

BR9126510

ISSN 0101-3084



**CNEN/SP**

---

**ipen** Instituto de Pesquisas  
Energéticas e Nucleares

**DESENVOLVIMENTO DE MICROFILTROS NUCLEARES UTILIZANDO  
A TÉCNICA DO REGISTRO DE TRAÇOS DE FISSÃO**

**Ione Makiko YAMAZAKI e Luiz Paulo GERALDO**

IPEN - PUB - 319

**PUBLICAÇÃO IPEN 319**

**OUTUBRO/1990**

**SÃO PAULO**

**DESENVOLVIMENTO DE MICROFILTROS NUCLEARES UTILIZANDO  
A TÉCNICA DO REGISTRO DE TRAÇOS DE FISSÃO**

**Ione Makiko YAMAZAKI e Luiz Paulo GERALDO**

**DEPARTAMENTO DE FÍSICA E QUÍMICA NUCLEARES**

**CNEN/SP  
INSTITUTO DE PESQUISAS ENERGÉTICAS E NUCLEARES  
SÃO PAULO - BRASIL**

**Série PUBLICAÇÃO IPEN**

**INIS Categories and Descriptors**

**E13.00**

**FILTERS**

**FISSION TRACKS**

---

**IPEN - Doc - 3805**

**Aprovado para publicação em 11/09/90**

**Nota: A redação, ortografia, conceltor e revisão final são responsabilidade do(s) autor(es).**

**DESENVOLVIMENTO DE MICROFILTROS NUCLEARES UTILIZANDO A TÉCNICA  
DO REGISTRO DE TRAÇOS DE FISSÃO**

**Ione Makiko YAMAZAKI e Luiz Paulo GERALDO**

**Comissão Nacional de Energia Nuclear - SP  
Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares  
Caixa Postal 11049 - Pinheiros  
05499 - São Paulo - Brasil**

**RESUMO**

Microfiltros nucleares com diâmetro médio de poros entre 1,9 e 10,6  $\mu\text{m}$  e densidade da ordem de  $10^5$  poros/ $\text{cm}^2$ , foram produzidos utilizando a técnica do registro de traços de fissão em Makrofol KG (8  $\mu\text{m}$  de espessura). Variações de aproximadamente 11% e 10% foram obtidas respectivamente para o tamanho e uniformidade dos poros, na análise de uma determinada amostra de microfiltro. As características essenciais destes microfiltros mostraram ser similares ao comercialmente conhecido como Nuclapore e portanto estão em condições de serem utilizados rotineiramente nas diversas aplicações das áreas Industrial e Biotecnologia.

(\* Este trabalho foi apresentado na "XII Reunião de Trabalho sobre Física Nuclear no Brasil" realizada em Caxambú, M.G., no período de 02 a 06 de setembro de 1990.

4

DEVELOPMENT OF NUCLEAR MICROFILTERS USING THE FISSION  
TRACKS REGISTRATION TECHNIQUE

Comissão Nacional de Energia Nuclear - SP  
Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares  
Caixa Postal 11049 - Pinheiros  
05499 - São Paulo - Brasil

**ABSTRACT**

Nuclear microfilters with mean pores diameter in the range from 1.9 to 10.6  $\mu\text{m}$  have been produced using the fission tracks registration technique in Makrofol KG (8  $\mu\text{m}$  thickness). Fluctuations around 11% and 10% were obtained respectively for the pores size and pores uniformity in the analysis of a typical sample of microfilter. The essential features of the microfilters were similar to those ones, commercially known as Nuclepore and thus they may be routinely employed in the several applications areas of the Industry and Biology.

(\*) The work of this paper was presented on the 12<sup>th</sup> Reunião de Trabalho sobre Física Nuclear no Brasil, held at Caxambú, M.G., 2 - 6 September, 1990.

## INTRODUÇÃO

A idéia de uma peneira molecular produzida pelo método do registro de traços em detectores do tipo SSNTD (Solid State Nuclear Track Detectors) foi desenvolvida por Fleisher e colaboradores<sup>(1)</sup> na década de 60. A técnica consiste basicamente em irradiar um material plástico detector extremamente fino ( $\sim \mu\text{m}$ ) em um feixe colimado de partículas carregadas pesadas. Estas partículas perfuram o detector plástico produzindo orifícios (traços ou poros) com diâmetros aproximadamente iguais e da ordem de  $80 \text{ \AA}$  <sup>(1,2)</sup>. Após uma revelação química adequada, estes orifícios são ampliados formando no filme poros com diâmetros na região de  $\mu\text{m}$ . Assim um filtro é produzido ficando conhecido como microfiltro nuclear<sup>(1)</sup>. O diâmetro dos orifícios é, portanto, controlado pelo tempo de revelação enquanto que a densidade destes poros, ou porosidade, é determinada pela quantidade ou dose de partículas incidentes<sup>(1-3)</sup>. A grande vantagem desta técnica é, portanto, a obtenção de microfiltros com poros praticamente iguais e ainda, com diâmetro e porosidade que podem ser previamente estabelecidos.

Microfiltros nucleares plásticos têm sido produzidos em diversos Laboratórios irradiando-se filmes plásticos policarbonatos tais como Makrofol, Lexan etc. com partículas carregadas originando principalmente da fissão induzida do U-235, fissão espontânea do Cf-252 e aceleradores de íons pesados<sup>(4-7)</sup>. A diversidade de aplicações destes microfiltros tanto na área da Biotecnologia como na área Industrial, tem aumentado de forma significativa nos últimos anos. Dentre as diversas aplicações da Biotecnologia destacam-se<sup>(8-11)</sup>: As análises bacteriológicas como a separação de ovos de Schistosomo; os diagnósticos citológicos como a separação de células cancerosas das sadias; o controle de qualidade de alimentos e bebidas como a filtração de bactérias e leveduras em vinhos, cervejas, sucos de frutas etc.; as análises microbiológicas como a detecção de *Giardia lamblia*, fitoplancton, *Escherichia Coli*, etc. em águas e leites; enquanto na área Industrial destacam-se: análises gravimétricas de carburante de aviação e de diversos fluidos hidráulicos; pré-filtração, purificação e clareamento de solventes e de outros fluidos e gases; purificação e esterilização de soluções; estabilização biológica e coloidal de vinhos, cervejas e vários produtos ali

mentícios; hiperfiltrações na produção de reagentes químicos; estudos ambientais como coletores de aerossóis, etc. Esta grande diversidade de aplicações reflete a importância que diversos Laboratórios tem dado ao desenvolvimento destes microfiltros.

O presente trabalho dedicou-se ao desenvolvimento de microfiltros nucleares com diâmetro médio de poros entre 1,9 a 10,6  $\mu\text{m}$ . dimensões estas facilmente observáveis em microscópios ópticos comuns. Tais microfiltros podem ser utilizados em quase todas as aplicações discutidas anteriormente. A obtenção de microfiltros com diâmetro de poros na região de 0,1 a 1,0  $\mu\text{m}$ , representa uma segunda e importante etapa do desenvolvimento pois, para este intervalo, torna-se necessário a utilização de um microscópio eletrônico adequado para a análise dos orifícios. Além disso, a necessidade de se ter neste caso uma porosidade muito maior do que ( $\sim 10^3$  vezes) a normalmente adotada para o intervalo de poros de 2 a 10  $\mu\text{m}$  ( $\sim 10^5$  poros/ $\text{cm}^2$ )<sup>(10)</sup>, implica na utilização de fontes de nêutrons muito mais intensas do que aquela empregada neste trabalho.

#### PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL E ANÁLISE DOS RESULTADOS

Basicamente o experimento consistiu na irradiação de filmes plásticos policarbonatos com fragmentos de fissão produzidos na fissão do U-235 com nêutrons emitidos por uma fonte de Cf-252. O plástico utilizado foi o Makrofol KG (8  $\mu\text{m}$ ) de espessura) cujas características mais importantes são apresentadas na Tabela I.

A densidade de poros ( $\rho$ ) a ser produzida no filme Makrofol pode ser determinada pela seguinte equação:

$$\rho = n \sigma I N_0 t F V \text{ poros/cm}^2 \text{.s onde:}$$

$n$  = fluxo de nêutrons térmicos.

$\sigma$  = secção de choque de fissão para o U-235.

$I$  = abundância isotópica do U-235.

$N_0$  = número de átomos de urânio/ $\text{cm}^3$  no alvo.

$t$  = espessura do alvo.

$F$  = fator geométrico.

$V$  = correção devido a autoabsorção no ar.

TABELA I - Características principais do plástico policarbonato Makrofol KG.

Propriedades	Makrofol KG
densidade, $\text{g/cm}^3$	1,21
resistência à ruptura, $\frac{\text{kg}}{\text{mm}^2}$	22-28 (sentido longitudinal) 8-9 (sentido transversal)
alongamento de ruptura, %	30-40 (sentido longitudinal) 100-120 (sentido transversal)
resistência ao calor permanente, $^{\circ}\text{C}$	-140
absorção de água após 24 hs de armazenagem em água, %	0,3
rigidez dielétrica $E_d$ , 4 dias com 80% de umidade relativa do ar, $\text{kV/mm}$ .	180 (espessura da amostra 0,02mm)
resistência superficial $R_o$ , 4 dias com 80% de umidade relativa do ar, Ohm	$3 \cdot 10^{13}$
Fórmula Química	$\text{C}_{16} \text{H}_{14} \text{O}_3^{(2)}$

enquanto que o diâmetro dos poros é estabelecido pelo tempo de revelação química do filme plástico.

Na figura 1 é mostrada a câmara de irradiação onde foram posicionados o Makrofol KG (42 mm de diâmetro) e o alvo de urânio (31 mm de diâmetro) na forma de  $U_3O_8$  com 93,15% de enriquecimento em U-235 eletrodepositado em um disco de alumínio (1 mm de espessura). A fim de minimizar as perdas de energia dos fragmentos de fissão antes da incidência no filme, preparou-se um alvo de urânio relativamente fino, com aproximadamente  $1 \text{ mg/cm}^2$ , valor este muito inferior ao alcance dos fragmentos de fissão no  $U_3O_8$  que é da ordem de  $10 \text{ mg/cm}^2$ <sup>(12)</sup>. Além disso, durante as irradiações, a câmara foi evacuada a uma pressão em torno de  $10^{-3}$  torr através de uma bomba de vácuo do tipo mecânica. Resultados experimentais<sup>(3,15)</sup> obtidos com a mica indicam que nestas pressões é de se esperar que em torno de 100% dos fragmentos consigam atravessar a espessura de 8  $\mu\text{m}$  de Makrofol.

Na figura 2 pode ser vista a geometria de irradiação empregada neste experimento. A câmara é posicionada dentro de um meio moderador constituído por parafina, com a extremidade contendo o alvo de urânio a uma distância de 5,2 cm da fonte de Cf-252. Medidas de fluxos efetuadas pela técnica de ativação de folhinhas de ouro mostraram que nesta posição o fluxo de nêutrons térmicos é máximo e da ordem de  $5,4 \times 10^4 \text{ n/cm}^2 \cdot \text{s}$ .

Após as irradiações os filmes de Makrofol foram revelados em uma solução<sup>(13)</sup> de KOH (35%), a uma temperatura de  $60^\circ\text{C}$ , por um determinado período de tempo escolhido em função do diâmetro dos poros desejado. Durante toda a revelação a solução foi agitada a fim de reduzir o acúmulo de produtos da revelação sobre a superfície do filme que em geral prejudica o processo de ataque químico<sup>(14)</sup>.

A fim de se poder estabelecer o tamanho de poro desejado para um microfiltro, uma curva de calibração diâmetro de poros versus tempo de revelação tem que ser construída. Para esta finalidade, 10 filmes de Makrofol foram preparados e irradiados, por um mesmo período de tempo, em um feixe colimado de fragmentos de fissão. Em seguida, os filmes foram revelados quimicamente por períodos de tempos que variaram entre 19,5 a 165 minutos. Os poros produzidos em cada filme foram analisados



posteriormente em um microscópio óptico e os resultados obtidos podem ser vistos na figura 3. A barra de erro em cada ponto experimental representa o desvio padrão da média obtida em diversas medidas de diâmetros de poros para um mesmo filme. A reta passando pelos pontos experimentais foi obtida através de ajuste por mínimos quadrados e é representada pela seguinte equação:

$$D = (0,76 \pm 0,16) + (0,0594 \pm 0,0017)T \text{ onde:}$$

D e T representam o diâmetro de poros e tempo de exposição respectivamente. Neste ajuste obteve-se um  $\chi^2$  normalizado menor que um mostrando, portanto, que o espalhamento dos dados experimentais é consistente com os erros assinalados.

Um aspecto importante a ser analisado neste tipo de experimento é a colimação dos fragmentos de fissão. Uma boa colimação é necessária a fim de que a incidência no filme seja predominantemente perpendicular. A razão disto é que a incidência oblíqua dos fragmentos resulta na formação de traços ou poros muito desiguais após a revelação química. A figura 4 mostra um exemplo de microfiltro produzido irradiando-se o filme em contacto direto com o alvo de urânio e portanto, sem qualquer colimação para os fragmentos de fissão. Como pode ser visto, os traços são em sua maioria elípticos e desiguais.

Os traços produzidos pela incidência perpendicular dos fragmentos, por outro lado, acarretarão na formação de poros circulares e aproximadamente iguais, como mostra a figura 5. Para efeito de comparação este microfiltro foi produzido com tamanho de poros e porosidade próximos daquele apresentado na figura 4. A fim de se conseguir uma boa colimação dos fragmentos é necessário que a razão entre a distância alvo-filme H e o diâmetro do filme D, seja maior que 4 pois, de acordo com Quinn e colaboradores<sup>(15)</sup>, para razões de colimação  $H/D > 4$  a incidência dos fragmentos é praticamente perpendicular à face do filme. Para a escolha da melhor distância H, foram efetuadas algumas irradiações em posições que variaram entre 12,5 cm e 25 cm, conforme é mostrado na figura 1. Observou-se que para  $H = 17,5$  cm a contribuição de traços inclinados já era inferior a 1% e portanto, desconsiderou-se as posições acima de 17,5 cm já que implicariam em uma diminuição do fator geo

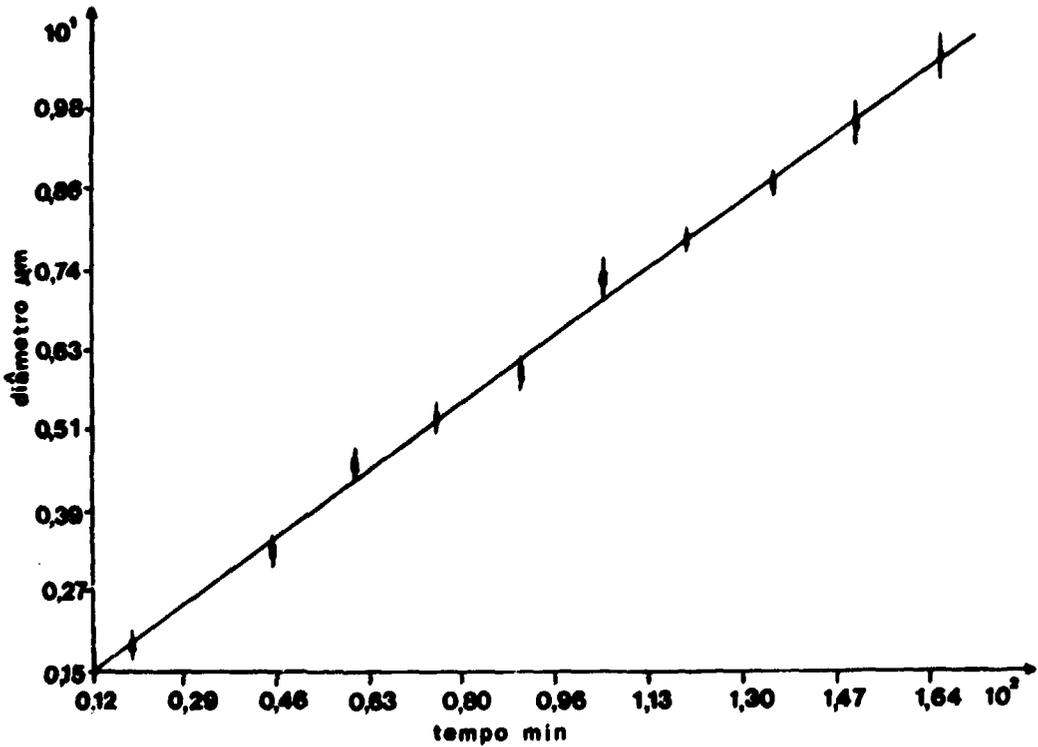


Figura 3: Curva de Calibração. Diâmetro dos poros versus Tempo de revelação.

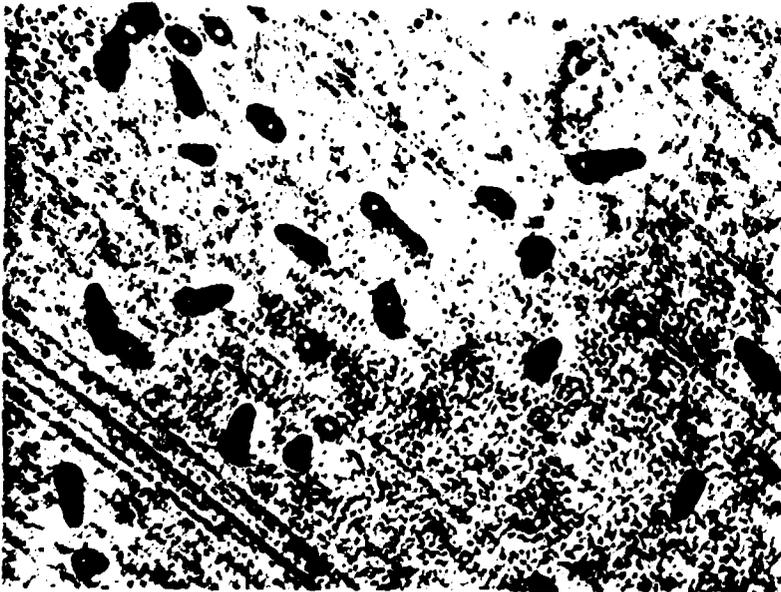


Figura 4: Microfiltro produzido sem colimação dos fragmentos de fissão. Diâmetro médio dos poros circulares: -  $4 \mu\text{m}$  Porosidade: -  $10^5$  poros/ $\text{cm}^2$ .



Figura 5: Microfiltro produzido com fragmentos de fissão colimado, Diâmetro médio dos poros:  $4 \mu\text{m}$ , porosidade:  $\sim 10^5$  poros/ $\text{cm}^2$ .

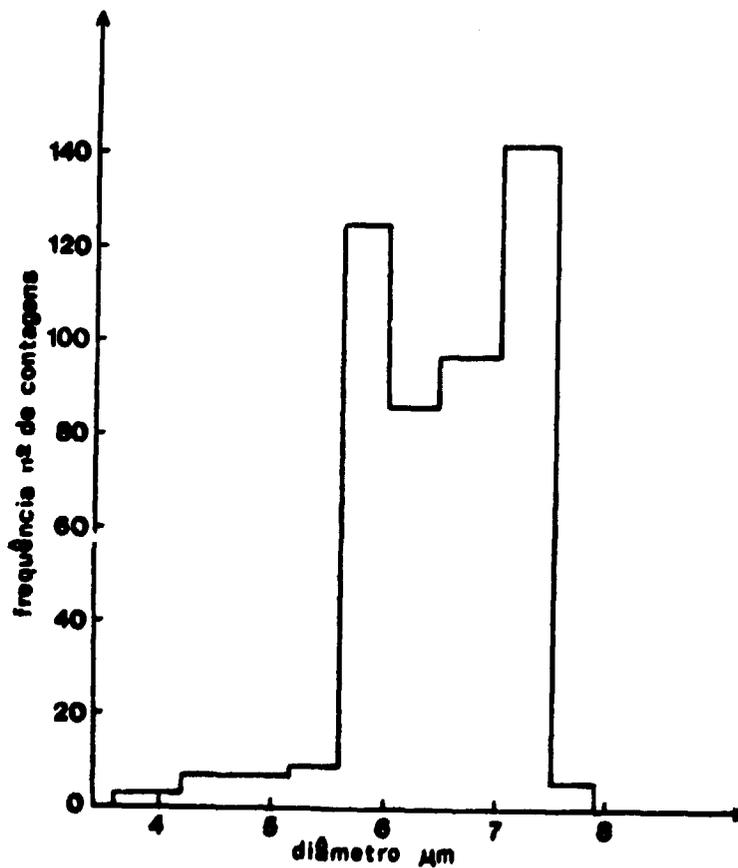


Figura 6: Distribuição dos diâmetros dos poros obtida para uma determinada amostra de microfiltro.

métrico. Como o diâmetro dos filmes utilizados foi de 4,2 cm, na posição escolhida de 17,5 cm a razão de colimação é maior que 4 e portanto, em ótimo acordo com as previsões de Quinn e colaboradores<sup>(15)</sup>. Nas figuras 5 e 7 podem ser vistos os poros circulares e praticamente iguais obtidos com esta razão de colimação.

A fim de verificar o grau de variação dos tamanhos dos poros produzidos em uma amostra particular de microfiltro, um histograma foi construído utilizando-se aproximadamente 500 medidas de diâmetros e o resultado é apresentado na figura 6. O diâmetro médio obtido foi de  $(6,5 \pm 11\%) \mu\text{m}$ , uma variação que está em bom acordo com o apresentado na literatura<sup>(10,16)</sup>, para o microfiltro comercial Nuclepore.

A uniformidade da distribuição dos poros também foi verificada para a mesma amostra de microfiltro fazendo contagens em diversas áreas diferentes do filme. O resultado obtido foi uma variação em torno de 10% nas contagens, um valor que também está em ótimo acordo com os microfiltros produzidos comercialmente<sup>(10)</sup>.

O alcance médio dos fragmentos de fissão no Makrofol é aproximadamente  $17 \mu\text{m}$ <sup>(17)</sup>. Portanto, para uma espessura de  $8 \mu\text{m}$  é de se esperar que uma grande fração dos fragmentos que incidem perpendicularmente à superfície perfuram totalmente o filme. A fim de verificar este efeito, 3 filmes de Makrofol sobrepostos foram irradiados em um feixe colimado de fragmentos de fissão. Após a revelação química simultânea dos filmes observou-se que dentro de 4% o segundo era uma réplica do primeiro filme indicando assim que, praticamente, todos os fragmentos atravessaram a espessura de  $8 \mu\text{m}$  correspondente ao primeiro filme de Makrofol. As fotografias de um microfiltro e sua réplica podem ser vistas nas figuras 7 e 8 respectivamente. Para efeito de comparação, na figura 9 é mostrada a fotografia de um microfiltro produzido pela Nuclepore Corporation com tamanho de poros similar ao da figura 7. Apesar da diferença acentuada nas respectivas espessuras, pode-se notar, pelas características dos poros de ambas figuras, que na produção do microfiltro deste trabalho utilizou-se uma colimação melhor dos fragmentos de fissão. No 3º filme de Makrofol observou-se uma densidade de traços da ordem de 37% daquela registrada nos dois primeiros filmes, um resultado que está em bom acordo com o alcance de  $17 \mu\text{m}$  previsto por Tripier e colaboradores<sup>(17)</sup>.

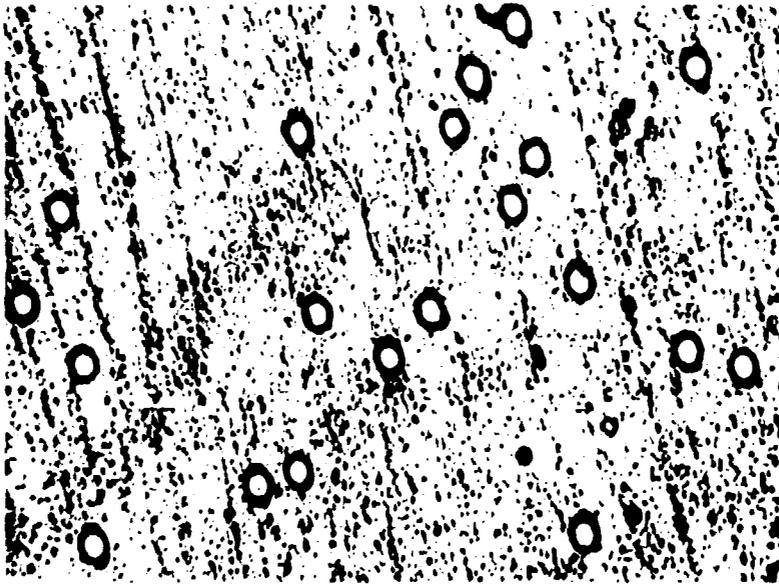


Figura 7: Amostra de microfiltro com as seguintes características: diâmetro médio dos poros =  $8 \mu\text{m}$ , porosidade =  $6,5 \cdot 10^4$   $\frac{\text{poros}}{\text{cm}^2}$ , espessura final =  $3 \mu\text{m}$ .

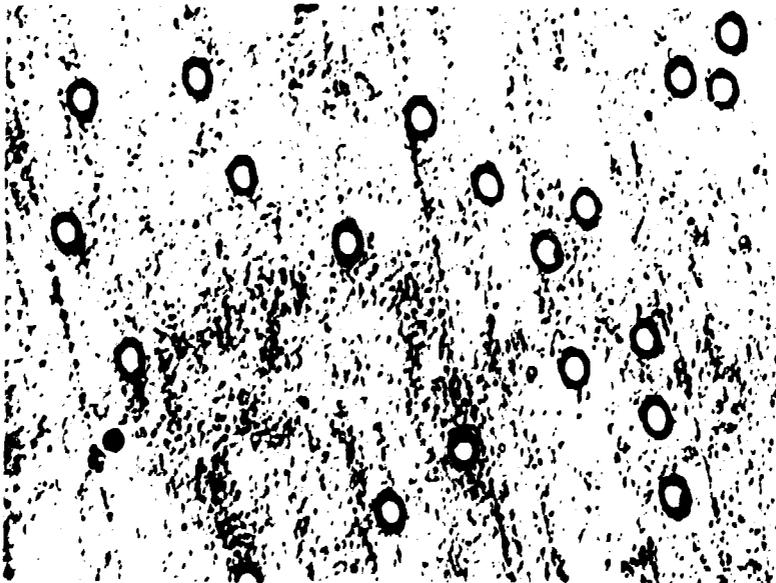


Figura 8: Réplica do microfiltro da figura 7.

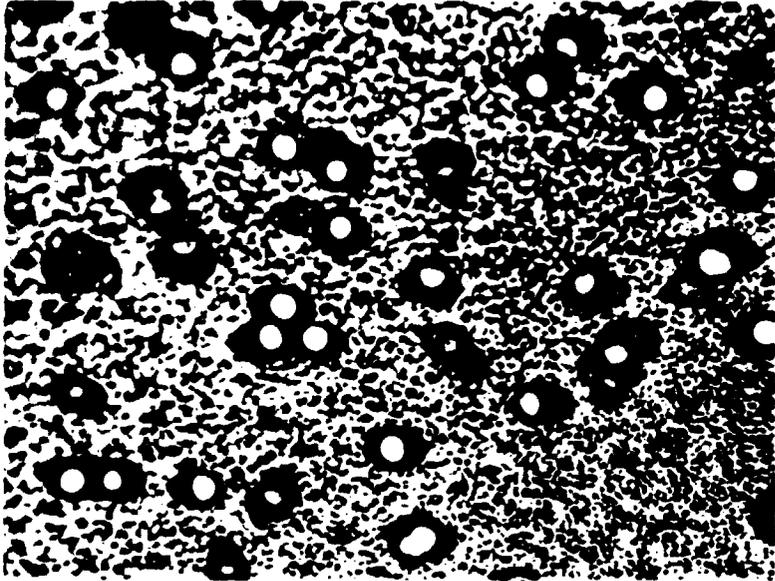


Figura 9: Microfiltro produzido pela Nuclepore Corporation  
 Diâmetro dos poros = 8  $\mu\text{m}$   
 Porosidade =  $10^5$  poros/ $\text{cm}^2$   
 Espessura = 8  $\mu\text{m}$

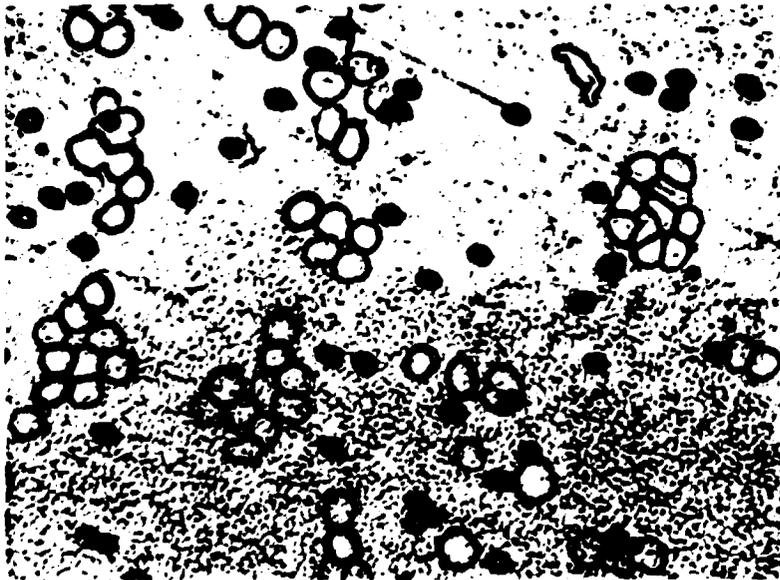


Figura 10: Hemácias retidas na superfície de um microfiltro com as seguintes características: diâmetro médio dos poros (círculos mais escuros) = 4,4  $\mu\text{m}$ , porosidade =  $10^5$  poros/ $\text{cm}^2$ .

Em aplicações tais como estudos ambientais por análise de aerossóis, é muito importante que os microfiltros apresentem um nível desprezível de contaminação ou de impurezas. Desta forma, cuidados especiais foram tomados no manuseio do filme durante todo o processo de produção dos microfiltros. Entretanto, uma análise cuidadosa de impurezas foi realizada, pela técnica de análise por ativação, em uma amostra de microfiltros e os resultados são apresentados na tabela II. Como pode ser visto, os níveis de impurezas detectados foram muito bons quando comparados com os dados fornecidos na literatura<sup>(18)</sup> para outros microfiltros comerciais.

Um teste qualitativo foi realizado utilizando um microfiltro nuclear para a filtração de uma amostra de sangue. Uma hemácea saudável possui um diâmetro de aproximadamente  $7,5 \mu\text{m}$ . Devido à sua habilidade de sofrer deformações, muitas delas podem passar através de poros com tamanho de até  $3 \mu\text{m}$ <sup>(7,10)</sup>. Para a realização do teste, escolheu-se um microfiltro com tamanho de poros da ordem de  $4,4 \mu\text{m}$  e um arranjo adequado para filtração de líquidos produzido pela Millipore Filter Corporation<sup>(11)</sup>. Neste arranjo, o microfiltro é posicionado dentro de um suporte apropriado que possui na sua parte superior, um funil por onde é colocado o líquido a ser filtrado. Na parte inferior do suporte é acoplado um recipiente onde é alojado o líquido filtrado e que possui uma saída para o sistema de vácuo. Inicialmente, passou-se pela membrana uma solução salina, tanto para umedecer a superfície e eliminar a tensão superficial, como para remover o ar existente entre o microfiltro e o suporte<sup>(9)</sup>. Em seguida, colocou-se no funil 1 ml de sangue fresco juntamente com um anticoagulante, EDTA, e submeteu-se o recipiente inferior a um pequeno vácuo. A filtração do sangue ocorreu de forma muito similar daquela empregando um microfiltro comercial com as mesmas características. Após a realização da filtração, fez-se uma lavagem do microfiltro com a solução salina, a fim de reduzir o número de hemáceas retidas e o resultado pode ser visto na figura 10.

## CONCLUSÃO

Neste trabalho foram produzidos microfiltros nucleares com tamanho de poros entre  $1,9$  a  $10,6 \mu\text{m}$ , utilizando um plástico sintético

TABELA II - Quantidade de impurezas (mg/cm<sup>2</sup>) em diversos microfiltros comerciais

Metal	Polystyrene (Dai bag)	Celulose- -Ester (Millipore 0,45µm)	Celulose- -Papel (Whatman nº 41)	Fibra de Vidro	Membrana Orgânica	Membrana de Prata	Presente Trabalho
Ag	2		2				
Al	20	10	12				
As				80			
Ba	500	100	100				
Be				40	0,3	200	
Bi					1		
Ca	300	250	140				
Ce							6,2
Cd					5		
Co	0,2	1	0,1		0,02		
Cr	2	14	3	80	2	60	
Cu	320	40	4	20	6	20	
Fe	85	300	40	4000	30	300	
Hg	1	1	0,5				
Mg	1500	200	80				
Mn	2	2	0,5	400	10	30	
Mo					0,1		
NI	25	50	10	80	1	100	
Pb				800	8	200	
Sb	1	3	0,15	30	0,1		
Sn				50	1		
Ti	70	5	10	800	2000	200	
V	0,6	0,09	0,03	30	0,1		
Zn	515	20	25	160000	2	10	

denominado Makrofol KG. Os poros foram produzidos irradiando-se o plástico em um feixe colimado de fragmentos provenientes da fissão do U-235 com nêutrons emitidos por uma fonte de Cf-252. A maioria das características essenciais destes microfiltros foram estudadas e mostraram estar em bom acordo com o comercial Nuclepore. A produção rotineira destes microfiltros pode agora ser iniciada, independente da utilização de reatores nucleares, em qualquer laboratório adequado onde se tenha a disposição uma fonte portátil de Cf-252.

#### AGRADECIMENTOS

Os autores estão muito agradecidos ao Dr. Casimiro J.A.S. Muniz, da Divisão de Radioquímica (TFR), pela realização das medidas de impurezas através da técnica da análise por ativação e à pesquisadora Anna Lucia C.H. Villavicêncio e à bolsista de pós-graduação Isida M.Ap. Campos, da Divisão de Radiobiologia (TBR), pelas importantes discussões e preparo do material durante o teste de filtração das hemáceas.

#### REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- 01- FLEISCHER, R.L.; PRICE, P.B.; WALKER, R.M. Nuclear tracks in solids - principles and applications. Berkeley, University of California Press, 1975.
- 02- DURRANI, S.A. & BULL, R.K. Solid state nuclear track detection, principles, methods and applications, Pergamon Press, 1987. (International series in natural philosophy, V. III).
- 03- FLEISCHER, R.L.; PRICE, P.B.; WALKER, R.M. Method of forming fine holes of near atomic dimensions. Rev. Sci. Instrum. 34(5):510-12, 1963.
- 04- HUSSAIN, G.; KHAN, H.A.; KHAN, N.A. Production of through holes due to fission fragments in thick lexan track detectors. Darmstadt, Gesellschaft fuer Schwerionenforschung, m.b.H., 1987. p. 237 (GSI 87-1).
- 05- LUN, G.S.; ZHAO, Y.; WANG, Y.; MAO, H.; BRANDT, R.; VATER, P. Microscopic hydrodynamics study with nuclear track membrane. Int.

- J. Radiat. Appl. Instrum. Part D. Nucl. Tracks Radiat. Meas., 15 (1-4):763-66, 1988. (Conference on: Solid State Nuclear Track Detectors. 14<sup>th</sup> International Conference, Lahore, Pakistan).
- 06- PACKARD, R.E.; PEKOLA, J. P.; PRICE, P. B.; SPOHR, P. N. R.; WESTMACOTT, K.H.; YU, Q.Z. Manufacture, observation and test of membranes with locatable single pores. Darmstadt, Gesellschaft fuer Schwerionenforschung, m.b.H., 1986. p. 262 (GSI 86-1).
- 07- CUI, H.; WANG, S.; WU, R.; ZHOU, J. The production of nuclear track microfilters and their applications. Int. J. Radiat. Appl. Instrum. Part D. Nucl. Tracks Radiat. Meas., 15(1-4):767-70, 1988 (Conference on: Solid State Nuclear Track Detectors. 14<sup>th</sup> International Conference, Lahore, Pakistan).
- 08- FLEISCHER, R.L.; PRICE, P.B.; SYMES, E. M. Novel filter for biological materials. Science, 143:249-50, 1964.
- 09- SEAL, S.H. A sieve for the isolation of cancer cells and other large cells from the blood. Cancer, 17(5):637-42, 1964.
- 10- NUCLEPORE Corporation catalogue. Products for laboratory process filtration. Pleasanton, California, 1988.
- 11- THE MILLIPORE catalogue. Products and services for analysis, purification, monitoring and quality control of liquids and gases. Bedford, Massachusetts, 1988.
- 12- MAI, V.Q. Étude des détecteurs a gaz pour neutrons thermiques fonctionnant en collection de courant. Centre D'Études Nucléaires de Grenoble, 1966. (CEA-R 2962).
- 13- GERALDO, L.P.; CESAR, M.F.; MAFRA, O.T.; TANAKA, E.M. Determination of uranium concentration in water samples by the fission tracks registration technique. J. Radioanal. Chem., 49: 115-26, 1979.
- 14- KHAN, H.A. An important precaution in the etching of solid state nuclear track detectors. Nucl. Instrum. Methods, Amsterdam, 109, 515-9, 1973.
- 15- QUINN, J.A.; ANDERSON, J.L.; HO, W.S.; PETZNY, W.J. Model pores of molecular dimension. The preparation and characterization of track-etched membranes. Biophys. J., 12:990-1007, 1972.

- 16- CZILWA, W.; PFENG, E.; SPOHR, R.; VETTER, J. Generation of precise track pores. Darmstadt, Gesellschaft fuer Schwerionenforschung, m.b.H., 1986. p. 260 (GSI 86-1).
- 17- TRIPIER, J.; REMY, G.; RALAROSY, J.; DEBEAUVAIS, M.; STEIN, R.; HUSS, D. Range and energy loss rate for heavy ions in Makrofol and cellulose nitrate. Nuclear Instr. Methods, 115:29-46, 1974.
- 18- ALIAN, A. & SANSONI, B. A review on activation analysis of air particulate matter. J. Radioanal. Nucl. Chem. 89(1):191-275, 1985.