

## Evolução Histórica da pesquisa de traços Nucleares

A passagem de partículas nucleares altamente ionizadas (prótons, partículas alfa, fragmentos de fissão, etc.) através de materiais dielétricos cria um caminho “danificado” em escala atômica, chamados de traços.

O desarranjo causado por tais partículas é mais suscetível ao ataque químico do que em outras regiões do material.

Esse caminho criado pelas partículas nucleares (chamados de traços) será revelado a partir de ataques químicos para que possam ser observados ao microscópio óptico.

As primeiras fotografias, tirada diretamente de caminhos danificados criados por fragmentos de fissão de  $^{235}\text{U}$  foram publicadas por **Silk e Barnes** em 1959, suas observações levaram a pesquisas sobre ataques de traços e traços de partículas em sólidos. Tal linha de pesquisa mostrou-se bastante promissora tendo utilidade em diversas áreas, sejam elas científicas ou tecnológicas, desde ciências nucleares a botânica, e controle de armas a controle de cerveja.

No laboratório de pesquisa da **General Electric, Fleischer, Price e Walker** se inspirando nas pesquisas de **Silk e Barnes**, avaliaram quantitativamente a possibilidade de traços de interações nucleares estarem presentes em mica de pedras lunares, formando um fóssil que “gravava” o bombardeamento de raios cósmicos na Lua. Porém somente dez anos depois foram encontrados tais traços em minerais lunares e usados para elucidar alguns processos ocorridos na superfície da Lua.

A tecnologia de microscopia eletrônica foi usada para a observação e estudo de traços atacados, todavia tais estudos foram frustrados brevemente devido à tendência de traços em mica natural desaparecerem nos raios de elétron do microscópio quando observados. A solução para tal problema foi usar uma coleção **de fluoro-mica sintética** do Dr. Louis Navias, que se mostrou bastante estável durante a observação ao microscópio eletrônico.

Esse material incitou uma nova linha de pesquisa, que logo tornou possível a observação de traços submicroscópicos atacados deliberadamente, bastante estáveis durante a observação. Pouco depois se tornou possível a observação ao microscópio eletrônico, de fosses de traços de fissão espontânea em cristais de mica atacados contendo inclusões de Urânio.

Nasceu então uma nova linha de pesquisa em física nuclear.

Em 1964 foi utilizado pela primeira vez por Fleischer e Price, o diâmetro dos traços para a determinação de comprimentos, deixado por fragmentos de fissão, colidindo perpendicularmente em detectores de vidro.

No início uma das grandes dificuldades nessa linha de pesquisa era a falta de detectores manufaturados por empresas especializadas, por isso usavam apenas detectores naturais como a mica, vários esforços foram feitos para se descobrir um detector eficiente. Neste projeto citaremos dois desses detectores de partículas nucleares fabricados por empresas, o CR-39 e o LR-115.

## Aplicações de Detectores de Partículas Nucleares

### Membranas Porosas e Filtros

Ao expor um material detector a um feixe colimado de partículas que produzem traços ao longo do detector, pode-se também através de ataque químico produzir buracos, transformando o material em uma membrana.

Os diâmetros dos buracos podem ser controlados pelo tempo de ataque e a “concentração de buracos” pode ser controlada pelo tempo de exposição do detector ao feixe de partículas.

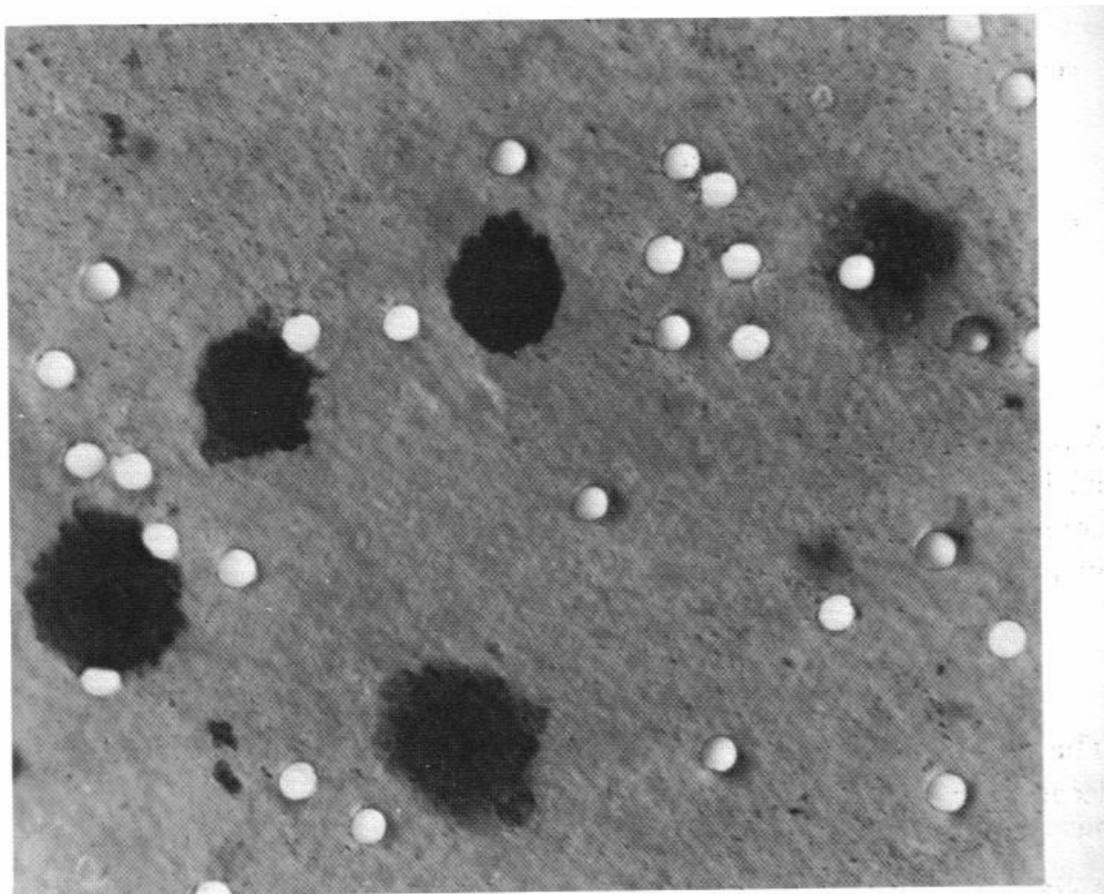


Fig. 10-1. Polycarbonate film irradiated with fission fragments at normal incidence and etched with sodium hydroxide to produce circular holes of uniform size, about  $5 \mu\text{m}$  in diameter. The large, dark blobs are cancer cells that have been filtered out of a large quantity of blood by virtue of being larger and more rigid than most normal cells in the blood. (After Fleischer et al., 1965a.)

Figura extraída de Fleischer & Price ( figura 10-1 ,pagina 565)

A figura acima mostra um filme de policarbonato, irrigado com fragmentos de fissão, em incidência normal, e atacados quimicamente com hidróxido de sódio. Para produzir buracos circulares de tamanho uniforme com cinco micrometros de diâmetro.

As manchas escuras e maiores são células de câncer que foram filtradas de uma grande quantidade de sangue. Por serem maiores e mais rígidas que as células normais de sangue, podem ser separadas e reconhecidas.

Células com diâmetro médio de cinco virgula oito micrometros podem passar por um cilindro com diâmetro menor que três micrometros. Uma partição da membrana serve como barreira para a migração de células mas permite o fluxo de anticorpos e antígenos, tendo assim uma grande aplicabilidade numa vasta gama de pesquisas em ciências biológicas como **Imunologia** e estudos de **Interações Metabólicas**.

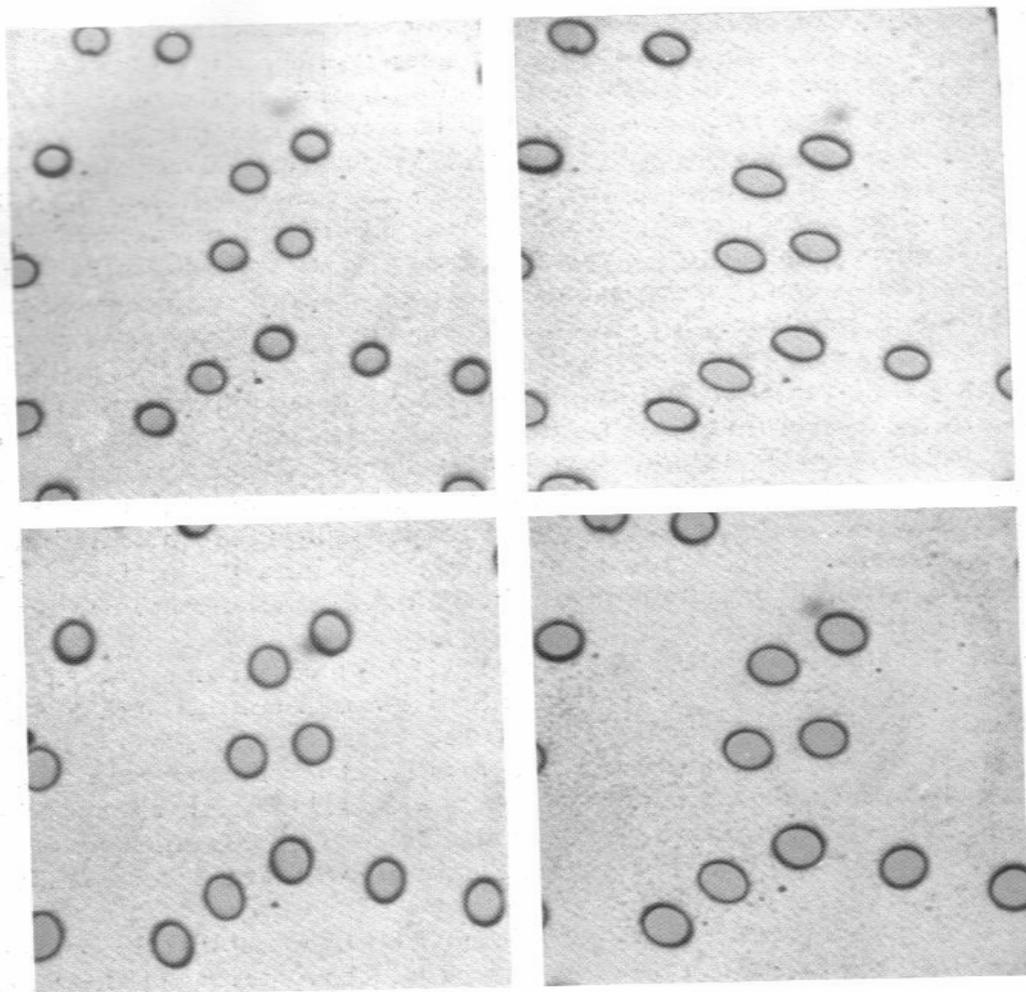


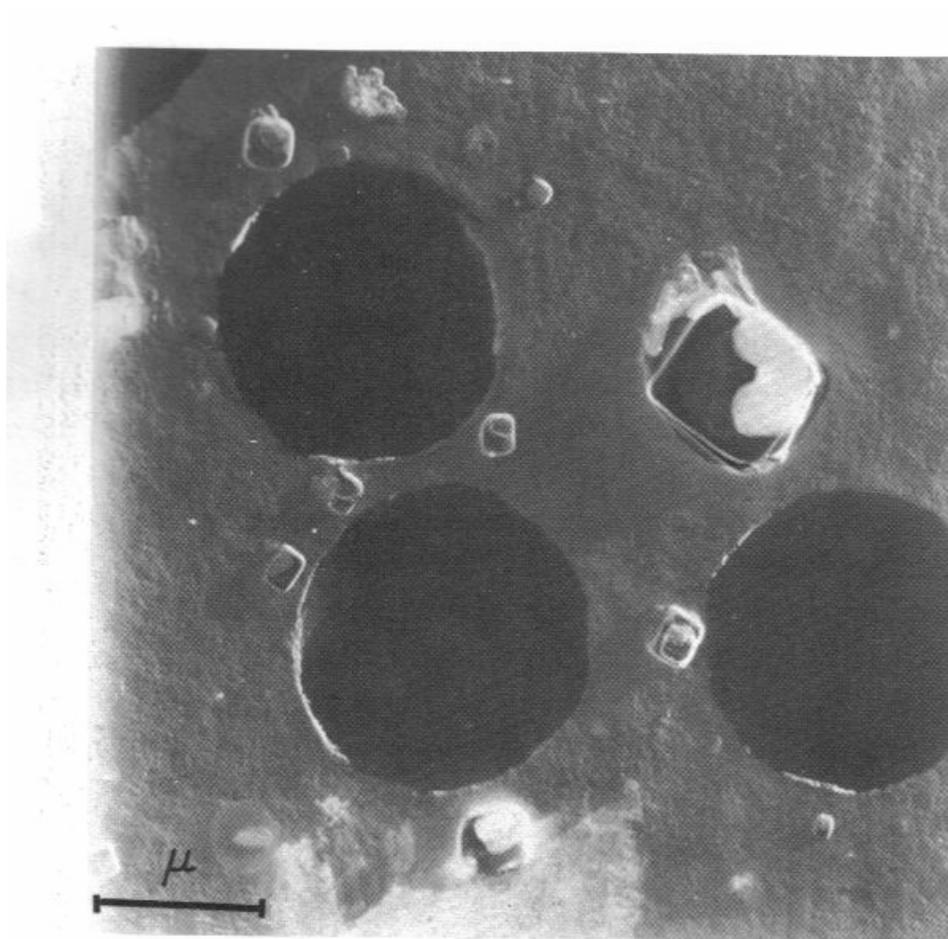
Fig. 10-2. Silicone-polycarbonate filter produced by etching fission fragment tracks. Shown in nearly relaxed condition, horizontally stretched, vertically stretched, and biaxially stretched. The hole diameters in the relaxed state are 14  $\mu\text{m}$ . (After Fleischer et al., 1972b.)

Figura extraída de Fleischer & Price ( figura 10-2 ,pagina 566)

## Captação de partículas na Atmosfera e Oceanos

O uso de filtros de traços atacados tem uma grande variedade de aplicações em estudos de partículas na atmosfera e em oceanos.

A capturação de partículas de aerossol que são menores que os buracos nos filtros dependem do impacto das partículas que não seguem o fluxo de ar perfeitamente e entra em contato com a superfície exposta do detector ao qual é fixada por forças de superfície.



*Fig. 10-3. Airborne salt particles from marine air near Hawaii, caught by Nuclepore filter. The scale bar is 1  $\mu\text{m}$  long. Photograph taken by E. R. Ackerman of the National Center for Atmospheric Research.*

Figura retirada de Fleischer & Price ( figura 10-3,pagina 568).

Partículas de sal nascidas do ar na marina perto do Havaí, capturados pelos filtros Nuclepore (Filtro produzido por Nuclepore Corporation).

## Contagem de Vírus e Bactérias

Um dos mais engenhosos e econômicos usos dos traços atacados é o contador de partículas De Blois (DeBlois Beam Counter; DeBlois and Beam, 1970; 1973), que emprega um único traço atacado para contar e medir pequenas partículas em um eletrólito.

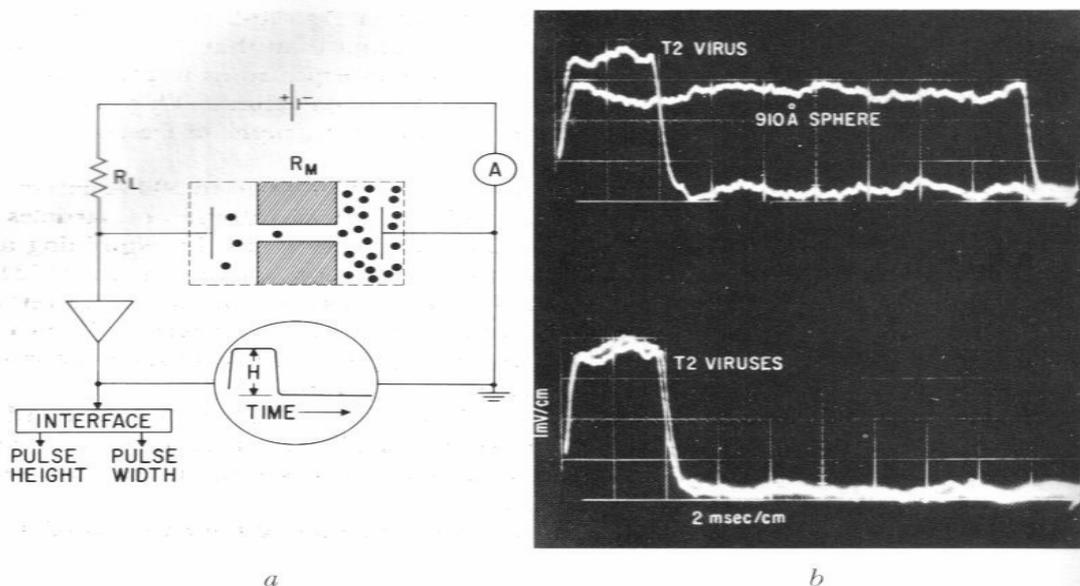


Fig. 10-5. (a) Principle of the DeBlois-Bean Counter (after DeBlois and Bean, 1970); (b) oscilloscope traces resulting from passage of polystyrene spheres and T-2 viruses through the hole in the counter. Individual particles are identified by their size (given by the pulse height) and charge (inferred from the transit time). (After DeBlois and Bean, 1970.)

Como mostra a figura acima, dois lados de uma célula eletroquímica são separadas por uma membrana por um traço atacado, atravessado.

A resistência entre os eletrodos depende primeiramente do caminho condutor através do buraco.

Assim que partículas carregadas entram, a resistência aumenta por um valor proporcional ao volume da partícula.

Para o caso de partículas esféricas com **diâmetro  $d$** .

$$\Delta R = 4 \rho d^3 / \pi D^4 \quad (1)$$

$\rho$  -> **Resistividade da solução.**

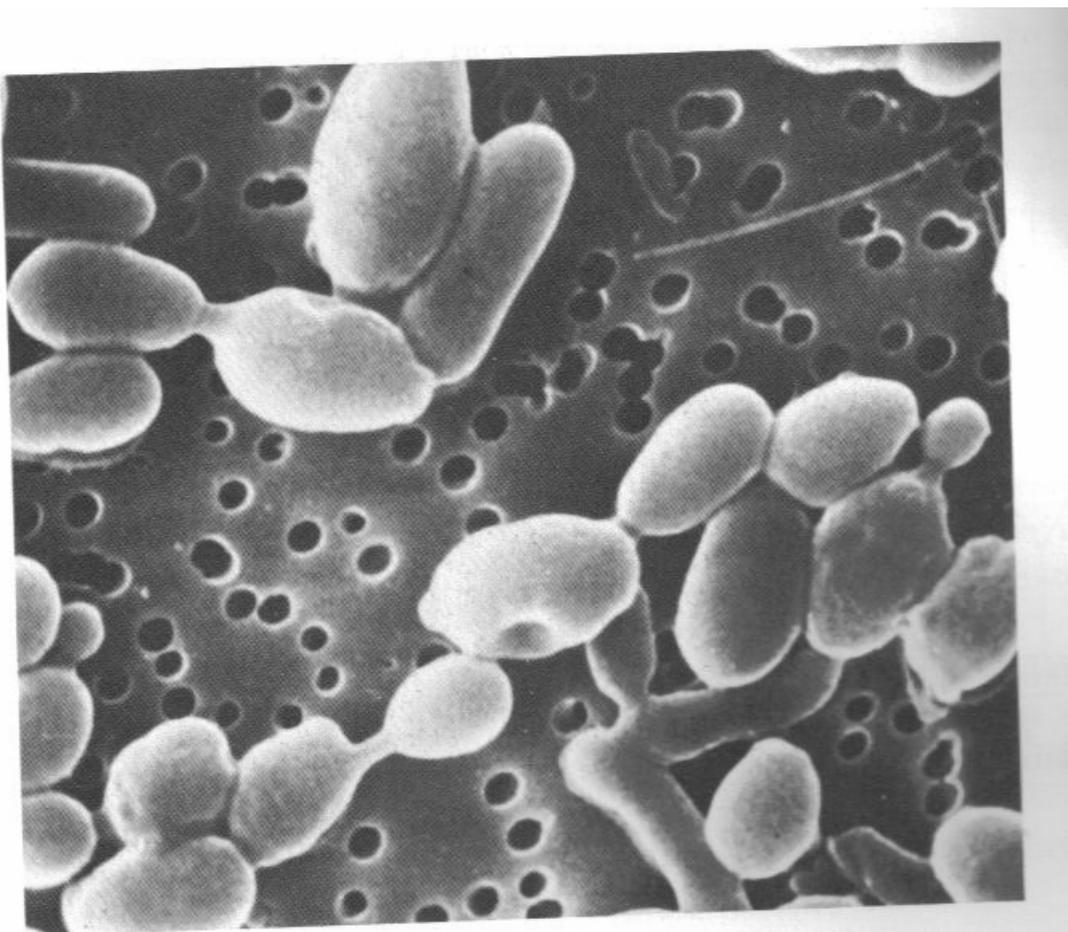
$D$  -> **Diâmetro do buraco.**

A velocidade da partícula através do buraco é uma medida da sua carga, sendo que podemos identificar uma partícula pelas seguintes características: tamanho, carga e mobilidade.

## Purificação de Vinhos e Cervejas

Uma propriedade bastante interessante dos filtros porosos é a de purificar e clarificar vinhos e cervejas, removendo bactérias, sedimentos e levedura.

Essa estabilização permite que a **draft beer** possa ser estocada em temperatura ambiente, sem a necessidade do calor que seria necessário para a destruição das bactérias presentes em cerveja engarrafada, tal calor é responsável pela variedade dos sabores das cervejas, podendo prejudicar a qualidade do produto.



*Fig. 10-4. Nuclepore filter used to extract yeast from beer. Photograph supplied by H. J. Schneider of Nuclepore Corporation.*

Figura extraída de Fleischer & Price (figura 10-4 página 569).

Acima figura mostrando um filtro poroso fabricado pela Nuclepore, utilizado para retirar leveduras de cerveja.

## Tecnologia Nuclear

Os usos dos detectores de partículas nucleares para a dosimetria são bastante vastos, incluindo a medida do fluxo de nêutrons em reatores nucleares e também para monitorar as doses de **decaimento alfa do  $^{222}\text{Rn}$  em seus filhos** ao qual mineradores são expostos.

Taxas de fissão, fluxo de nêutrons e outros tipos de medidas em física nuclear são simplificados quando usados os detectores que não registram os efeitos do background de radiação de partículas  $\beta$  (beta) e  $\gamma$  (gama).

Existem duas fontes naturais de partículas alfa, possivelmente prejudiciais e perigosos ao homem, radiação cósmica, perigosa somente em altas altitudes e aerossóis de partículas contendo filhos do  $^{222}\text{Rn}$ , que tem uma meia-vida de 3,8 dias e emite partículas alfa com energia de 5,5 Mev ( 5,5 mega eletron-volts). Como o Radônio é um gás ele emana da terra e esta presente até mesmo em altas altitudes.

A exposição prolongada aos emissores de partícula alfa, podem acarretar em câncer de pulmão, principalmente aos mineradores de urânio.

Devido as normas de segurança para trabalhadores de 40 horas semanais em minas de urânio expostos aos filhos do Radônio (  $3 \times 10^{-14}$  Curie/ml), temos um fluxo pequeno de partículas alfa, o que torna difícil sua detecção usando elaborados meios eletrônicos. Por causa disso o uso de detectores plásticos sensíveis às partículas alfa parece bastante promissor, já que problemas comuns como concentração, sensibilidade, humidade e temperatura não são problemas para esses tipos de detectores.

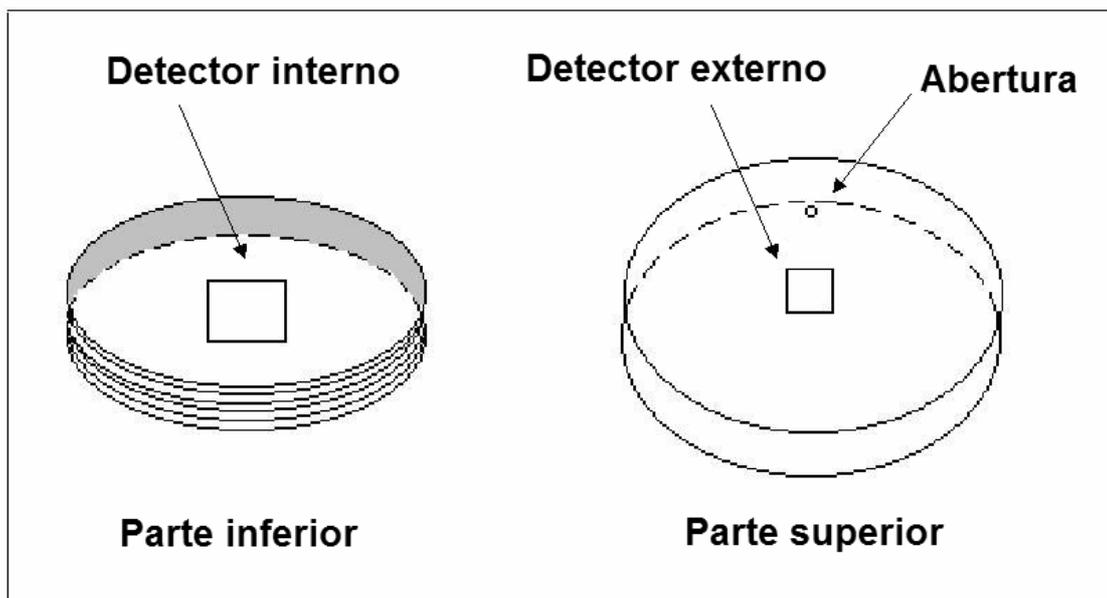
## Pesquisa sobre Radônio e seus filhos no Brasil

Na Unicamp o departamento de Cronologia vem pesquisando a concentração do Radônio e seus filhos no ar de domicílios há algum tempo (desde 1985), usando Detectores de Traços de Partícula Nucleares em Estado Sólido (SSNTD).

Apesar dos verdadeiros contaminantes serem os filhos do  $^{222}\text{Rn}$ , a própria concentração do radônio é levada em consideração nessa linha de pesquisa. As técnicas utilizadas na detecção dos decaimentos do radônio são realizadas em pequenos períodos de tempo, não permitindo medidas em longo prazo de tais contaminantes.

Para levar em consideração também o **Plate-Out** dos filhos do radônio foi realizado uma pesquisa baseada na espectroscopia-alfa realizada em CR-39 (Hadler Neto and Paulo 1994). Medindo o produto dos diâmetros maiores e menores dos traços redondos utilizados, utilizando imagens capturadas no microscópio eletrônico, sendo possível descobrir as energias das partículas alfa incidentes (Hadler Neto et al. 1991), distinguindo as emissões alfa devido aos filhos do Radônio que ocorrem no **Plate-Out**.

Uma primeira pesquisa foi realizada em 2001 (Neman et al. 2001), a detecção foi feita por meio da exposição de montagens que são constituídas de duas placas circulares e paralelas (4 mm de distância entre as placas que possuem 8 cm de diâmetro) de alumínio contendo duas lâminas de detectores CR-39. Ambos os detectores estão presos no centro das placas, de forma que um deles é colocado entre as placas, enquanto o outro é posicionado do lado externo da montagem, sob uma geometria de  $2\pi$  (um CR-39 de  $1,5 \times 1,5 \text{ cm}^2$  na parte externa e outro de  $3,0 \times 3,0 \text{ cm}^2$  na parte interna).



Esquema da montagem de alumínio. Desenho fora de escala.

Essa pesquisa mostrou que as concentrações de radônio eram praticamente as mesmas tanto em apartamentos quanto em casas, e que nessas casas a concentração dependia da pintura sendo que nas pintadas a concentração era menor que nas não pintadas. No mais foi concluído que Campinas é constituída de uma importante fonte de Radônio nas habitações.

Houve porem um problema na metodologia usada, as concentrações de traços nos detectores interno e externo não eram compatíveis, não sendo possível calcular as concentrações de filhos de radônio no ar, apenas a atividade alfa total.

A concentração de traços era maior no detector interno, foi concluído que filhos do radônio se fixaram na montagem utilizada durante a exposição.

Uma segunda tentativa foi realizada, visando investigar também os possíveis efeitos de campos eletrostáticos. Nessa segunda pesquisa foi possível calcular a atividade dos filhos do radônio no ar ( $A_D$ ), utilizando a atividade do radônio ( $A_0$ ) e a atividade alfa total ( $A_t$ ):

$$A_D = A_t - A_0 \quad (2)$$

Foi feita a medição dos diâmetros dos traços no detector externo determinando assim a atividade alfa do **Plate-Out** na superfície do detector, os resultados encontrados mostraram que o radônio no ar é responsável pela **depleção** dos filhos.

A densidade de traços é calculada utilizando a seguinte formula:

$$\rho = \frac{1}{2} A_0 t d \left[ \sum_i \left( 1 - \frac{d}{2R_i} \right) \right] \epsilon \quad (3)$$

$A_0$  -> Atividade de  $^{222}\text{Rn}$  no ar.

$t$  -> Tempo de exposição.

$d$  -> altura do volume compreendido por ar entre a superfície do detector e a placa oposta.

$R_i$  -> Alcance da  $i$ -ésima partícula alfa no ar

$\epsilon$  -> Eficiência na detecção do CR-39

$$\rho' = t \chi \sum_{i=0,1,3} A_i \quad (4)$$

$\chi$  -> Eficiência relacionada ao volume efetivo de cada emissor alfa.

$A_i$  -> Atividades ( $i = 0, 1, 3$  para  $^{222}\text{Rn}$ ,  $^{218}\text{Po}$  e  $^{214}\text{Po}$  respectivamente).

O grupo de Cronologia pretende estudar a correlação entre atividade de  $^{222}\text{Rn}$  e filhos em ambientes de convívio humano e casos de câncer.

## Detectores Plásticos.

As informações abaixo foram retiradas da tese de doutoramento de **Sergio Roberto de Paulo**, orientado por **Julio César Hadler Neto**.

**Titulo da tese:** Dosimetria Ambiental de  $^{222}\text{Rn}$  e Filhos: medida de Eficiência Absoluta do Cr-39, levando-se em consideração o Plate-Out e fatores Ambientais.

- **LR-115:** (Pagina 28)

O LR-115 é um nitrato de celulose ( $\text{C}_5\text{H}_8\text{O}_2\text{N}_2$  [Il(89)]) de cor avermelhada (mas translúcido) disponível comercialmente em lâminas de  $\approx 13\mu\text{m}$  de espessura, montadas sobre uma base de plástico transparente comum (o mesmo que é utilizado em filmes fotográficos).

A condição de ataque químico ideal para o LR-115 [Du(84)] é obtida utilizando-se uma solução  $2,5\text{N}^1$  NaOH a  $60^\circ\text{C}$ . Essas condições de ataque podem ser consideradas como recomendadas [Il(89)] e são utilizadas pela maioria dos pesquisadores da área. O tempo de ataque é adequado aos objetivos dos experimentos utilizados e da condição de observação a ser utilizada por cada pesquisador. Por exemplo, se se deseja contar os traços por métodos automáticos, é preferível utilizar um tempo de ataque tal que a camada sensível do detetor ( $\approx 13\mu\text{m}$ ) seja quase que totalmente corroída, de forma que os traços se transformem em buracos, nessa camada sensível. Essa condição garante um grande contraste entre a camada vermelha de LR-115 e os próprios buracos (ou traços). Se, por outro lado, a observação é feita "manualmente" (ou seja, por um observador humano), é preferível um ataque de duração mais curta, pois ataques prolongados têm a propriedade de deformar os traços e, portanto, de dificultar a distinção entre os traços e outras figuras de ataque que aparecem após o ataque químico, devido a falhas ou imperfeições na própria estrutura do plástico.

---

<sup>1</sup>2,5N corresponde, por exemplo, à mistura de 20 gramas de NaOH com água até que o volume total da solução seja de 200ml (10% em massa-volume, portanto).

---



## Experimento

### Descrição Qualitativa

Nesse projeto detectores de plástico CR-39 (fórmula molar  $C_{12}H_{16}O_7$ ) previamente irradiados por partículas alfa foram atacados quimicamente em períodos de 2 minutos para que fosse observado o gradativo aumento do traço até que sejam alcançadas as dimensões satisfatórias para a observação.

Para atacar quimicamente o traço, foi usada uma solução de NaOH 1,5 molar dissolvida em metanol .A temperatura da solução deverá ser de 50 °C, aquecido em banho térmico na capela.

O ataque pode ser ou não uma parte da demonstração em sala de aula, dependendo do professor.

Neste projeto por motivos práticos a parte do ataque químico foi retirada da demonstração do experimento, um gráfico do tamanho do diâmetro em função do tempo de ataque foi retirado de uma das bibliografias mostrando o caráter linear para a temperatura da solução utilizada.

A observação ao microscópio eletrônico, dos detectores plásticos, nos períodos de dois minutos é a parte ilustrativa deste projeto que visa mostrar a evolução dos diâmetros e a utilidade destes tipos de detectores, utilizando apenas o ataque químico para revelar os traços, sendo mais eficiente e mais vantajoso o uso em relação aos detectores que utilizam de eletrônica, em relação às pesquisas de campo. Onde os detectores estarão sobre os efeitos naturais como mudanças de temperatura, umidade, e outros.

## Ataque Químico

O traço deixado pelas partículas nucleares em detectores sólidos tem dimensões muito pequenas (espessura da ordem de angstroms), para que seja possível a observação ao microscópio é utilizado um processo químico de revelação desses traços chamado comumente nessa linha de pesquisa, de **ataque**. Cujas utilidades são muito amplas devido à sua simplicidade. Sendo usados nos ataques, apenas simples componentes químicos como os utilizados neste projeto NaOH e metanol.

Atualmente há diversos tipos de ataques químicos sendo pesquisados no mundo inteiro, para que o processo de pesquisa em laboratório torne-se mais eficiente.

A perda de energia de uma partícula nuclear carregada, durante o percurso (Alcance Máximo residual), é transformada de tal forma que uma densidade de defeito quimicamente reativa com valor crítico, tenha uma direção privilegiada ao ataque químico devido à ionização ao longo do caminho deixado pela partícula.

O ataque químico tem duas velocidades de “revelação”, ou seja, de consumo do detector, uma ao longo do traço ( $V_T$ ) deixado pela partícula e outra que consome perpendicularmente a superfície irradiada do detector ( $V_B$ ).

Assim que a solução atacante atinge o fim da trajetória da partícula (traço deixado no detector sólido) a dissolução do material se torna isotrópica, em todas as direções, com taxas idênticas  $V_B$ .

As principais características dos Detectores de Traços de Partícula Nucleares em Estado Sólido (SSNTD) Alguns detectores ocorrem naturalmente, (minerais) sendo uma fonte de dados incrível, tendo uma vasta aplicação em **Estudos espaciais e da Terra** (geologia e fenômenos cosmológicos).

Tem grande duração de vida, exemplo: raios cósmicos gravados em meteoritos, que revelam detalhes ocorridos há bilhões de anos.

O fato de sofrerem efeitos devido à temperatura e processos dinâmicos, (Comprimento, diâmetro, densidade de traços, background, etc.) tem consequências muito úteis e variadas, como já foi mostrado no projeto nas páginas anteriores.

Devido à não necessidade de eletrônica, podem ser usados na pesquisa no campo, submetidos a vários fatores naturais, como mudança de temperatura, umidade, chuva, etc.

Geometria pequena, rigidez, baixo custo proporcionam grandes vantagens operacionais.

## Comentários

Uma das vantagens deste tipo de ataque é a velocidade, com a qual alcançamos um diâmetro de 10 $\mu$ m (dez micrometros), perfeito para a observação, permitindo assim uma metodologia didática rápida e eficiente, na demonstração do experimento aos alunos.

A parte mais difícil do experimento, seria irradiar com partículas alfa o detector plástico usado no experimento, à parte do ataque químico seria facilmente reproduzida até mesmo em um laboratório de colegial, já que as substâncias usadas não apresentam um risco grave ao serem manuseadas, tomando é claro as devidas precauções.

A parte do experimento na qual se observa ao microscópio óptico os traços de partículas alfa nos detectores, é a mais importante, pois ratifica a eficiência do método utilizado, na detecção de partículas nucleares.

Pode-se realizar a demonstração do experimento de duas maneiras:

- Realizando o ataque químico em sala de aula, com tempos de ataque sucessivos de dois minutos, realizando observações ao microscópio óptico entre esses ataques. Após um período total de oito minutos será feita a última observação quando o traço já apresentará as dimensões necessárias para uma observação eficaz. O ataque químico dos detectores seria então parte do experimento dos alunos, podendo ser realizado em laboratório de química, ou de física, devidamente equipados.
- Podem-se atacar previamente quatro detectores, com períodos de ataque respectivos a dois, quatro, seis e oito minutos, mostrando-os ao microscópio óptico evidenciando o “alargamento” das dimensões dos traços.
- Uma curva de ataque pode ser feita logo após a verificação dos diâmetros dos traços nos detectores irradiados ao microscópio óptico. Um gráfico pode ser plotado do diâmetro em função do tempo de ataque, que no caso teve um tempo total de oito minutos, com observações esporádicas de dois minutos.

- Uma comparação do gráfico feito em sala de aula pode ser feita com o gráfico abaixo retirado de uma das bibliografias do projeto<sup>[6]</sup>.

Abaixo o gráfico extraído de uma das bibliografias deste projeto<sup>[6]</sup>, que mostra para diversas temperaturas da solução de ataque utilizadas, o progresso de revelação dos traços (aumento do diâmetro dos traços) em função do tempo.

O gráfico pode ser mostrado em sala de aula para mostrar aos alunos a eficiência do ataque utilizado, enfatizando o fato de que a solução utilizada no ataque na temperatura de 50°C, tem um comportamento linear.

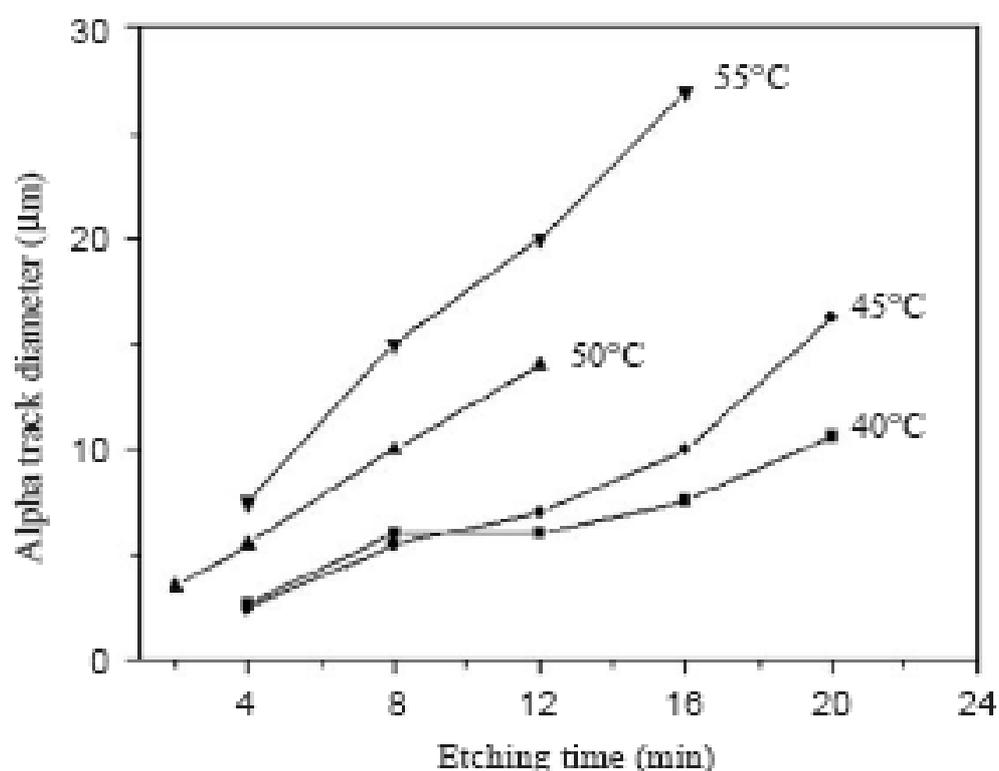


Fig. 2. Average alpha-particle track diameter as a function of etching time in CR-39 detectors etched in 1.5M NaOH dissolved in methanol at the listed temperatures.

## **Lista de Materiais**

- Microscópio óptico com aumento 10X40, a seco.
- Detector CR-39
- Capela
- Banho térmico para 50°C
- Dois béqueres de 1 litro
- Uma pipeta
- Balança
- Luvas cirúrgicas
- Água
- Metanol
- NaOH e Ácido acético

## **Referências:**

[1] - Fleischer L.R., Price P.B. e Walker R.M. (1975). *Nuclear Track in Solids, Principles & Applications*, University of California Press, Berkeley

[2] - Silk E.C.H. e Barnes R.S. (1959). Examination of fission fragments tracks with an Electron Microscope, *Philosophical Magazine*. **4**, 970-971.

[3] - S.R.Paulo (1991). *Dosimetria ambiental de Rn-222 e filhos: Medida da eficiência absoluta do CR-39 levando-se em conta os efeitos do plate-out e fatores ambientais*. Tese de Doutorado, Universidade Estadual de Campinas, Campinas-SP.

[4] - A.A.R. Da Silva (2005). *Radônio e filhos em residências de São Paulo*. Tese de doutorado. Instituto de Física, USP, São Paulo-SP

[5] - S. Guedes O., J.C.Hadler N., P.J.Iunes, L.M.S.Navia, R.S.Neman , S.R.Paulo, V.C.Rodrigues, W.F.Souza, C.A.Tello S. and A.Zúñiga G. (1999). Indoor radon daughters survey at Campinas-Brazil using CR-39 : First results. *Radiation Measurements*, **39**, 657-660.

[6] - Matiullah, S. Rehman<sup>1</sup>, S. Rehman<sup>2</sup>, N. Mati and S. Ahmad (2005). Some more new etchants for CR-39 detector, *Radiation Measurements*, **39**, 551-555.