochem. Radioanal. Lett*, 56(4):239, 1983
- [21] APOSTOLIDIS, C.; BOKELUND, H. & GLATZ, J.P. **Actinide Separations by High Pressure Cation Exchange - The Neptunium Case**. In: *New Separation Chemistry Techniques for Radioactive Waste and Other Specific Applications*. CECILLE, L.; CASARCI, M. & PIETRELLI, L., London & N.Y., Elsevier, 1991. p.213
- [22] NAM, N.T.P.; GLEISBERG, B. & GORSKI, B. **Behavior of Neptunium in the Separation Process of Actinides from Irradiated Targets**. *J. Radioanal. Nuclear Chem. Articles*, 170(2): 358-366, 1993.
- [23] CHUDINOV, E.G. & PIROZHKOVA, S.V. **The Separation of Berkelium(III) from Cerium(III)**. *J. Radioanal. Chem*, 10(1): 41, 1972.
- [24] HORWITZ, E.P. et alii. **The Separation of Americium and Curium by Extraction Chromatography Using a High Molecular Weight Quaternary Ammonium Nitrate**. *Inorg. Nucl. Chem. Letter*, 2:87-91, 1966.
- [25] BRAUN, T. & GHERSINI, G. **Extraction Chromatography**, Amsterdam, Elsevier, 1975.
- [26] PIETRELLI, L.; SALLUZZO, A. & TROIANI, F. **Actinides Removal by Means of Octyl(Phenyl)-N,N-Diisobutyl Carbamoyl Methyl Phosphine Oxide (CMPO) sorbed on Silica**. In: *New Separation Chemistry Techniques for Radioactive Waste and Other Specific Applications*. CECILLE, L.; CASARCI, M. & PIETRELLI, L., London, N.Y., Elsevier, 1991. Pag.87
- [27] FAUBEL, W. **Separation of Am, Eu and Ce from Liquid Wastes with CMPO by Extraction Chromatography**. In: *New Separation Chemistry Techniques for Radioactive Waste and Other Specific Applications*. CECILLE, L.; CASARCI, M. & PIETRELLI, L., London, N.Y., Elsevier, 1991, p.73
- [28] HORWITZ, E.P. et alii. **Separation and Preconcentration of Strontium from Biological Environmental, and Nuclear Waste Samples by Extraction Chromatography Using a Crown Ether**. *Analytical Chemistry*, 63:522-525, 1991
- [29] HORWITZ, E.P. et alii. **A Novel Strontium Selective Extraction Chromatographic Resin**. *Solvent Extraction and Ion Exchange*, 10(2): 313-336, 1992.
- [30] MEGURO, Y. et alii. **Synergistic Extraction of Americium(III) with 2-thenoyl trifluoroacetone and Crown Ethers**. *J. Radioanal. Nucl. Chem. Articles*, 160(2): 435-442, 1992
- [31] HORWITZ, E.P. & DIETZ, M.L. **Concentration and Separation of Actinides from Urine Using a Supported Bifunctional Organophosphorus Extractant**. *Analytica Chimica Acta*, 238: 263-271, 1990.
- [32] ARAUJO, B.F.; MATSUDA, H.T.; CARVALHO, E.I. & ARAUJO, I.C. **Plutonium Removal by Ion Exchange Chromatography**. *J. Radioanal. Nucl. Chem., Letters*, 165(4): 209-217, 1992.
- [33] OLIVEIRA, C.A.L.G., YAMAURA, M., MATSUDA, H.T. & ARAUJO, B.F. **Sorção de Elementos Transurânicos em Trocadores Inorgânicos Parte I. Separação do Neptunio no Sistema Al₂O₃-HNO₃-HF-UO₂(NO₃)₂**. II Congresso da Associação Brasileira de Energia Nuclear, Rio de Janeiro, 1988 (PUBLICAÇÃO IPEN 165).

[34] MATSUDA, H.T.; ABRÃO, A. Estudos para o Aproveitamento de Molibdênio e de Urânio em Lixívias Sulfúricas de Minerais. Parte I: separação do par Mo(VI)-U(VI) por Sorpção do Molibdênio em Resina Aniônica Fraca e Fixação de Urânio em Resina Aniônica Forte. Parte II: Separação do Par Mo(VI)-U(VI) por Adsorção do Molibdênio em Carvão e Sorpção de Urânio em Resina Aniônica Forte. 1973 (Pub IEA-291)

[35] MATSUDA, H.T.; ARAUJO, B.F. Separação de ^{232}Th - ^{233}Pa por Cromatografia de Extração. XXXI Congresso Brasileiro de Química, Recife, 1991.

[36] FIGOLS, M.E.B. Separação de Traços de Neptúncio de Soluções de Urânio por Cromatografia de Extração. Anais do XVIII Simpósio Anual da ACIESP. Vol.I. Química dos Lantanídeos e Actinídeos, São Paulo, 1994. p.87.

ABSTRACT

Extraction chromatography has been widely applied for the separation of uranium and transuranium elements (TRU's) in a radioactive waste. This technique combines the specificity of extraction with the ease operation of an ion exchange column. In this work separation processes for the actinides elements are reviewed and the results of some chromatography material tests are presented.