



Universidade Estadual Paulista
“Júlio de Mesquita Filho”
Campus de Presidente Prudente

WILLIAN CÉZAR NADALETI

**DOSIMETRIA AMBIENTAL DO GÁS ^{222}Rn : UM EXEMPLO DE ESTUDO DAS
ÁGUAS DA REGIÃO DE PRESIDENTE PRUDENTE – SP E CONSIDERAÇÕES
SOBRE ABORDAGEM DO TEMA ATRAVÉS DO BANCO INTERNACIONAL DE
OBJETOS EDUCACIONAIS – BIOE.**

Presidente Prudente

2012

WILLIAN CÉZAR NADALETI

**DOSIMETRIA AMBIENTAL DO GÁS ^{222}Rn : UM EXEMPLO DE ESTUDO DAS
ÁGUAS DA REGIÃO DE PRESIDENTE PRUDENTE – SP E CONSIDERAÇÕES
SOBRE ABORDAGEM DO TEMA ATRAVÉS DO BANCO INTERNACIONAL DE
OBJETOS EDUCACIONAIS – BIOE.**

Trabalho de Graduação apresentado ao curso de Bacharelado em Engenharia Ambiental como exigência parcial para obtenção do título de Engenheiro ambiental, do Departamento de Planejamento, Urbanismo e Ambiente da Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Estadual Paulista.

Orientador (a): Prof.^a Dra. Ana Maria Osório Araya

Presidente Prudente

2012

Nadaleti, Willian César.
N127d Dosimetria ambiental do gás ^{222}Rn : um exemplo de estudo das águas da região de Presidente Prudente – SP e considerações sobre abordagem do tema através do Banco Internacional de Objetos Educacionais – BIOE / Presidente Prudente : [s.n], 2012
50 f

Trabalho de conclusão (bacharelado - Engenharia Ambiental) -
Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências e Tecnologia
Orientador: Ana Maria Osório Araya.
Banca: Elisa Tomoe Moriya Schlunzen, Danielle Aparecida Nascimento dos Santos.
Inclui bibliografia

1. Radioatividade. 2. Radônio. 3. BIOE. I. Araya, Ana Maria Osório. II. Universidade Estadual Paulista. Faculdade de Ciências e Tecnologia. III. Título.

TERMO DE APROVAÇÃO

Willian Cezar Nadaleti

**"DOSIMETRIA AMBIENTAL DO GÁS ^{222}Rn : UM EXEMPLO DE ESTUDO SOBRE
AS ÁGUAS DA REGIÃO DE PRESIDENTE PRUDENTE-SP E CONSIDERAÇÕES
DO TEMA ATRAVÉS DO BANCO INTERNACIONAL DE OBJETOS
EDUCACIONAIS - BIOE"**

Trabalho de graduação aprovado como um dos requisitos parciais para a obtenção do título de Engenheiro Ambiental da Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho" – Faculdade de Ciências e Tecnologia, *campus* de Presidente Prudente – SP, pela seguinte banca examinadora:



Profa. Dra. Ana Maria Osório Araya (Orientadora)



Profa. Dra. Elisa Tomoe Moriya Schlunzen



Msc. Daniele Aparecida Nascimento dos Santos

Presidente Prudente, 16 de novembro de 2012.

À

Noeli, minha maior inspiração.

AGRADECIMENTOS

Por muitos anos permaneci afastado dele, sem conseguir entender sua ligação com o meio científico. Com as palavras de **Louis Pasteur**: "Um pouco de ciência nos afasta Dele. Muito, nos aproxima." Obrigado por tudo, meu poderoso Deus.

À minha mãezinha preciosa Noeli Nadaleti, meu ponto de chegada e de partida, meu porto seguro, exemplo de trabalho, perseverança, fé, força e amor.

Ao meu pai Vilson Nadaleti, pela confiança depositada em mim, pelo apoio e por todo carinho.

À minha querida irmã, Kelen Nadaleti, pelos conselhos, palavras de amor e de correção.

Aos meus tios Catalina e Juracy José Lemos, que desde criança ensinaram-me a importância do estudo para alcançarmos uma vida melhor. Exemplos de humildade, bom humor e inteligência.

Às minhas mães intelectuais, Prof.^a Dra. Elisa Schlünzen e Prof.^a Ana Maria Osorio Araya, exemplos de humanidade, caridade e sabedoria. Me orientaram em seus grupos de pesquisa, e acima de tudo, pelo apoio em muitas das vezes que pensei em desistir.

Ao meu pai intelectual, Prof. Dr. Klaus Schlünzen Junior, pelas oportunidades de aprendizado e ensinamentos preciosos sobre a vida.

Aos colegas de graduação, pelos momentos de felicidade, tristezas, provas e trabalhos intermináveis, em especial à Nagiélie.

Aos professores: Prof.^a Dr.^a Tereza Higashi, Prof.^a Dra. Raquel Gomes de Oliveira, Prof.^a Dra. Danielle AP. dos Santos, e outros, que contribuíram para minha formação profissional e acadêmica.

Aos professores das disciplinas base da Engenharia (Fenômenos de Transporte, Tratamento de Efluentes, Álgebra Linear, Resistência dos Materiais, Cálculo Diferencial e Integral, Física, Cálculo Numérico, entre outros) que mostraram a mim e a todos os meus colegas que só é possível vencer após muitas madrugadas de dedicação.

Aos companheiros do Núcleo de Educação Corporativa, Helton, Ivan, Rafael, Luisa, Paula, Alinne, Baiano, com os quais aprendi muito e passei momentos de trabalho, estudo e reflexões.

À FUNDUNESP e ao Ministério da Educação pelo aporte financeiro na iniciação científica.

Aos funcionários da FCT/UNESP, em especial à Dona Altina, protetora incansável dos animais, que presenciei inúmeras vezes utilizar de seu salário de zeladora para cobrir cirurgias em cães e gatos de rua, e à Eliana da Graduação. Muito obrigado.

Aos meus melhores amigos, João Paulo Odorizzi e Marcio Pierezan simplesmente pela amizade, verdadeira e fiel sempre, ajuda e companheirismo.

Enfim, a todos que contribuíram para que esse trabalho pudesse ser finalizado. O meu muito obrigado.

RESUMO

Com o passar dos anos, a preocupação com a detecção dos teores de radionuclídeos presentes no meio ambiente tem aumentado, tendo em vista que eles são cancerígenos ao sistema respiratório humano. Presentes no ar, nas águas, no solo e nos materiais de construção, entre outras substâncias, os radionuclídeos são desconhecidos por grande parte da população. Neste trabalho, apresentamos o gás radioativo ^{222}Rn , elemento predominante entre todos os outros e uma das formas de sua detecção, em um exemplo de estudo nas águas da região de Presidente Prudente – SP, através do detector plástico conhecido como CR-39. No mesmo sentido, percebeu-se a necessidade de abordagem desse tema de forma mais ampla em escolas e até mesmo no ensino superior, uma vez que esse campo da física moderna e física ambiental geralmente é apresentado apenas em cursos de mestrado e doutorado. Dessa forma, buscou-se realizar a transposição didática escola-universidade, através da construção de um Objeto Educacional, OE, para ser inserido no Banco Internacional de Objetos Educacionais – BIOE e, por meio do desenvolvimento deste, contribuir para o conhecimento e entendimento da importância do monitoramento da radioatividade de forma acessível à população como um todo.

“Palavras-chave”: Radioatividade. Radônio. Banco Internacional de Objetos Educacionais.

ABSTRACT

Over the years, the concern with the detection of the levels of radionuclides in the environment has increased, given that they are carcinogenic to the human respiratory system. Present in the air, waters, soil and building materials, among other substances, radionuclides are unknown by most of the population. In this paper, we present the radioactive gas ^{222}Rn , predominant element among all others and one way of detecting it in an example study of the waters of the Presidente Prudente - SP, through the plastic detector called CR-39. Likewise, we realized the need to approach this issue more broadly in schools and even in higher education, since this field of modern physics and environmental physics usually appears only in master's and doctorate. Thus, we attempted to perform the didactic transposition school-university, through the construction of an object Educational, OE, to be placed on the Bank for International Educational Objects - bioethanol and by developing this contribute to the knowledge and understanding of the importance of monitoring of radioactivity in a way accessible to the population as a whole.

“Keywords”: Radioactivity. Radon. Bank for International Educational Objects.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Radiação Natural.....	14
Figura 2 - Concentração de radônio geológico nos Estados Unidos	21
Figura 3 - Imagem demonstrativa de como o gás ^{222}Rn penetra nas casas	22
Figura 4 - Série radioativa do U-238.....	24
Figura 5 - Contribuição de diversas fontes de radônio em moradias	27
Figura 6 - Imagens de traços de partículas α	29
Figura 7 - Quantitativo de Recursos. Fonte: Ministério da Educação.....	31
Figura 8 - Quantitativo por área	33
Figura 9 - Tela 3 do OE Gás Radônio	35
Figura 10 - Tela 4 OE Gás Radônio	36
Figura 11 - Tela 10 do OE Gás Radônio	36
Figura 12 - Tela 17 do OE Gás Radônio	37
Figura 13 - Tela 26 do OE Gás Radônio	37
Figura 14 - Visualizações por país (Top 10). Fonte: Ministério da Educação.	39
Figura 15 - Downloads por países (Top 10). Fonte: Ministério da Educação.....	40
Figura 16 - Fórmula estrutural do CR-39	45
Figura 17 – Localização do detector dentro do recipiente.....	48
Figura 18 – Ataque químico dos traços latentes.....	49

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Unidade de medição e equivalências	18
Tabela 2 - Doses de radiação permitidas	18
Tabela 3 - Taxa de exalação do ^{222}Rn em alguns materiais de construção	23
Tabela 4 - Exposição à radiação em seres humanos devido a radionuclídeos internamente depositados	25
Tabela 5 - Propriedades do ^{222}Rn e seus filhos.....	25
Tabela 6 - Exposição dos detectores em diferentes regiões para a análise da atividade radioativa em amostras de água.....	31
Tabela 7 - Quantitativo por área.....	32
Tabela 8 - Dados obtidos da análise dos detectores expostos em distintas amostras de águas.....	40
Tabela 9 - Exposição dos detectores em diferentes regiões para a análise da atividade radioativa em amostras de água.....	48

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	13
2 JUSTIFICATIVA	15
3 OBJETIVOS	16
4 CARACTERÍSTICAS GERAIS DAS RADIAÇÕES	16
4.1.1 Principais tipos de radiação	16
4.1.2 Radioatividade	17
4.1.3 Características dos elementos radiativos	19
4.1.4 O ^{222}Rn e os materiais de construção	20
4.2 O Gás ^{222}Rn	23
4.3 Presença do ^{222}Rn em residências e sua detecção	26
4.3.1 Detector Plástico.....	28
5 CONSIDERAÇÕES SOBRE RADIOATIVIDADE AMBIENTAL NO BANCO INTERNACIONAL DE OBJETOS EDUCACIONAIS – BIOE.	29
5.1.1 O BIOE para a Educação Ambiental.....	32
5.2 Construção de um objeto educacional: saúde do homem e meio ambiente.	34
6 RESULTADOS OBTIDOS	40
7 CONCLUSÕES.....	41
REFERÊNCIAS	43
APÊNDICE A	45

1 INTRODUÇÃO

No século XVI, o adoecimento de trabalhadores de minas foi observado e anos depois diagnosticado como câncer de pulmão. A constatação de que as altas taxas de câncer em mineiros estavam relacionadas com a presença de elementos radioativos como o Radônio (^{222}Rn) e seus produtos de decaimento, deu-se no início dos anos 50. Dessa forma, iniciou-se uma preocupação crescente relacionada com as doses deste tipo de radiação a que as pessoas estão sujeitas (NAZAROFF, 1988).

O ser humano vive continuamente exposto à radioatividade natural, proveniente principalmente de materiais da crosta terrestre que possuem na sua constituição elementos químicos pertencentes às famílias radioativas do urânio e do tório. Esses materiais, utilizados para a construção de casas, constituem-se numa importante fonte de radiação ionizante, principalmente no que diz respeito à presença do gás radioativo Radônio que deles é emitido.

De todas as formas de contaminação radioativa, a mais insalubre, do ponto de vista da população como um todo, é a relacionada com a presença de átomos de ^{222}Rn e filhos no ar. Chamam-se filhos os elementos formados pelo decaimento do ^{222}Rn , ou seja, o decaimento radioativo do ^{222}Rn gera outros elementos que também são radioativos. Eles são isótopos de elementos químicos que tem facilidade de estabelecer ligações químicas. Os possíveis danos causados à saúde não são primariamente devidos ao radônio, pois ao ser inalado, este não fica retido no sistema respiratório por ser um gás nobre, sendo expirado ao ar. No entanto, seus filhos ligam-se a aerossóis em suspensão no ar, podendo ser inalados e posteriormente depositados no aparelho respiratório dos seres humanos, e ao decair expõem os tecidos à radiação alfa, possibilitando o desenvolvimento de células cancerígenas (câncer pulmonar), dependendo da dose de radioatividade recebida (KHAN, 2000).

Desde a década de 80, estuda-se a contaminação ambiental por radônio e filhos (CONSELHO NACIONAL DE RADIOPROSPECÇÃO - NCRP, 1988; NAZAROFF, 1988; NEUBERGER, 1991; COHEN, 1992 apud NEMAN 2000). Esses estudos apontam que cerca de 10000 casos de câncer do aparelho respiratório a cada ano, nos Estados Unidos devem-se a dose recebida pelas pessoas em suas casas ou trabalho (COHEN, 1992). Essa estimativa coloca esse tipo de contaminação em primeiro lugar, em termos de insalubridade, excedendo estimativas correspondentes a outras fontes de radioatividade natural (como raios cósmicos e presença de outros elementos radioativos na crosta terrestre e atmosfera), como também artificial (MARMIER, 1971 apud NEMAN 2000), incluindo, neste ultimo caso, a contaminação por dose decorrente da atividade de usinas nucleares (que é cerca de 10.000

vezes menor que a correspondente à inalação de ^{222}Rn e filhos, de acidentes e teste nucleares; e devido ao uso de radioatividade na medicina (raios-x por exemplo) (EINSENBUD, 1989).

No ano de 1955, o Public Health Service (EUA) baseado em estatísticas disponíveis sobre a incidência de câncer pulmonar em mineiros estabeleceu o limite máximo de exposição a filhos de Rn-222 como sendo $1,3 \times 10^5$ Mev de energia potencial alfa por cada litro de ar ambiental. E para o público em geral adotou o equivalente a 1 pci/l de ^{222}Rn em equilíbrio de atividade com seus filhos.

Também no ano de 1955 foram realizadas experiências com ratos que foram expostos a um atmosfera de ^{222}Rn e filhos e outra atmosfera contendo apenas ^{222}Rn . Verificou-se que a radiação α (que é emitida pelos filhos do ^{222}Rn) nos pulmões dos ratos era maior apenas naqueles que ficaram expostos à atmosfera que continha filhos do ^{222}Rn . Entre 1953 e 1954 foram reportadas uma série de experimentos com ratos, cães e humanos que confirmaram que a principal parcela da dose se deve aos átomos e filhos do ^{222}Rn (CHAMBERLAIN, 1956).

O NCRP 88 (Conselho Nacional de Radioproteção dos Estados Unidos) avalia que 55% da exposição total do homem à radioatividade natural é devida a inalação do ^{222}Rn e de seus filhos, como mostra a Figura 1.

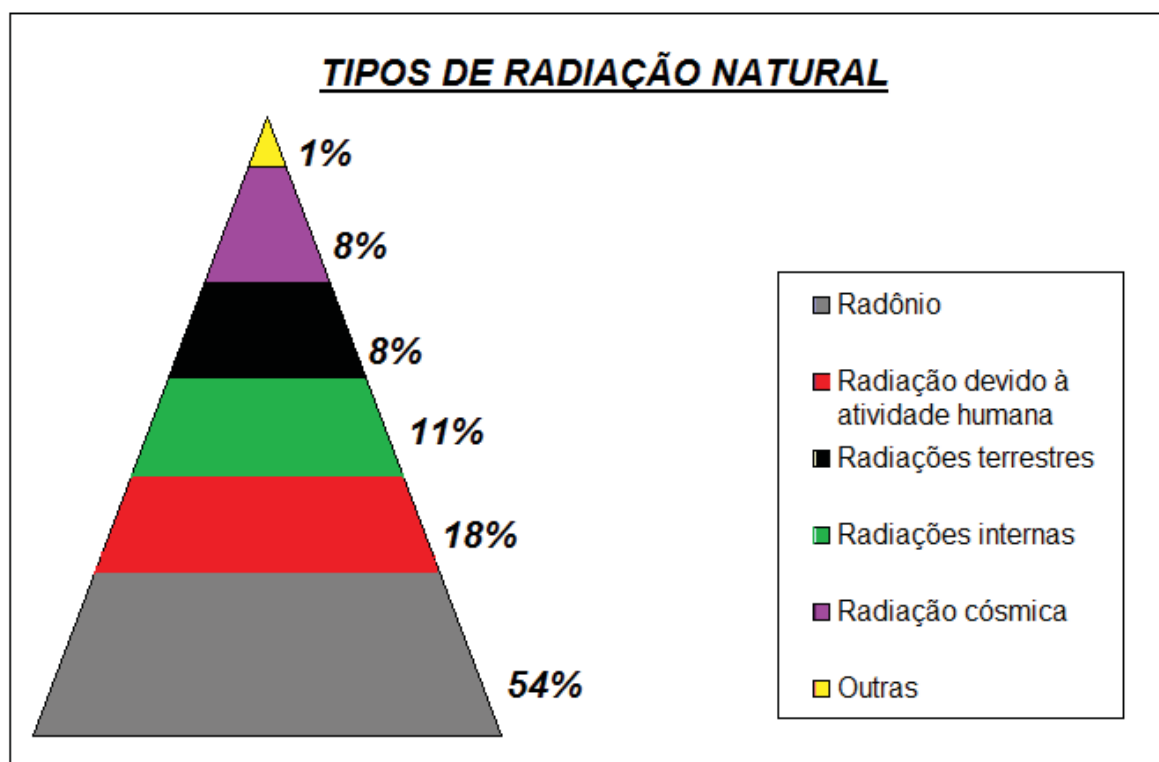


Figura 1 – Radiação Natural.
Fonte: NCRP 88

No tocante à contaminação das águas destinadas ao consumo da população devido ao ^{222}Rn e filhos, também foram realizadas pesquisas em diversos países, fato que levou os pesquisadores da Faculdade de Ciências e Tecnologia FCT/UNESP a realizar um estudo em águas na região de Presidente Prudente.

Uma das vias através das quais os radionuclídeos naturais, principalmente ^{226}Ra e ^{222}Rn podem ser transferidos ao homem é a água. Devido a isso, a determinação destes radioisótopos na água utilizada para consumo doméstico é de importância primordial para prevenir algum dano à saúde associada à sua ingestão. Estudos que comparam doses recebidas pelo pulmão com doses recebidas pelo estômago mostraram que a concentração do radônio provindo da água é três vezes maior que a do radônio encontrado no ar.

As colocações expostas levaram a realizar um levantamento sobre a radioatividade das águas na região de Presidente Prudente e pesquisar métodos de inclusão deste tema no Ensino Médio, pois existe atualmente uma preocupação no ensino das ciências no sentido de apresentá-la como um produto de pesquisas realizadas no decorrer do tempo e não como teorias que surgiram e estão totalmente comprovadas, acabadas. Por isso, a importância de promover a transposição didática do tema radioatividade na escola, visto que é um assunto atual e de interesse da população.

No capítulo IV apresentam-se as características da radioatividade e suas unidades de medida, bem como uma das formas de detectá-la. As informações técnicas sobre a obtenção dos dados se encontram no apêndice.

No capítulo V apresentam-se algumas considerações sobre o Banco Internacional de Objetos Educacionais - BIOE e sobre Objetos Educacionais – OE. As etapas para a confecção de um protótipo de um OE sobre a radioatividade nas residências também é abordada neste capítulo. O objetivo é de possibilitar a inclusão do tema na escola, frente à carência de informações desta área do conhecimento no BIOE.

No capítulo VI são apresentados os resultados desta pesquisa e no capítulo VII são expostas as conclusões e sugestões para trabalhos futuros.

2 JUSTIFICATIVA

Existe atualmente uma preocupação no ensino das ciências no sentido de apresentá-la como um produto de pesquisas realizadas no decorrer do tempo e não como teorias que surgiram e estão totalmente comprovadas, acabadas. Além do que, é importante promover a

transposição didática do tema radioatividade na escola, visto que é um assunto atual e de interesse da população.

Por outro lado, considerando primordial a saúde do homem, através do levantamento da radioatividade nas águas da região de Presidente Prudente – SP é possível ter-se um panorama da concentração do respectivo gás nessa área.

3 OBJETIVOS

3.1 Geral

Realizar um levantamento sobre a radioatividade das águas na região de Presidente Prudente - SP e pesquisar métodos para construção de um OE sobre o tema, bem como sua inclusão no BIOE.

3.2 Específicos

- i- Realizar análises da radioatividade ambiental do gás radônio em amostras de água da região de Presidente Prudente – SP;
- ii- Fazer um levantamento do tema Radioatividade e Física Moderna no Banco Internacional de Objetos Educacionais;
- iii- Construir um protótipo de um Objeto Educacional sobre o tema Radioatividade Ambiental do gás ^{222}Rn para abordagem em salas de aula de Ensino Médio e Superior.

4 CARACTERÍSTICAS GERAIS DAS RADIAÇÕES

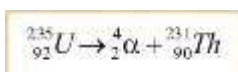
4.1.1 Principais tipos de radiação

A radioatividade pode ser definida como a propriedade que alguns elementos possuem de transformar-se espontaneamente em outros, emitindo ao mesmo tempo diversos tipos de radiação que se classificam essencialmente em: radiação alfa (α), radiação beta (β) e radiação gama (γ). A radiação alfa (α) é constituída por dois prótons e dois nêutrons, sendo semelhante ao núcleo (^4_2He). As partículas alfa são partículas pesadas e de carga positiva, que provocam

ionizações ao longo de seu percurso. Sua trajetória é muito curta, medindo-se em micrômetros na água.

A primeira lei enunciada por Soddy¹ nos relata que:

“Quando um núcleo emite uma radiação alfa, seu núcleo atômico diminui de duas unidades e seu número de massa diminui de quatro unidades”.



Com relação ao poder de penetração de cada partícula, a radiação alfa, com sua massa de prótons e nêutrons, é barrada por uma folha de papel e no caso de irradiação de seres vivos penetra apenas na camada superficial da pele, constituída normalmente de células mortas (MAZZILLI; MÁDUAR; CAMPOS; 2012). Assim, segundo os autores, pode ser potencialmente perigosa se entrar no corpo através de uma ferida, ingerida ou inalada. Já a radiação beta é mais penetrante: desde alguns milímetros até centímetros nos tecidos vivos, conforme a sua energia. A radiação gama, que tem a velocidade da luz, pode atravessar blocos de chumbo ou concreto. A seguir, abordamos as fontes de radiação mais importantes e como medi-las.

4.1.2 Radioatividade

As fontes de radiação terrestre mais importantes são o ${}^{40}\text{K}$, o ${}^{87}\text{Rb}$ e as duas séries de elementos radioativos que tem sua origem no decaimento do ${}^{238}\text{U}$ e ${}^{232}\text{Th}$. Estes radionuclídeos são denominados de primordiais por terem sua origem inerente ao processo de formação do Universo. Contudo, nos bilhões de anos em que a Terra existe, os radionuclídeos de meia vida curta desapareceram. Os radionuclídeos presentes até hoje no nosso planeta são aqueles cuja meia vida é comparável à idade da Terra (MAZZILLI; MÁDUAR; CAMPOS; 2012).

Para medir a radioatividade, como por exemplo, a do ${}^{222}\text{Rn}$, utiliza-se o becquerel por metro cúbico (Bq/m^3), como unidade que equivale à desintegração de um elemento como o

¹ Frederick Soddy (1877-1956). Químico britânico nascido em Eastbourne, Sussex, um dos pioneiros da *Teoria da Estrutura Atômica*, desintegrações radioativas e demonstrou a possibilidade da existência dos isótopos (1913), inclusive criando este termo. Ganhou o Prêmio Nobel de Química (1921) por este feito.

Urânio, em um segundo. Antigamente, a radioatividade era geralmente medida em picocuries (pCi), em homenagem à física francesa chamada Marie Curie. Um pCi é igual ao decaimento de aproximadamente dois átomos radioativos por minuto.

A unidade picocúrio por litro (pCi/l) é utilizada para medir os níveis de ^{222}Rn . Um pCi equivale a 37Bq/m^3 . Já a ação da radiação sobre a matéria mede-se em grays (Gy). Um Gy equivale a um Joule por quilograma. Também se mede em rad, que é um centésimo de Gy. Por último, para medir a atividade radioativa sobre os seres vivos utiliza-se o sievert (Sv), ou o rem, que equivale a um centésimo de sievert. Essas unidades estão expostas na Tabela 1.

Tabela 1 – Unidade de medição e equivalências

	Unidades	Relações entre as unidades
Atividade	1 <u>cúrio</u> (Ci) = 37 milhões de desintegrações por segundo. 1 <u>becquerel</u> (Bq) = 1 impulso/s	1 Ci = $3,7 \times 10^{10}$ Bq.
Doses de radiação	1 <u>rad</u> * = 1/100 J/kg 1 <u>gray</u> (Gy) = 1 J/kg	1 Gy = 100 rad
Doses equivalentes sobre um ser humano	1 <u>rem</u> * = 1/100 J/kg 1 <u>sievert</u> (Sy) = 1 J/kg	1 Sv = 100 rem

*As unidades rem e rad caíram em desuso.

A energia depositada pela radiação em uma unidade de massa de um material é a dose absorvida. A unidade que mede a dose de radioatividade recebida ou absorvida em forma de radiação ionizante é o rad, equivalente a 100 ergs de energia por grama de matéria irradiada. Tratando-se de seres vivos emprega-se preferencialmente o rem, equivalente à quantidade de radiações que produzirá no tecido humano, o mesmo efeito de um roentgen de raios X de 200 kV (NCRP, 1988). A dose máxima de radiação tolerada, admitida pela Organização Mundial da Saúde, é de 500 mR/ano (500 milirems, ou seja, 0,5 rems ao ano). As doses permitidas se encontram na Tabela 2.

Tabela 2 - Doses de radiação permitidas

Doses equivalentes máximas permissíveis em exposição profissional

Exposição de corpo inteiro	5 rem/ano
Acúmulo em longo prazo até n anos	$(n-18) \times 5$ rems
Pele	15 rems/ano
Braços	30 rems/ano
Outros órgãos, tecidos	15 rems/ano
Mulheres férteis	0,5 rems durante o período de gestação
Doses limites para o público ou indivíduos expostos ocasionalmente	
Individual ou ocasional	0,5 rems/ano
Estudantes	0,1 rems/ano
Doses limite para a população	
Genética	0,17 rems/ano
Somática	0,17 rems/ano
Familiares de pacientes radioativos (diagnóstico, terapêutica, etc.)	
Individual (maiores de 45 anos)	5 rems/ano
Individual (menores de 45 anos)	0,5 rems/ano
Limites das doses recomendadas pelo Conselho Nacional de Radioproteção dos Estados Unidos (NCRP 1988)	

Quando se fala em concentração de radiação em alguns locais específicos do Brasil, na região de Poços de Caldas, Minas Gerais, por exemplo, existe uma colina chamada Morro do Ferro. Nesse local, os níveis de radiação assumem valores da ordem de 250 mSv/ano. Este lugar não é habitado. Por outro lado, na cidade de Guarapari, onde vivem cerca de 12.000 habitantes e recebe até 30.000 visitantes durante as férias, são encontrados níveis da ordem de 175 mSv/ano, em algumas praias cujas areias são ricas em tório. Os níveis normalmente observados nas casas da região variam de 8 a 15 mSv/ano (MAZZILLI; MÁDUA; CAMPOS; 2012).

Assim, é possível verificar que dependendo do local habitado da Terra, as pessoas podem estar em maior ou menor contato com radionuclídeos, como os habitantes que vivem no extremo setentrional do hemisfério norte e cuja dieta alimentar baseia-se na carne de rena. Essa carne apresenta concentrações elevadas de radionuclídeos, em particular o ^{210}Po . Esse fato pode ser explicado pelo fato de que no inverno, as renas se alimentam de líquens que acumulam muito ^{210}Po . Esse moradores acabam recebendo uma dose 35 vezes maior do que os valores normais. Já no oeste da Austrália, as pessoas recebem doses 75 vezes superiores aos valores normais em virtude do fato de consumirem carne de ovinos e cangurus, que crescem nessa região rica em Urânio. (MAZZILLI; MÁDUAR; CAMPOS; 2012).

4.1.3 Características dos elementos radiativos

O urânio e o tório são “os pais” de duas séries radioativas. Estes elementos originam-se de materiais que compõem a crosta terrestre e que passam por processos de desintegração.

Quando sofrem desintegração, os elementos originais transformam-se em outros elementos, também radioativos, denominados “filhos”, até chegar ao último elemento da cadeia, já estável. O ^{222}Rn é um gás nobre produzido diretamente pelo decaimento radioativo do elemento Rádio-226 (^{226}Ra), presente nas rochas, no solo e, portanto, nos materiais de construção. O ^{222}Rn faz parte da cadeia do Urânio (^{238}U) e origina filhos também radioativos, que emitem partículas alfa (α).

Dentre todas as fontes de radiação artificial, a maior e uma das mais perigosas é a de origem médica. São as exposições radiológicas e os medicamentos radioativos para o tratamento de câncer, por exemplo. E ainda, dados de países industrializados indicam que são realizados de 300 a 900 exames para diagnóstico por ano para cada 1000 habitantes (excluindo os realizados em clínicas dentárias e estudos radiográficos populacionais). Entretanto, a frequência de tais exames tem decaído nos países industrializados como Suécia, Reino Unido e Estados Unidos. Mesmo assim, em diversos outros países, aproximadamente um terço da população continua sendo examinada anualmente de forma massiva (MAZZILLI; MÁDUAR; CAMPOS; 2011). No próximo subitem, abordamos a presença do gás radônio nos materiais de construção.

4.1.4 O ^{222}Rn e os materiais de construção

Os materiais de construção são comumente derivados de materiais naturais como areia, argila, cal e pedra, os quais contêm traços de urânio, rádio, tório entre outros. A liberação de radônio por esses materiais contribui para a exposição do indivíduo ao radônio e seus produtos de decaimento (RIO DOCE, 1997).

O ^{222}Rn emana do subsolo através de microfissuras abertas pelas correntes subterrâneas de água e falhas geológicas. Ele se encontra em zonas graníticas (solos derivados do granito), e se concentra em residências, principalmente as deficientemente ventiladas ou que fazem uso constante de aparelhos de ar condicionado. Uma vez que o gás penetra no edifício, por meio do solo ou fluindo de materiais utilizados em sua construção, muito dificilmente é retirado. A vida média do ^{222}Rn é de 3,8 dias, espaço de tempo durante o qual decompõe-se, originando o Polônio. Dependendo do tipo do solo, do terreno e dos materiais empregados na construção, os níveis de radiação podem alcançar cotas elevadas (BUENO, 1992).

Traços do mineral radioativo radônio podem ser encontrados em todas as rochas, especialmente granito. Nos Estados Unidos, de acordo com o mapa da figura 2 (FIX-YOUR-RADON, 2009) grandes quantidades de urânio são encontradas principalmente no Ocidente, apesar de que grandes depósitos também foram localizados em outras regiões, incluindo o Texas, no sul da Virgínia e Pensilvânia. Partes de cada continente têm concentrações mais elevadas do que outros. Nos Estados Unidos isso é muito evidente, como pode ser visto na Figura 2.

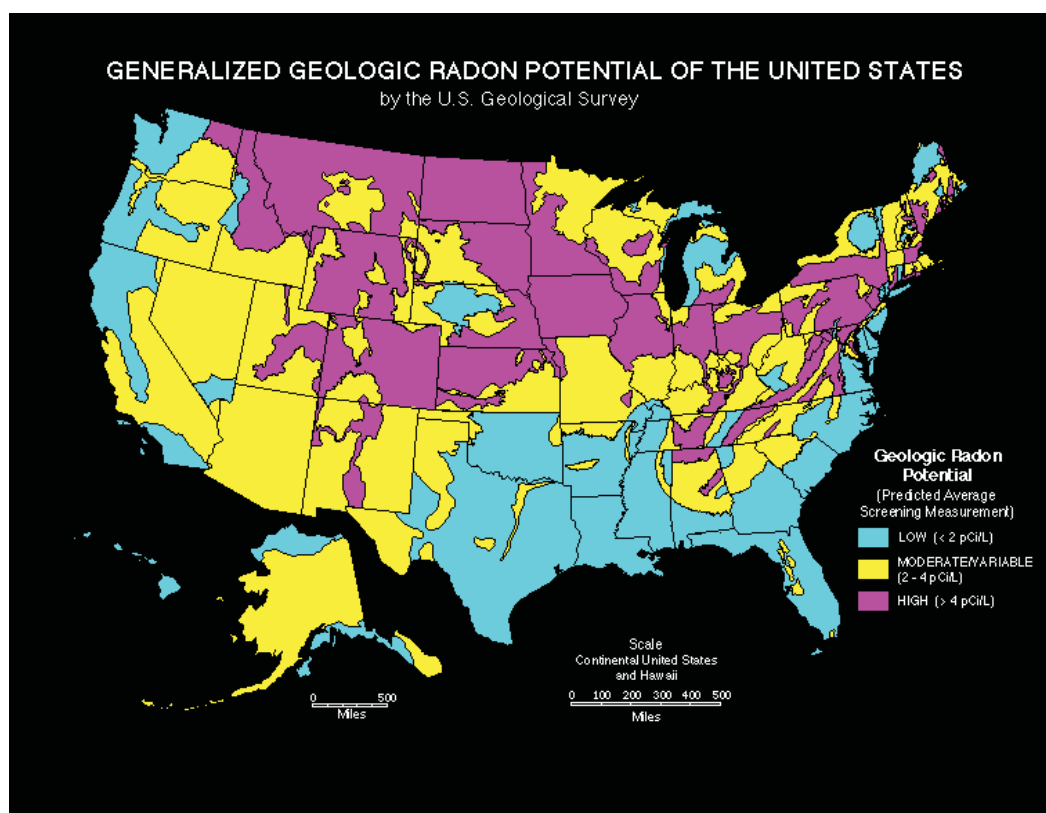


Figura 2 - Concentração de radônio geológico nos Estados Unidos
Fonte: fix-your radon.com (2009).

O mapa da figura 2 é "generalizado" e mesmo em áreas de baixo nível há um percentual significativo de casas com alto nível de radônio que foram testados nas áreas azuis não visíveis neste mapa. A Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos recomenda que em todas as casas sejam realizadas medidas para a dose de radioatividade, devido ao risco de câncer de pulmão relacionados (FIX-YOUR-RADON, 2009).

A penetração desse gás em ambientes de convívio humano como, por exemplo, em casas, esta representada na Figura 3.

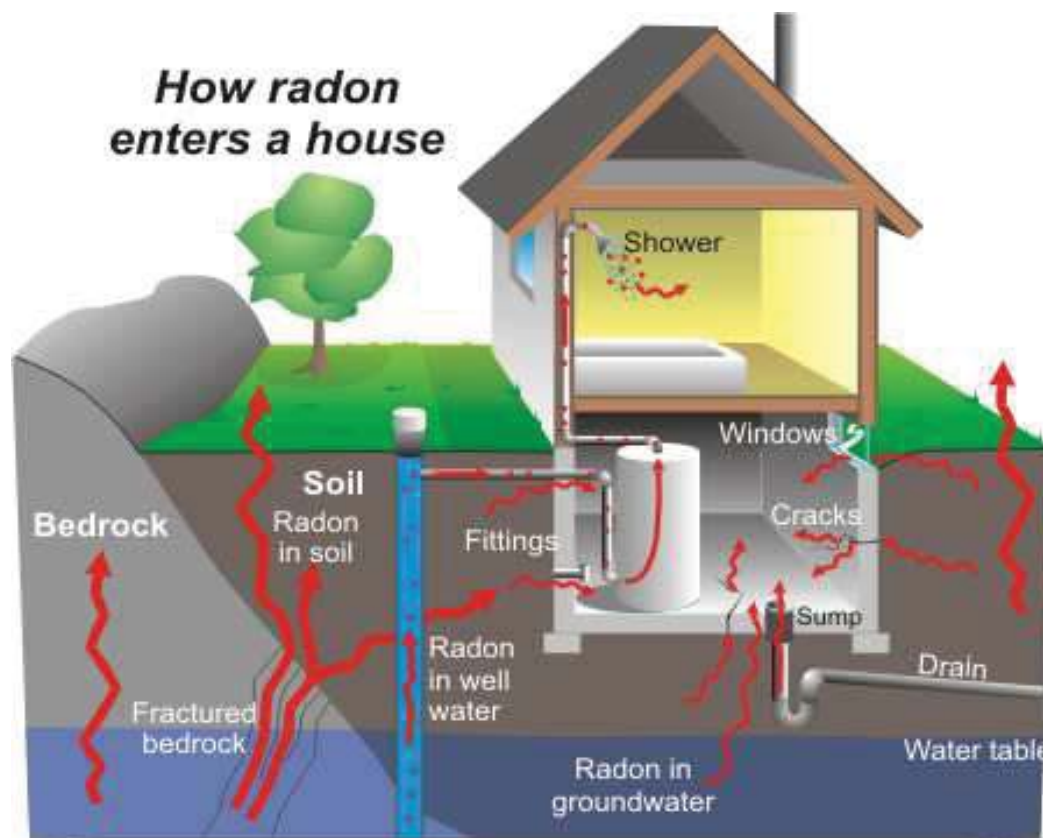


Figura 3 - Imagem demonstrativa de como o gás ^{222}Rn penetra nas casas
 Fonte: fix-your-radon.com (2009).

Quando construímos nossas casas, dependendo do tipo de decoração interna utilizada nas paredes para revestir os materiais de construção, pode-se diminuir ou aumentar a emissão do gás radônio (ABU-JARAD, 1988).

De acordo com Yu (1993), um parâmetro muito importante a ser considerado no estudo da emissão do Rn-222 no ambiente, é o tipo de revestimento empregado na construção. Materiais como madeira e ladrilho, desprendem relativamente pouco ^{222}Rn já granito é muito mais radioativo. Bueno (1992) relata que o cimento empregado nos materiais contém em sua composição produtos como o silicato de cálcio que é um subproduto altamente radioativo no tratamento do mineral de fosfato. E ainda, a cerâmica, a olaria e seus vitrificados podem conter pequenas quantidades de tório e urânio, dependendo da origem da argila. O mesmo autor cita que subprodutos como o ferro aluminato de cálcio e o carbonato de cálcio são também produtos altamente radioativos.

Devido a esses problemas, pesquisas tem sido realizadas a fim de tentar diminuir o teor de radioatividade no ambiente. Pode-se citar como exemplo, o desenvolvimento de um

concreto leve (Lightweight concrete), onde na sua composição não há mais o granito, que é muito radioativo e é a fonte principal de ^{222}Rn no cimento.

Na Tabela 3 é possível analisar-se a contribuição quantitativa de diferentes tipos de materiais de construção, utilizados em ambientes de convívio humano.

Tabela 3 - Taxa de exalação do ^{222}Rn em alguns materiais de construção

Materiais de Construção	Número de amostras	Densidade média de traços (traços cm^{-2})	Taxa de produção de traços (traços $\text{cm}^{-2} \text{ dia}^{-1}$)	Taxa de exalação do ^{222}Rn ($\text{mBq m}^{-2} \text{ h}^{-1}$)
Tijolo de argila (não cozido)	5	3.17×10^3	106	169
Tijolo de argila (cozido)	5	1.8×10^3	60	94
Concreto	3	1.2×10^3	40	63
Mármore	3	7.6×10^2	25	40
Vidro	5	6.7×10^2	22	35
Mosaico	2	5.3×10^2	18	28
Areia	5	2.06×10^3	69	108
“Gypsum”	5	9.8×10^2	33	52
Pedra calcária	3	2.35×10^2	8	13
Cimento	6	6.8×10^2	23	36

Fonte: Khan (2000).

Apresentamos a seguir, características do ^{222}Rn , assim como métodos para sua detecção.

4.2 O gás ^{222}Rn

O ^{222}Rn é um gás nobre, inerte e de fácil difusão. Pode ser encontrado em ambientes de convívio humano graças ao urânio presente no solo e nos materiais de construção que contém substâncias retiradas do solo para sua produção.

O gás ^{222}Rn é originado pelo decaimento radioativo do elemento ^{226}Ra , que perde dois prótons e dois nêutrons. Esse é um processo espontâneo onde o elemento que decai tende a se estabilizar, rompendo sua estrutura para gerar um outro elemento, naturalmente. O ^{222}Rn também sofre decaimento radioativo, liberando uma partícula alfa e formando o elemento ^{218}Po . E, por ser um gás nobre, possui mobilidade e não reage quimicamente com outros elementos à temperaturas normais.

Dentre os radionuclídeos que são naturalmente radioativos encontram-se o Urânio (U), e o Tório (Th). O ^{238}U é o primeiro elemento da cadeia de decaimento e gera o ^{226}Ra e o ^{222}Rn . Ele é conhecido como elemento pai, e o ^{226}Ra e ^{222}Rn são os filhos. O gás ^{222}Rn

Na Tabela 4 apresentam-se as doses de radiação oriundas de todas as fontes de radiação natural. Dados do United Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation (UNSCEAR, 1988), com valores individuais médios anuais expressos em microsievvert (μSv).

Tabela 4 - Exposição à radiação em seres humanos devida à radionuclídeos internamente depositados

Fonte	Dose (μSv)
Cosmogênica	15
K-40	180
Rb-87	6
U-238 $\rightarrow$ Ra-226	19
Rn-222 $\rightarrow$ Po-214	1100
Pb-210 $\rightarrow$ Po-210	120
Rn-220 $\rightarrow$ Tl-208	160
Total	1600

Fonte: UNSCEAR, 1988

A tabela 4 mostra a predominância da dose devida ao ^{222}Rn e filhos entre os demais radionuclídeos internamente depositados, correspondendo a aproximadamente 70% da dose total.

A Tabela 5 apresenta algumas propriedades do ^{222}Rn e filhos. Observa-se na tabela que as meias-vidas dos primeiros filhos do ^{222}Rn emissores de partículas alfa (^{218}Po e ^{214}Po) são bastante curtas (na ordem de minutos), contribuindo para que a atividade dos filhos do ^{222}Rn no interior de ambientes seja comparável a atividade do ^{222}Rn . Já a atividade do ^{210}Pb e dos seus filhos, seria comparada a atividade do ^{222}Rn apenas numa condição onde o ambiente permaneça fechado por um período de tempo muito longo (21 anos). O interesse do estudo fica reduzido a apenas uma parte da série radioativa do ^{238}U : a parte que corresponde ao ^{222}Rn , ^{218}Po e ^{214}Po , que liberam energia alfa.

Tabela 5 - Propriedades do ^{222}Rn e seus filhos

Isótopo	Nome tradicional	Meia-vida	Radiação	Energia
Rn-222	Radônio	3,823 dias	α	5,49 MeV
Po-218	Rádio A	3,05 min.	α	6,00 MeV
Pb-214	Rádio B	26,8 min.	β, γ	
Bi-214	Rádio C	19,7 min.	β, γ	
Po-214	Rádio C'	164 μs .	α	7,69 MeV
Pb-210	Rádio D	21 anos	β, γ	
Bi-210	Rádio E	5,01 dias	β	
Po-210	Rádio F	138,4 dias	α	5,30 MeV
Pb-206	Rádio G	Estável		

Fonte: ICRP (1993).

No subitem seguinte, são apresentadas algumas das formas como o ^{222}Rn pode adentrar uma residência.

4.3 Presença do ^{222}Rn em residências e sua detecção

A emissão do gás proveniente de um material que contém radônio denomina-se *emanação*. Os isótopos desse gás gerados, sendo gases inertes, tendem a escapar dos sólidos na fase gasosa, mas somente uma fração do que foi gerado entra nos poros do material hospedeiro (FIOR, 2008).

O ^{222}Rn pode adentrar nos ambientes de convívio humano de diversas fontes, tais como:

- O solo ou rochas que estão na crosta terrestre;
- Através da água de uso doméstico;
- Por meio do gás natural;
- Por meio dos materiais de construção (concreto, rochas, tijolos, etc) que são fabricados a partir de matérias-primas retiradas do solo.

No caso do gás radônio, embora as medidas se concentrem no isótopo ^{222}Rn , pelo fato de sua meia vida ser de 3,8 dias, os malefícios causados pela inalação do gás são devidos principalmente aos descendentes de vida curta do ^{222}Rn . Segundo Porstendörfer (1996) apud Fior (2008), não é o ^{222}Rn e, sim, seus produtos de decaimento de vida curta os principais responsáveis pela dose de radiação natural recebida pela população. Assim, a difusão relacionada à adsorção aos aerossóis são fatores que influenciam de forma direta as medidas da concentração de radônio em ambientes externos e internos.

Um parâmetro a ser considerado diz respeito ao tipo de revestimento empregado nas edificações. A utilização de papéis de parede e materiais cerâmicos pode diminuir a concentração deste gás (YU, 1993).

Em residências analisadas na cidade de Campinas, de acordo com Gamarra (1998) todas as atividades medidas ficaram acima dos valores médios nas residências sem pintura, nas residências cujas paredes foram “pintadas” apenas com selador (produto à base de PVC que antecede a tinta sobre o reboco com função de impermeabilizante) e nas residências onde

a parede recebeu apenas cal. Da mesma forma aconteceu com as residências que apresentavam cimento queimado como piso.

No mesmo estudo, evidenciou-se que em apartamentos, as atividades eram da ordem de 40% menores do que a das casas, fato que pode ser atribuído à sua maior distância em relação ao solo. Ora, por ser um gás pesado, quanto mais longe do solo, menor a concentração do gás radônio (CORRÊA, 2011). Todavia, é preciso também investigar se a baixa atividade observada nesse local se deve à sua maior distância do solo ou devido a quantidade reduzida de matéria (por unidade de volume de ar) que envolve os esses ambientes (uso de finas paredes feitas com tijolos baianos, por exemplo).

Por meio do revestimento de pisos e paredes, podem-se reduzir os níveis de radônio presentes nas moradias (MAZZILLI; MÁDUAR; CAMPOS; 2012). O uso de papel de parede pode reduzir a emissão de radônio em até 30%.

Na Figura 5, é possível verificar a contribuição de diversas fontes de radônio em moradias.

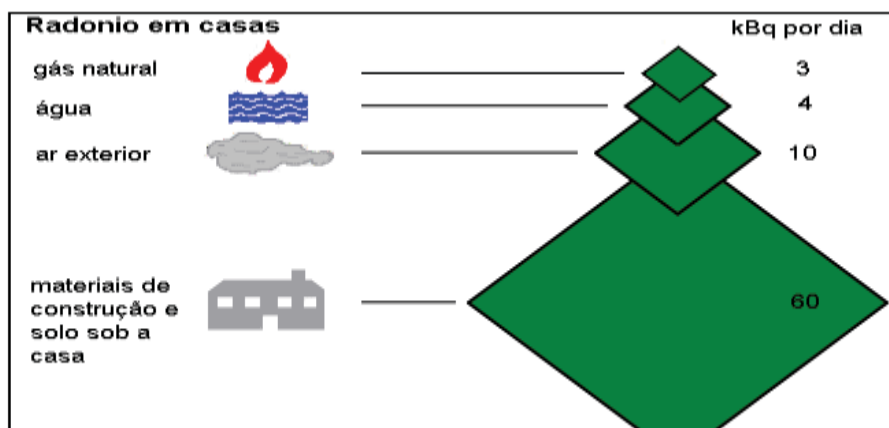


Figura 5 - Contribuição de diversas fontes de radônio em moradias
Fonte: Mazzilli; Máduar; Campos (2012).

Com relação aos efeitos nocivos à saúde humana estudos já indicaram que o ^{222}Rn é classificado como um carcinógeno classe I pela Agência Nacional de Pesquisa em Câncer (IARC, 1986).

Esses efeitos podem ser físicos, químicos e biológicos (IPEN, 2012):

- Os efeitos físicos são absorção de energia, excitação, ionização e quebra das ligações químicas;

- Os efeitos químicos são mobilização e neutralização dos íons e radicais livres, restauração do equilíbrio químico, formação de novas substâncias;
- Os efeitos biológicos são aberração cromossomial, alteração no metabolismo local e morte celular.

A atividade alfa pode ser detectada por meio de detectores específicos, como é apresentado a seguir.

4.3.1 Detector Plástico

Os grupos que pesquisam na área de monitoração alfa ao redor do mundo, utilizam monitores e detectores de diversos tipos. Dentre os distintos e diversos Detectores de Traços Nucleares de Estado Sólido SSNTD (Solid State Nuclear Track Detector) utilizados na detecção de atividade alfa proveniente dos átomos de ^{222}Rn e filhos, em áreas de convívio humano, um dos mais utilizados é o CR-39, um detector plástico de simples produção, barato, resistente e dessa forma, adequado a pesquisas em campo.

As partículas alfa ao incidirem sobre o corpo do detector CR-39, deixam defeitos na estrutura atômica do plástico, da ordem de angstroms. Esses defeitos são chamados de traços latentes, e através de revelação por ataque químico possuem suas dimensões aumentadas, permitindo sua observação através de microscópios óticos.

O desenvolvimento metodológico dessa técnica de detecção surgiu em decorrência do estudo das propriedades dos materiais sólidos, em geral, como detectores de radiação fortemente ionizante (fragmentos de fissão, núcleos em geral, partículas alfa e prótons (YOUNG, 1958).

Na década de 60, constatou-se que outros materiais, além dos minerais podiam ser utilizados como detectores (como vidro, por exemplo). Além disso, verificou-se que enquanto os vidros e minerais detectam apenas fragmentos de fissão de elementos pesados, outros materiais como certos plásticos (nitratos de celulose e policarbonatos), tem a capacidade de registrar radiações mais “leves”, como prótons e partículas alfa (FLEISHER, 1975).

As informações contidas nos traços registrados pelos SSNTDs podem ser utilizadas de duas formas: fazendo uso do número de traços por unidade de área (densidade superficial dos traços) ou utilização de características da imagem do traço que foi revelado (diâmetros, profundidade, nível de cinza, entre outros). Atualmente o CR-39 é o detector plástico mais empregado nos diversos laboratórios do mundo (GAMARRA, 1998).

As duas formas de detecção mais comumente utilizadas são:

I) Detecção Ativa;

II) Detecção Passiva;

Para este trabalho, foi utilizada a detecção passiva do ^{222}Rn e filhos em que os detectores CR-39 são simplesmente expostos ao ar ambiental sem qualquer restrição quanto aos filhos do ^{222}Rn . O CR-39 detecta, então, a atividade α devido ao ^{222}Rn e aos seus filhos (DE PAULO, 1991). Na Figura 6 pode-se observar traços de partículas alfa captadas por uma câmara fotográfica acoplada ao microscópio óptico:



Figura 6 - Imagens de traços de partículas α
Fonte: Microfotografia cedida pela professora Ana Maria Osorio Araya.

5 CONSIDERAÇÕES SOBRE RADIOATIVIDADE AMBIENTAL NO BANCO INTERNACIONAL DE OBJETOS EDUCACIONAIS – BIOE.

Os dados e a abordagem que segue são relativos a artigos já publicados pelo autor como resultado da pesquisa na área de educação e processo de ensino-aprendizagem.

Tarouco (2003) define Objetos Educacionais - OE como quaisquer recursos, suplementares ao processo de aprendizagem, que podem ser reusados para apoiar a aprendizagem. Segundo a autora, o termo objeto educacional (*learning object*) aplica-se a materiais educacionais concebidos com vistas a potencializar a aprendizagem onde o recurso pode ser utilizado.

Visando disseminar a cultura de uso de recursos educacionais digitais em diferentes áreas, níveis e modalidades de ensino, foi desenvolvido pelo Ministério da Educação (MEC) o

Banco Internacional de Objetos Educacionais (BIOE), que teve seu início no ano de 2008, em parceria com o Ministério da Ciência e Tecnologia, Rede Latinoamericana de Portais Educacionais (RELPE), Organização dos Estados Iberoamericanos (OEI) e outros. Participam deste projeto a Universidade Estadual Paulista de Presidente Prudente (UNESP), Universidade de Brasília (UnB), Universidade Federal de São Carlos (UFSCAR), Universidade do Ceará (UFC), Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ) e a Universidade Federal Fluminense (UFF).

O objetivo do BIOE é compartilhar OE de todas as áreas e níveis de ensino, em formatos de animações, simulações, áudio, vídeos, softwares educacionais, bem como imagens, mapas e hipertextos. Todos os OE são avaliados pelas equipes das Universidades Públicas parceiras e os recursos são considerados aprovados em virtude da sua relevância e adequabilidade para a comunidade educacional.

Através de pesquisas realizadas pela equipe de avaliadores de Objetos Educacionais da Faculdade de Ciências e Tecnologia/Universidade Estadual Paulista – FCT/UNESP, docentes perceberam a necessidade da abordagem da Física moderna, especialmente ao tema de Radioatividade, intimamente ligado à Engenharia Ambiental. Além do que, as questões relacionadas ao meio ambiente ganharam maior destaque nos últimos anos, devido aos sinais que a natureza tem mostrando de que não suporta mais a maneira como o homem vem fazendo uso de seus recursos.

Durante o período de execução do projeto (2008 – 2011), a equipe da UNESP de Presidente Prudente desenvolveu as seguintes atividades: programação e reprogramação de OE, tradução de OE de língua inglesa e espanhola para a língua portuguesa, pesquisa e catalogação de OE nas áreas de Educação Ambiental, Física e Matemática. Os discentes dos cursos de Engenharia Ambiental, Física e Matemática realizavam a análise dos OE e os docentes davam o aval final sobre a aprovação de cada recurso para posterior catalogação no BIOE, de acordo com critérios como a credibilidade da fonte, a interatividade, a interdisciplinaridade, a fácil execução, o conteúdo coerente, entre outros.

As etapas da pesquisa eram organizadas no sentido de avaliar o potencial pedagógico dos recursos por meio das seguintes ações: 1: Localizar recursos educacionais digitais relevantes para inclusão no BIOE e Portal do professor (SEED/MEC). 2: Avaliar os recursos localizados considerando os critérios definidos pela SEED para o Banco BIOE. 3: Catalogar os recursos educacionais digitais conforme regras e procedimentos internacionais para a catalogação e indexação definidos pelo MEC. 4: Traduzir os recursos catalogados em outra língua para o português e publicação desses no BIOE.

Seguem abaixo as atuais estatísticas do BIOE referentes ao quantitativo de recursos catalogados segundo o tipo de OE. Na Tabela 6, são apresentadas os dados sobre a quantidade de OE por tipo, como animações, vídeos, imagens, entre outros. Na Figura 7, estes dados são apresentados em forma de gráfico.

Tabela 6 - Quantitativo de recursos.

Animação/simulação	5203
Vídeo	3750
Áudio	2941
Imagem	2890
Experimento prático	1634
Software Educacional	701
Hipertexto	188
Mapa	20
Total	17327

Fonte: Ministério da Educação (2012).

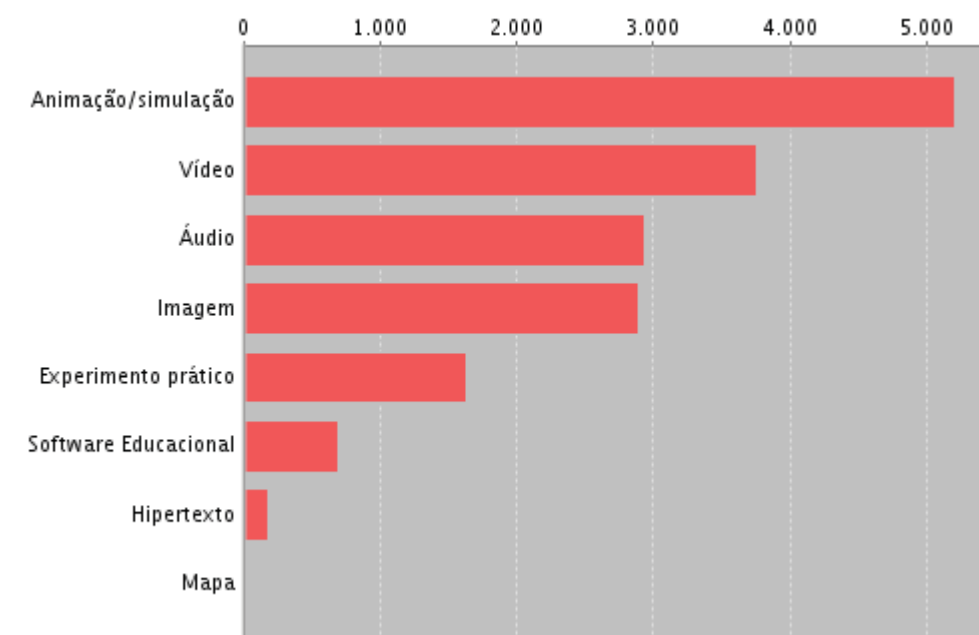


Figura 7 - Quantitativo de Recursos.

Fonte: Ministério da Educação (2012).

A partir dos dados apresentados, é possível verificar que no BIOE há uma quantidade satisfatória de animações/simulações (5203). O número de vídeos e imagens é quase o mesmo (3750 e 2890 respectivamente) e um pequeno número de mapas e hipertextos disponíveis. O subitem seguinte trata da importância do BIOE nas questões relativas ao meio ambiente.

5.1.1 O BIOE para a Educação Ambiental

A crescente preocupação ambiental tem nos levado a pesquisar assuntos que antes eram tidos como extremamente complexos e faziam parte apenas de estudos em nível de mestrado e doutorado em áreas de física e química, tornando-os de difícil acesso pela população como um todo. O Banco Internacional de Objetos Educacionais abriu portas para abordagem de centenas de assuntos de forma organizada, facilitando a pesquisa e o estudo por parte de toda a comunidade.

Segundo a UNESCO (2005), a educação ambiental é uma disciplina na qual prioriza-se a relação entre o homem e o ambiente natural, as formas de conservá-lo, preservá-lo e de administrar seus recursos adequadamente. Dias (1992) afirma que foi no ano de 1972 que os eventos mais decisivos para a evolução da abordagem ambiental no mundo aconteceram. Muito dessa evolução na pesquisa de questões da natureza deve-se às alterações climáticas sofridas nos últimos anos. Assim, é imprescindível que a escola vá além de ensinar apenas definições, tornando-se necessário que se ensine ao estudante amar o meio ambiente, respeitando-o e preservando-o.

Com a maior necessidade de abordar questões sobre o meio ambiente, foi introduzida no BIOE uma equipe responsável pela catalogação de OE dessa área, denominada Equipe de Educação Ambiental, pertencente à FCT/UNESP, única atuante nessa área, dentre todas as outras universidades, que atualmente é composta por três discentes do curso de Bacharelado em Engenharia Ambiental.

Em relação à quantidade de objetos educacionais catalogados por área do conhecimento, podemos verificar na Tabela 7 abaixo que Educação Ambiental ocupa o sétimo lugar, com mais de mil OE catalogados. Na Figura 8, esse quantitativo é apresentado em forma de gráfico.

Tabela 7- Quantitativo por área.

Matemática	3956
Física	2794
Química	1819
Língua Estrangeira	1434
Língua Portuguesa	1391
Biologia	1264
Meio Ambiente	1112
Agronomia	771
Ciências Naturais	746
Letras	733
Educação	624

Microbiologia	602
História	528
Geografia	470
Natureza e sociedade	400
Literatura	399
Biologia Geral	358
Astronomia	295
Pluralidade Cultural	290
Linguagem oral e escrita	240
Total	20226

Fonte: Ministério da Educação (2012).

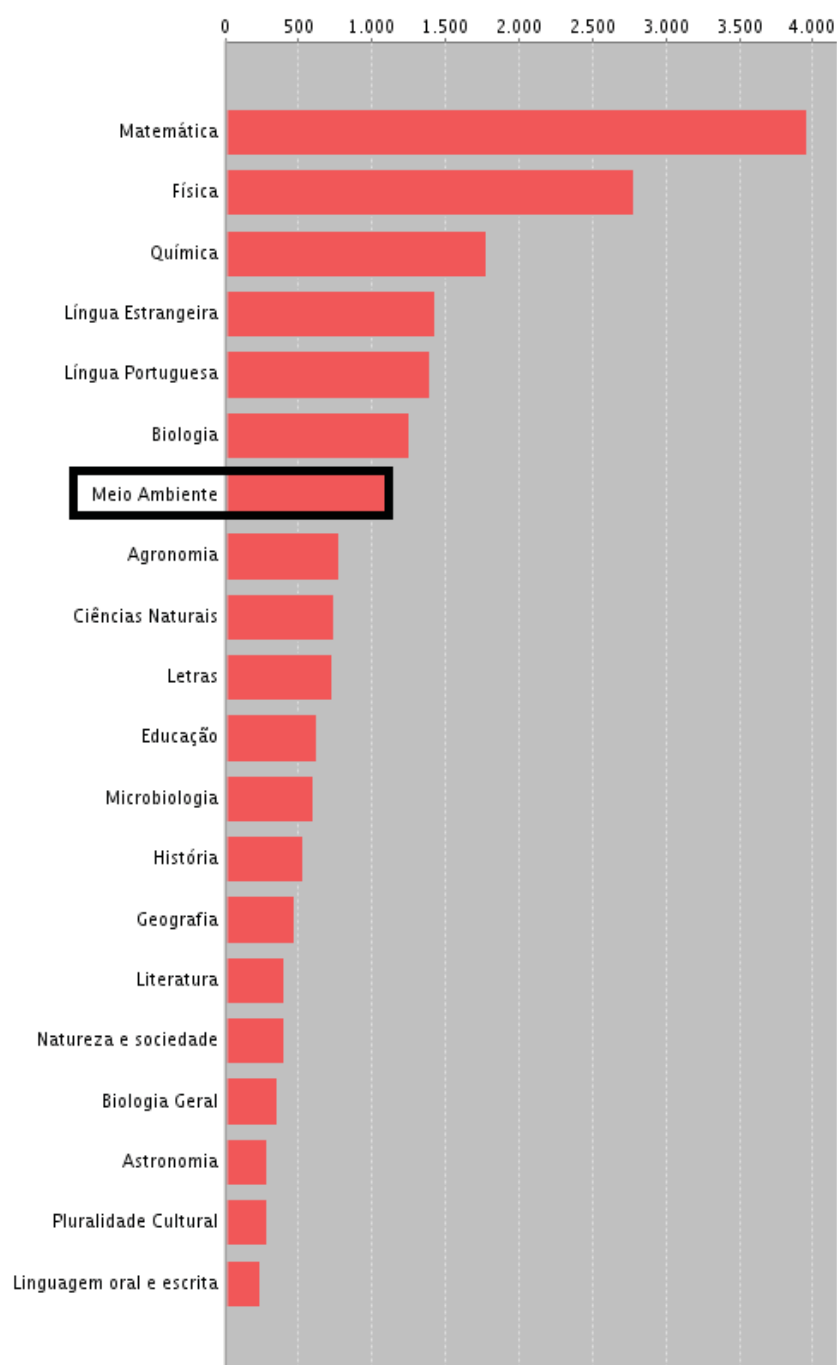


Figura 8 - Quantitativo por área

Fonte: Ministério da Educação (2012).

Dentre os OE que podem ser encontrados no BIOE na área de educação ambiental, podem-se citar assuntos como: reciclagem e separação do lixo domiciliar e industrial; ciclos biogeoquímicos; biodiversidade; desenvolvimento sustentável; poluição visual; economia de energia elétrica e a crise energética; saúde do homem e meio ambiente; fontes não-renováveis e fontes renováveis de energia; poluentes aquáticos; tratamento e reuso da água; uso urbano, industrial e agrícola da água; escassez de água; poluentes atmosféricos - camada de ozônio - chuva ácida - aquecimento global; crises ambientais no exterior; resíduos perigosos; erosão do solo; poluição do solo rural e urbano; ecologia dos solos; defensivos agrícolas; terremotos; poluição sonora; prevenção da poluição na indústria; esgoto sanitário e o meio ambiente; reflorestamento; desmatamento; assoreamento, entre muitos outros.

No BIOE, além de inúmeros OE produzidos no Brasil, também podem ser encontrados recursos de autores de outros países que autorizaram os catalogadores brasileiros a inseri-los no BIOE, como é o caso do Sistema Nacional de Informação de Recursos Hídricos – SNIRH, de Portugal, que fornecia mensalmente materiais sobre cheias, secas, desertificação e equipamentos diversos para medições ambientais, entre outros, enriquecendo ainda mais o acervo do BIOE.

Apesar da grande quantidade de assuntos que podem ser abordados dentro da temática ambiental, especialmente no campo da Física Ambiental, não foi possível encontrar OE que tratasse do tema radioatividade e gás ^{222}Rn . Esse fato levou o aluno e a orientadora a realizar uma abordagem com relação a esse assunto pouco difundido em escolas: a radioatividade ambiental, em especial a radiação proveniente do gás Radônio.

5.2 Construção de um objeto educacional: saúde do homem e meio ambiente.

Não só em ambientes de convívio humano, como paredes, solos, tetos, móveis, meios materiais em geral, além da água, o radônio e isótopos também estão presentes, em menor quantidade, no ar que respiramos. Dessa forma, é possível perceber que, mesmo a radioatividade estando fortemente presente na vida do homem, ela é pouco e muitas vezes sequer abordada em salas de aula de ensino fundamental e médio, tampouco em cursos superiores como Engenharia Ambiental, por exemplo.

Dentro deste contexto e com a experiência adquirida pelos pesquisadores do referido Banco da UNESP de Presidente Prudente, iniciou-se um processo de produção de objetos educacionais digitais ambientais dentro da própria universidade, levantando questões como a radioatividade ambiental natural e artificial que se encontram presentes na água, no ar e no solo, com o intuito de trazer à alunos, professores e à comunidade como um todo, maiores esclarecimentos com relação a esse tema, visando apresentar de forma simples e acessível, como ocorre a liberação desse gás no meio ambiente, além dos métodos para sua determinação. Tais OE encontram-se em fase de finalização e em breve serão apresentados no BIOE para livre acesso de todas as pessoas. Com esses OE, será possível em trabalhos futuros, ampliar o tema e abordar alguns dos principais parâmetros físicos que são levados em conta na detecção do Radônio e filhos. O trabalho ainda não foi finalizado, pois o projeto BIOE encerrou-se no ano de 2011. Pequenas alterações precisam ser feitas no OE para que possa ser utilizado em salas de aula e educação à distância. Seguem abaixo, as imagens (Figura 9, Figura 10, Figura 11, Figura 12 e Figura 13) do recurso desenvolvido.



Figura 7 - Tela 3 do OE Gás Radônio

Nesta etapa, o estudante seleciona quais os materiais que estão presentes na constituição de sua casa. Dessa forma, dependendo da combinação, o software apresentará a carga média de radioatividade de cada material.



Figura 8 - Tela 4 OE Gás Radônio

Com cunho interativo, este OE faz perguntas ao estudante ao longo das atividades e explicações, e o induz a pesquisar, com posteriores correções. Para passar a fase seguinte, o usuário precisa acertar a resposta anterior.

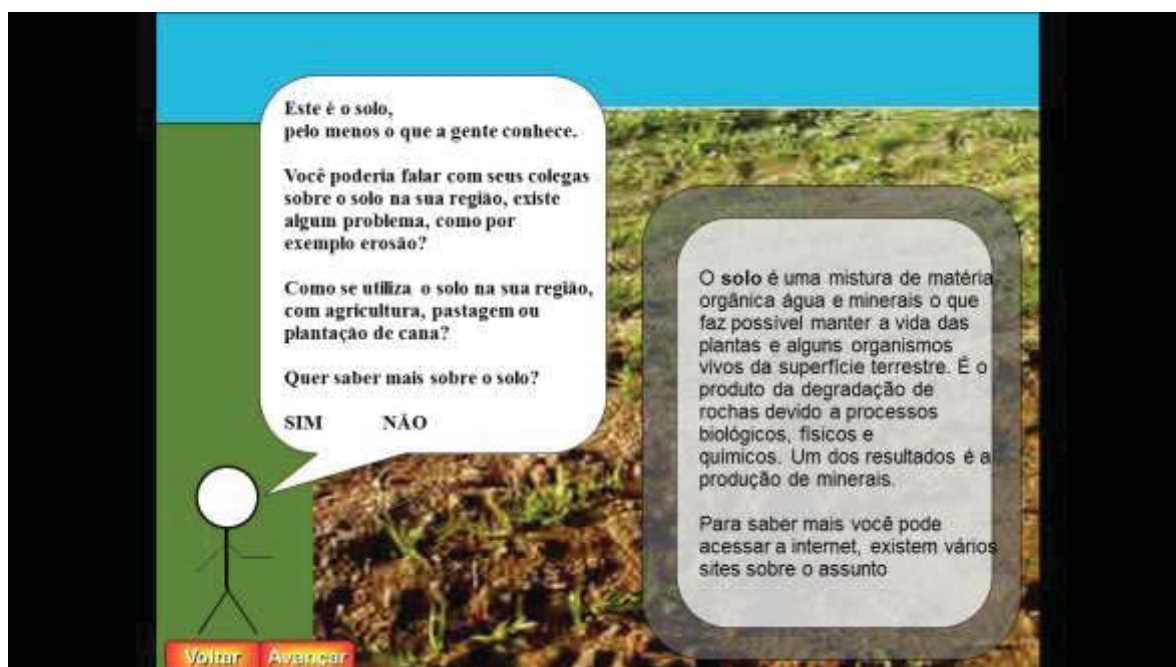


Figura 11 - Tela 10 do OE Gás Radônio

Na tela que segue (Figura 12), explicações com relação à parte da tabela periódica onde o Radônio está localizado, bem como o porque de ser um gás nobre.



Um **gás nobre** (também conhecido por **gás raro**) é um elemento da tabela periódica que tem como características de não se combinarem com os demais elementos, têm uma baixa reatividade, ou seja, tem uma relativa dificuldade de combinação com outros átomos porque são pouco reativos. Formam uma série química, chamada grupo 18.

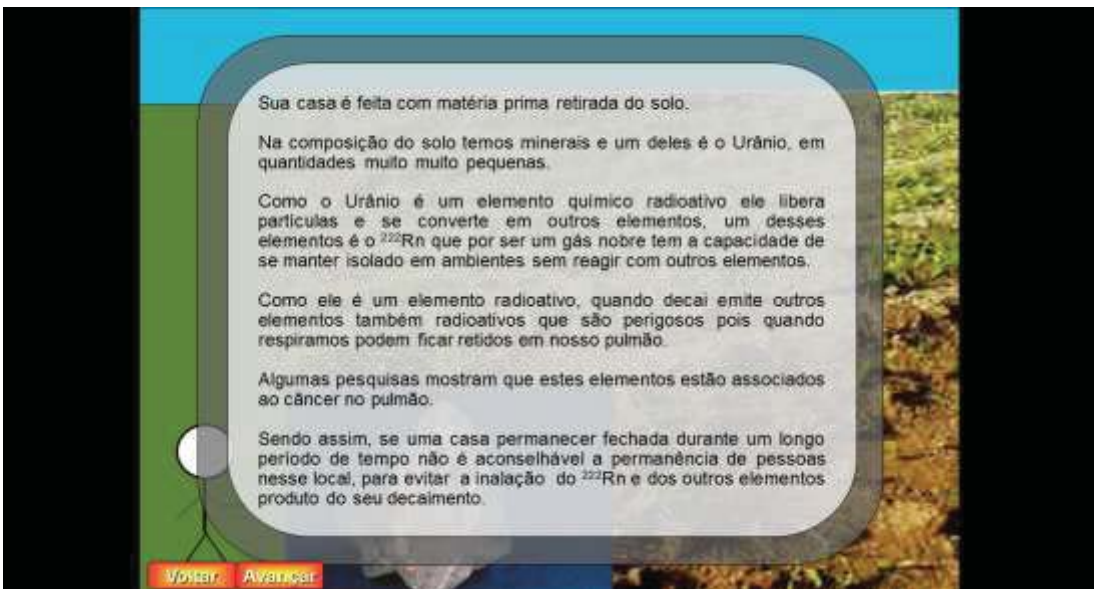
Veja o quadro abaixo:

Período	1	2	3	4	5	6	7
Grupo 18	2 He	10 Ne	18 Ar	36 Kr	54 Xe	86 Rn	118 Uuo

Voluntar Avancar

Figura 12 - Tela 17 do OE Gás Radônio

Na Figura 13 abaixo, uma breve explicação com relação aos constituintes de uma casa que são retirados do solo e, portanto, contém radônio. Ainda, a importância de se manter os ambientes bem ventilados a fim de diminuir a inalação do gás.



Sua casa é feita com matéria prima retirada do solo.

Na composição do solo temos minerais e um deles é o Urânio, em quantidades muito muito pequenas.

Como o Urânio é um elemento químico radioativo ele libera partículas e se converte em outros elementos, um desses elementos é o ^{222}Rn que por ser um gás nobre tem a capacidade de se manter isolado em ambientes sem reagir com outros elementos.

Como ele é um elemento radioativo, quando decai emite outros elementos também radioativos que são perigosos pois quando respiramos podem ficar retidos em nosso pulmão.

Algumas pesquisas mostram que estes elementos estão associados ao câncer no pulmão.

Sendo assim, se uma casa permanecer fechada durante um longo período de tempo não é aconselhável a permanência de pessoas nesse local, para evitar a inalação do ^{222}Rn e dos outros elementos produto do seu decaimento.

Voluntar Avancar

Figura 13 - Tela 26 do OE Gás Radônio

Um objetivo muito importante inserido nesta pesquisa é realizar a transposição didática entre os estudos realizados na universidade e a escola, além de contribuir com uma área da física carente, como é o caso do conhecimento dos isótopos radiativos e as doses de radiação recebidas pela população.

Com grande quantidade de OE voltados ao ensino superior, o BIOE torna-se importante para essa fase de estudo, principalmente nos estudos realizados à distância. Bielschowsky (2009) revela que essa modalidade de ensino está em crescimento no Brasil. Ademais, o BIOE mostra-se como uma fonte importante de apoio a essa modalidade.

Novamente, questões ambientais ganharam maior importância nas últimas décadas, evidenciando a necessidade da criação desta área do conhecimento dentro do próprio BIOE. Alguns assuntos da área ambiental, bem como da Física Moderna ainda são pouco abordados em forma de OE, seja pela sua aparente complexidade, seja pela equivocada falta de importância que aparentam representar para a sociedade.

De modo mais geral, atualmente o BIOE é acessado por 159 países, com aproximadamente 892.019 downloads e 2.623.320 visualizações. É possível, através desses números, verificar a importância do BIOE como auxílio a docentes e alunos nas preparações de aulas e pesquisas.

Na Figura 14 é possível verificar-se as maiores visualizações em 10 países, sendo Brasil e Estados Unidos com maiores acessos, seguidos de Japão e Portugal.

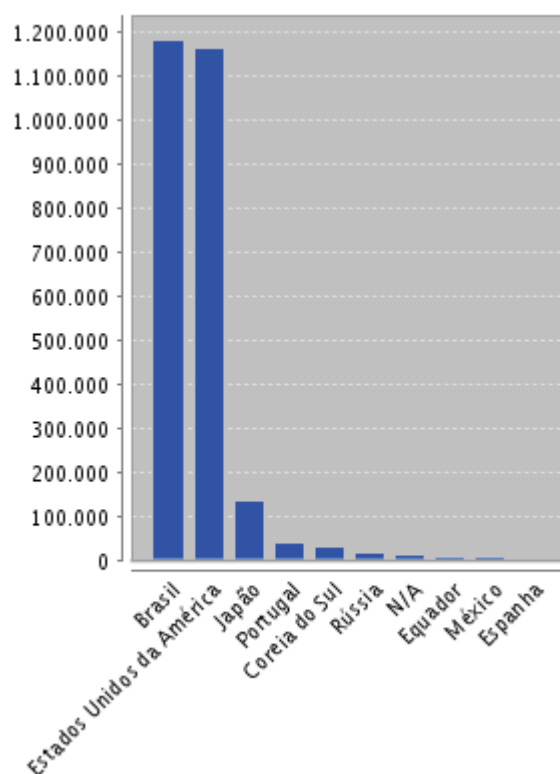


Figura 14 - Visualizações por país (Top 10).
Fonte: Ministério da Educação (2012).

Na Figura 15 constata-se o número de downloads por países, seguindo as mesmas estatísticas, com o Brasil em primeiro lugar.

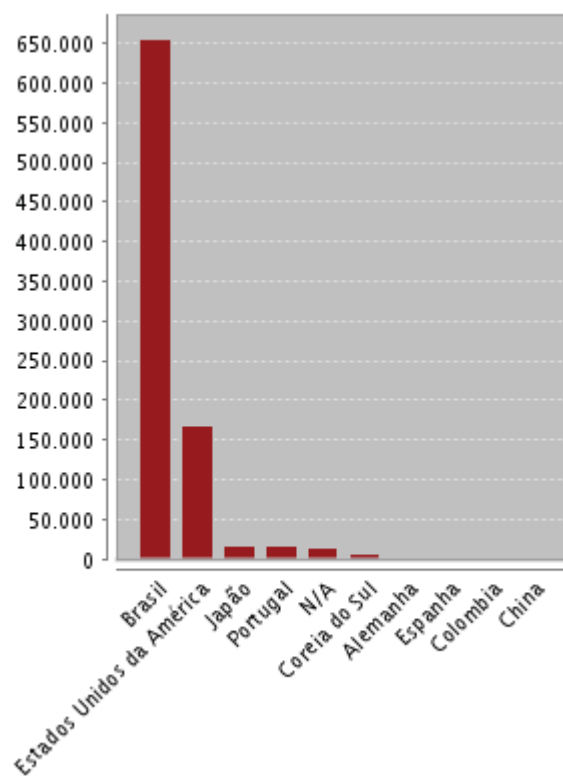


Figura 15 - Downloads por países (Top 10).
Fonte: Ministério da Educação (2012).

Analisando-se a Figura 15, percebemos a participação do BIOE na educação, principalmente no Brasil, seja na preparação de aulas por parte dos docentes, seja na pesquisa dos alunos em suas atividades escolares ou estudos em suas casas. Isso mostra a importância no BIOE no auxílio ao processo de aprendizagem, com cerca de 650.000 downloads de OE.

6 RESULTADOS OBTIDOS

Após a exposição dos detectores, do ataque químico realizado e da análise ao microscópio óptico, segundo consta do Apêndice A, obtemos a densidade de traços/cm² que é proporcional à atividade do ²²²Rn e filhos. Os resultados relacionados com a atividade em águas coletadas na região de Presidente Prudente se encontram na Tabela 8.

Tabela 8 - Dados obtidos da análise dos detectores expostos em distintas amostras de águas

Detector	Nº traços/ Nº campo	Densidade de Traços (t/cm ²)	Média ± ε (%)	Atividade (Bq/L)
Background	68 / 1224	153,89	0,05 ± 12,1	—
Detector 2	465 / 4560	282,5	0,10 ± 4,64	35,44.10 ⁻⁶
Detector 3	732 / 3971	511,89	0,18 ± 3,7	19,73.10 ⁻⁵
Detector 4	2032 / 5212	1080,85	0,39 ± 2,22	25,54.10 ⁻⁵
Detector 5	484 / 3444	390,32	0,14 ± 4,54	55,85.10 ⁻⁶

Da mesma forma como foram obtidos os dados relacionados com as águas coletadas também foram realizados estudos em casas e materiais de construção, com o objetivo de realizar-se um levantamento e a construção de um panorama sobre a concentração de ²²²Rn na região de Presidente Prudente – SP.

Com relação à construção do protótipo do OE sobre o gás radônio, o maior resultado obtido é a possibilidade de abordar um tema tão pouco difundido em escolas e universidades. Os resultados esperados com a finalização do protótipo visam fornecer subsídios ao docente na elaboração de suas aulas sobre radioatividade, ao apresentar o exemplo do gás radônio, bem como representar de forma interativa e de fácil compreensão um campo do conhecimento da Física Moderna de interesse por parte da sociedade como um todo.

7 CONCLUSÕES

As principais conclusões do presente trabalho foram:

- Os resultados de atividade das amostras de água, ao serem convertidos para dose recebida (mSv/ano) encontram-se dentro da dose limite recomendada para a população como um todo; 1,7 mSv/ano, segundo Hadler e Paulo (1986).
- Muito embora os resultados das concentrações de radônio nas águas da região de Presidente Prudente estejam abaixo do nível máximo de contaminação recomendado pela OMS de 100 Bq/L é interessante realizar um monitoramento dos níveis de radônio destas fontes de água para consumo humano, com vistas à saúde pública.

Com relação ao BIOE:

- A radioatividade ambiental está sendo abordada gradativamente no BIOE, com a produção de OE's que tem como objetivo garantir à população, esclarecimentos sucintos e de fácil compreensão de assuntos tidos como de difícil compreensão. Objetiva-se fornecer alternativas ao professor na elaboração de suas aulas, contribuindo no processo de ensino-aprendizagem e na melhoria do ensino na área de ciências exatas.
- É importante inserir temas pouco presentes no BIOE, pois muitas vezes assuntos de interesse geral e importância no processo de ensino e aprendizagem não ficam suficientemente disponíveis em formato digital, como no caso da Física Moderna.
- Apesar do número até que significativo de OE em ciências ambientais inseridos no BIOE (1112) é necessário também o incentivo à formação continuada de professores em todos os níveis de ensino, para que estejam preparados a lidar com questões do meio ambiente, bem como qualquer outra área do conhecimento.

O protótipo do OE gás Radônio foi construído no Centro de Promoção para Inclusão Digital Escolar e Social (CPIDES) da FCT/UNESP, durante os anos de 2011 e 2012, pelo aluno Willian César Nadaleti, com orientação da Professora Dra. Ana Maria Osório Araya. Objetiva-se seu uso futuro como ferramenta no auxílio do processo de ensino – aprendizagem de Ciências Exatas.

Por fim, destaca-se que os OE direcionados ao ensino superior facilitam e incentivam a pesquisa em qualquer modalidade de ensino, agregando conhecimento ao seu processo de estudo.

Como sugestão para trabalhos futuros envolvendo radioatividade ambiental, destaca-se:

- O monitoramento de outras regiões e até mesmo repetir as análises nos locais supracitados neste trabalho, visando o controle da atividade do gás ^{222}Rn e filhos;
- O desenvolvimento de OE's voltados ao tema e sua potencial aplicação em salas de aula, seja no ensino médio ou superior.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABU-JARAD, F. A. Application of nuclear track detectors for radon related measurements, **Nuclear Tracks Radiation Measurement**, v. 15, pp. 525-534, 1988.
- BIELSCHOWSKY, C. E. **Perspectivas para a educação à distância no Brasil**. UFSCAR, 2009. Disponível em <<http://seminario.uab.ufscar.br/EAd%20no%20Brasil%20-%20carlos.pdf>>. Acesso em: 30/09/2012.
- BUENO, M., **O grande livro da casa saudável**, Editora Roca, 279 pp, São Paulo, 1992.
- CHAMBERLAIN, A. C. and E. D. DYSON (1956) – The dose to the trachea and bronchi from the decay products of radon and thoron – *British Journal of Radiology*, v. XXIX, n. 342, pp. 317-325.
- COHEN, B. L. Compilation and integration of studies of radon levels in U. S homes by states and counties. **Critical Rev. Environmental Control**, v. 23, 243-364, 1992.
- CORREA, J. N. **Avaliação dos níveis da concentração de radônio em ambientes e águas de poços no estado do Paraná**. 2011. 113 f. Tese (Doutorado em Engenharia Biomédica) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica e Informática Industrial, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, 2011.
- DE PAULO, S.R., **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**. 2008. 380 f. Tese (Doutorado em Ciências), UNICAMP, Campinas, 1991.
- DIAS, G. F. *Educação Ambiental: princípios e práticas*. São Paulo, Gaia, 1992.
- EISENBUD, M. and A.S. PASHOA – Environmental radioactivity – *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research*, A280, pp. 470-482, 1989.
- ENGE, W. Introduction to plastic nuclear track detectors. *Nuclear tracks*, v. 4, p. 283 – 308, 1980.
- FIX-YOUR-RADON. Disponível em: <<http://www.fix-your-radon.com/>>. Acessado em: 15 out 2012.
- FIOR, L. **Análise da concentração de radônio proveniente dos materiais de construção**. 2008. 148 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica e de Materiais) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica e de Materiais, Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Curitiba, 2008.
- FLEISCHER, R.L.; PRICE, P.B. E WALKER, R.M. **Nuclear Tracks in solids: Principles and application**, University of California Press, Berkeley, Calif., USA, 1975.
- GAMARA, A. R. Z., **Caracterização do CR-39 como espectrômetro alfa**. 1998. 146 f. Tese (Doutorado em Ciências) – Programa de Pós Graduação em Ciências - Instituto de Física Gleb Wataghin, Universidade Estadual de Campinas. Campinas, 1998.
- Frank, A. L., and Benton, E. V. Radon dosimetry using nuclear track detectors. *Nuclear Track Detection*, v. 1, n. ¾, pp. 149- 179. 1977.
- HADLER N., J.C., IUNES, P.J., OSÓRIO A.B., A.M., DE PAULO, S.R. Relationship between track size and energy for alpha particles in CR-39. *Radiation Measurements*, v. 19, 313–317, 1991.
- IARC - International Agency for Research on Cancer. Monographs on the Evaluation of Carcinogenic Risk to Humans: Tobacco smoking. V. 38. Lyon: IARC, 1986.
- ICRP 65 - International Commission on Radiological Protection. **Protection against radon-222 at home and work**, Annals of ICRP 23, New York, 1993.
- IPEN – Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares. São Paulo, Ministério da Ciência e Tecnologia, Cidade Universitária. Disponível em: <<http://www.ipen.br/sitio/?idm=268>>. Acesso em: 10 set. 2012

KHAN, A. J. A study of indoor radon levels in indian dwellings, influencing factors and lung cancer risks. **Radiation Measurements**. v. 32, pp. 87 – 92, 2000.

MARMIER, P. and E. Sheldon – Physics of nuclei and particles – v. I – Academic Press – 2nd edition, 1971.

MAZZILLI, B. P., MÁDUAR, M. F., CAMPOS, M. P. De. Radioatividade no meio ambiente e avaliação de impacto radiológico ambiental. Apostila de Aula, 2012. Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares, Universidade de São Paulo.

MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO: BANCO INTERNACIONAL DE OBJETOS EDUCACIONAIS – BIOE. Disponível em: < <http://objetoseducacionais2.mec.gov.br/>>. Acessado em: 14 agosto 2012.

NATIONAL COUNCIL ON RADIATION PROTECTION AND MEASUREMENTS, NCRP *Measurements of Radon Daughters in Air*, Report 97, NCRP Publications, New York, N. Y., 1988.

NAZAROFF, W. W. and Nero Jr., A. V. *Radon and its Decay Product in Indoor Air*, J. Wiley, New York, 1988.

NEMAN, R. S. FÍSICA. **Medida da contaminação radioativa do ar ambiental por Radônio-222 e filhos em residências de Campinas – SP**. 2000. 90 f. Dissertação (Mestrado em Ciências) - Instituto de Física Gleb Wataghin, Universidade Estadual de Campinas. Campinas, 2000.

NEUBERGER, J. *Residential radon exposure and lung cancer: Na overview of published studies* *Cancer Detect. Prev.*, vol 15, 435-443, 1991.

PÖRSTENDORFER, J. – Properties and behaviour of radon and thoron and their decay products in the air – Fifth International Symposium on the Natural Radiation Environment. **Commision of the European Communities**, 1993.

RIO DOCE, A. P. C. **Determinação da taxa de exalação de Rn-222 em materiais de construção**. 1997. Dissertação de mestrado apresentada na Universidade Federal do Rio de Janeiro, UFRJ-COPPE, 1997

SANTOS, C. E. L. Dos. **Determinação dos processos de enriquecimento e das concentrações do Radônio em minas subterrâneas de fluorita e carvão do estado de Santa Catarina: critérios para avaliação dos riscos radiológicos**. 2008. 137 f. Dissertação (Mestrado em Geociências) – Programa de Pós-Graduação em Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 2008.

SOMOGY G. E LENÁRT L., Time-integrated radon measurements in spring and well waters by track technique, **Nuclear Tracks**, v. 12, n. 1-6, pp. 731-734, 1986.

TAROUCO, Liane (Org.). **Reusabilidade de objetos educacionais**, 2003. Disponível em: <http://www.cinted.ufrgs.br/renote/fev2003/artigos/marie_reusabilidade.pdf> Acessado em 20 nov 2012.

UNESCO. **Década das Nações Unidas da Educação para um desenvolvimento sustentável, 2005-2014**: documento final do esquema internacional de implementação. – Brasília: UNESCO, 2005. 120p.

UNSCEAR (1988) – United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation – UNSCEAR.

ZAMANI, M. and CHARALAMBOUS, P. *Registrations probability of alphas in cellulose nitrate*. *Nuclear Tracks*, v. 4, pp. 177-185, 1981.

YOUNG, DA. **Etching of radiation damage in Lithium Fluoride Nature**, v.182, p.365-372, 1958.

YU, K. N. The effects of typical covering materials on the radon exhalation rate from concrete surfaces. **Radiation Protection Dosimetry**. v. 48, n. 4, pp. 367 – 370, 1993.

APÊNDICE A - Sobre a obtenção dos dados

O aluno acompanhou as pesquisas sobre a radiatividade do gás ^{222}Rn e filhos na água de alguns pontos da região de Presidente Prudente – SP, juntamente com outros estudantes do curso de Licenciatura em Física da FCT – UNESP. Os procedimentos do experimento são apresentados a seguir:

O detector plástico CR-39

O CR-39 (allyl diglycol-carbonate - $\text{C}_{12}\text{H}_{18}\text{O}_7$) é completamente transparente e amorfo, ou seja, os traços incidentes no detector são bastante regulares e podem ser observados ao microscópio óptico facilmente, devido ao contraste entre os traços e o próprio corpo do plástico. Entretanto, este detector é resistente, assim impede que sua estrutura se desordene, devido a possíveis danos ocasionados por condições ambientais, como temperatura, umidade, ação corrosiva de poluentes e entre outros fatores (DE PAULO, 1991). Além disso, a sensibilidade e homogeneidade não muda com o tempo. Por ser completamente amorfo o CR-39 gera traços regulares, é resistente a praticamente todos elementos químicos e apresenta resistência a altas temperaturas, por volta de $80\text{ }^{\circ}\text{C}$. A sua fórmula estrutural é a seguinte (Figura 18):

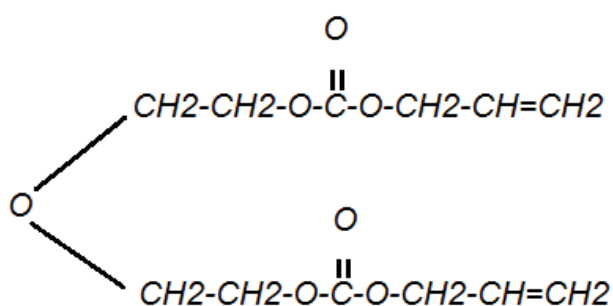


Figura 9 - Fórmula estrutural do CR-39

O Background

Assim que os detectores são produzidos, eles já podem detectar a radiação alfa devido ao ^{222}Rn e filhos, além de outras radiações presentes nos ambientes onde ficam armazenados. Esses traços latentes que após o ataque químico coexistirão com os traços provenientes da radiação que se deseja medir, precisam ser desconsiderados dos resultados obtidos. A essa

quantidade de traços presente no detector, antes de sua utilização, dá-se o nome de *background*. Também podem ser utilizados detectores de referência para registrar os traços do *background* a serem desconsiderados dos traços obtidos nas medidas realizadas nos materiais desejados.

Inúmeras maneiras já foram propostas na tentativa de se eliminar o *background*. Entretanto, nenhuma delas foi bem sucedida. Nessas tentativas procurou-se provocar o “fading” nos traços latentes de *background*. “Fading” resulta no apagamento de traços latentes causado pela recombinação molecular provocada pela agitação térmica. Todavia, esse tratamento não se mostrou eficaz na tentativa de diminuir os traços de *background* (DE PAULO, 1991).

Eficiência dos detectores plásticos

Um detector plástico exposto a partículas com energias diferentes ou ângulos de incidência diferentes, ao ser atacado quimicamente, não revelará todos os traços. Isso significa que a eficiência dos detectores plásticos não é igual a 100% (ZAMANI, 1981 apud SANTOS, 2008). Essa eficiência depende de características próprias dos plásticos. A eficiência de detecção dos plásticos não é total por dois motivos:

A) Limite de energia crítica de detecção

O desarranjo na estrutura molecular dos plásticos é função da energia da própria partícula. De acordo com o valor da energia da partícula incidente, o desarranjo na estrutura molecular do plástico pode não ser suficientemente intenso para que possa ser revelado por ataque químico. Isso significa que os detectores plásticos são ineficientes para registrar partículas cujas energias situam-se em certa faixa específica. (SANTOS, 2008).

Os danos na estrutura dos plásticos, de um modo geral, são tão mais intensos quanto menor for a energia das partículas alfa. A taxa de perda de energia de/dx (energia perdida no plástico, por unidade de comprimento) é inversamente proporcional a energia da partícula alfa. Isso significa que as partículas alfa com “grande” energia transferem “pouca” energia ao plástico, por unidade de comprimento (DE PAULO, 1991).

B) ângulo crítico de detecção

Ao atingir o detector plástico, a partícula pode penetrar com qualquer direção. Uma vez que o ataque ocorre preferencialmente na região do traço latente, é de se esperar que a velocidade de ataque ao longo do traço, V_t , será maior que a velocidade geral V_b , em qualquer outra direção do meio.

Mesmo que a energia de uma partícula alfa seja suficientemente pequena, a detecção pode não se dar, dependendo do ângulo de incidência da partícula alfa. Isso é devido ao fato de que, se o ângulo de incidência θ em relação à superfície do detector plástico for muito pequeno, V_t estará totalmente contida no interior da camada V_b removida durante o ataque químico. Dessa forma, mesmo que o dano na estrutura do plástico seja considerável, o traço também será removido pelo ataque químico (ENGE, 1980; FRANK, 1977 apud SANTOS, 2008).

O ângulo crítico de detecção será então:

$$\theta_c = \arccos(V_b/V_t)$$

Onde:

V_b é a velocidade de ataque e V_t é a velocidade de ataque ao longo do traço (De Paulo, 1991).

Além do ângulo crítico de detecção e do limite da energia crítica de detecção, a eficiência da detecção é totalmente dependente do ataque químico realizado de forma adequada.

Como os detectores eram expostos

- **Exposição em água:** colocaram-se as amostras de água extraídas dos poços de casas da zona rural de estudo, em recipientes plásticos, cujas dimensões são 18 cm de diâmetro e 22 cm de altura. Estes recipientes possuem uma capacidade volumétrica de até 5600 ml, sendo preenchidos apenas uma quantidade de 3000 ml de água. Os recipientes foram vedados, para evitar escapamento do ar. Em cada recipiente foi colocado um detector CR-39, colado na parte superior, mantendo-se aproximadamente 10 cm entre a água e o detector (DE PAULO, 1991).

A Figura 17 ilustra este processo de exposição do detector.

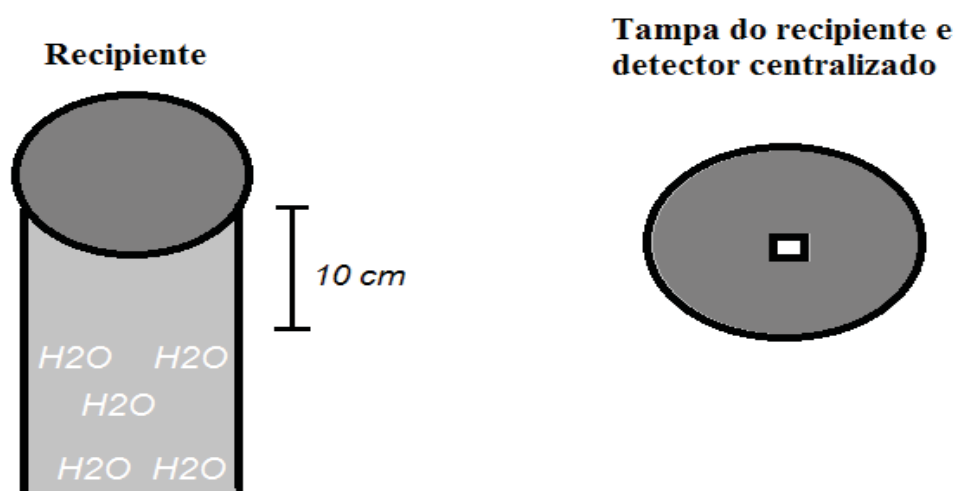


Figura 17 – Localização do detector dentro do recipiente

Na Tabela 9 abaixo, pode-se verificar o local e tempo de exposição dos cinco detectores.

Tabela 9 - Exposição dos detectores em diferentes regiões para a análise da atividade radioativa em amostras de água

Detector	Descrição da exposição	Tempo de exposição
Background	Análise da amostra de água de residência (região próxima à entrada de Álvares Machado)	2 meses
2	Análise da água (região próxima à entrada de Álvares Machado)	2 meses
3	Análise da água de residência (região interna da cidade de Álvares Machado próxima ao depósito de lixo da cidade)	2 meses
4	Análise da água de mina de residência (região interna da cidade de Álvares Machado próxima ao depósito de lixo da cidade)	2 meses
5	Análise da água retirada de poço semi artesiano localizado no município de Montalvão	2 meses

Como ocorre o ataque químico

Uma partícula “pesada”, fragmentos de fissão, partículas alfa, prótons, etc., ao incidir no detector SSNTD ocasiona um desarranjo na estrutura molecular deste nomeado traço latente, e seu tamanho deriva da energia da partícula incidente. Inicialmente o traço abrange um diâmetro na ordem de ângstron (Å), contudo, ao realizar o processo de ataque químico de acordo com os parâmetros desejados, seu diâmetro aumenta para microns, tornando viável sua observação ao microscópio ótico (HADLER N., J.C., IUNES, P.J., OSÓRIO A.B., A.M., DE PAULO, S.R., 1991; FLEISHER, PRICE & WALKER, 1975; SOMOGY & LENART, 1986).

O ataque químico corrói a superfície, dissolvendo uma camada do detector (Figura 18). O traço formado torna-se observável ao microscópio ótico, porque na região do traço onde ocorreu o dano na estrutura molecular do CR-39, há menor resistência ao ataque químico do que no “corpo” do CR-39. Ao analisar um detector após o ataque químico, observam-se os traços que apresentam uma forma arredondada ou elipsoidal, segundo o ângulo de incidência da partícula alfa. O contraste entre o traço e o detector é fundamental para obter as medidas. A visão ao microscópio ótico torna-se possível, devido a que a região onde o traço se forma apresenta menor resistência ao ataque do que o próprio corpo do detector.

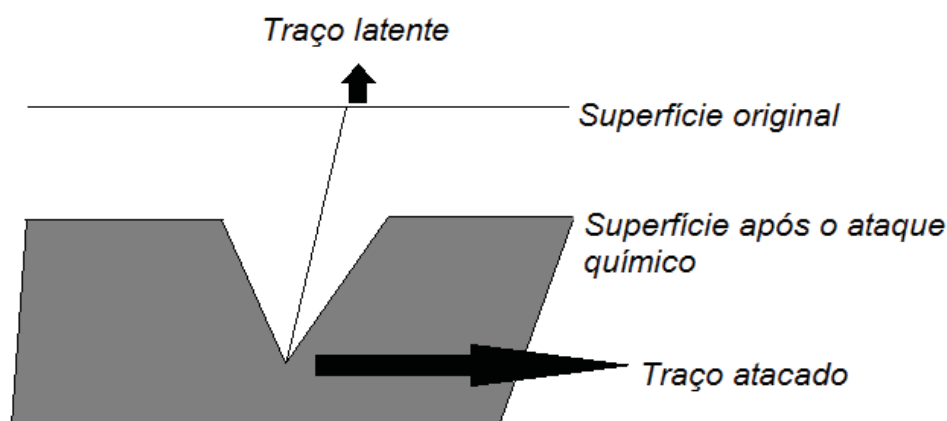


Figura 18 – Ataque químico dos traços latentes

A condição ideal do ataque químico para o detector de radiação CR-39 é de 6,25N NaOH - 70°C por 400 minutos (DE PAULO, 1991). Este foi o procedimento realizado nesta pesquisa, após os detectores terem ficado 2 meses expostos às amostras de água.

A densidade de traços é obtida diretamente do detector, levando em conta que:

$$D = Nt/(Nc \times A_c) = \text{densidade} / \text{cm}^2$$

Onde:

D é a densidade superficial de traços de partícula alfa (traços/ cm²); **Nt** é o número de traços de partícula alfa contados (unidimensional); **Nc** é o número de campos analisados do detector (unidimensional); **Ac** é a Área do campo (cm²). Em nosso caso a área de cada campo equivale a 1,173x10⁻³cm².

Um outro dado a ser levado em conta na análise das densidades de traços, é se os detectores, como o CR-39, apresentam uma eficiência de 100% para detecção das partículas alfa, dentro do intervalo de energia das partículas estudadas neste trabalho. Estudos mostram que a eficiência dos SSNTD para a detecção tanto de partículas alfa como de outras partículas não é igual a 100%. Para a medida das atividades do ²²²Rn e filhos presentes em ambientes de convívio humano, a questão da eficiência dos plásticos se torna bastante importante, pois é através da eficiência que se pode correlacionar a densidade de traços (D) apresentada pelo CR-39 à atividade α média (A) presente durante o período de exposição. Em nosso caso utilizamos dados sobre eficiência retirados de De Paulo (1991), onde o autor, que fez um estudo detalhado sobre este assunto, mostra que a eficiência do CR-39 é de 70%. Levando em conta estes dados temos que, a área do campo coberto pela ocular é 1,173*10⁻³ cm² e a eficiência do CR-39 é de 70%, então a densidade real de traços:

$$D = (\text{traços} / \text{cm}^2) / \text{eficiência CR} - 39$$

Assim, temos a atividade total calculada por:

$$A = 4 \times Dr / (R \times t)$$

Onde:

A: atividade total por unidade de volume (s⁻¹cm⁻³),

Dr: densidade real de traços (tr/cm²),

R: alcance médio das partículas alfa (cm), igual a 4 cm no ar,

t: tempo de exposição (s)

O erro foi calculado considerando uma distribuição de Poisson dado pela equação4:

$$\varepsilon = 1 / (\sqrt{\sum N_t}) \times 100\%$$

Sendo ε o erro da medida e $\sum N_t$ a somatória do número de traços contados no detector.