

CENTRO UNIVERSITÁRIO SÃO CAMILO
Tecnologia em Radiologia

Joelma Maria da Silva

RADÔNIO: UMA ABORDAGEM PARA PROFISSIONAIS DA SAÚDE

São Paulo

2018

Joelma Maria da Silva

RADÔNIO: UMA ABORDAGEM PARA PROFISSIONAIS DA SAÚDE

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Tecnologia em Radiologia do Centro Universitário São Camilo, orientado pelo Professor Dr. Lucio Leonardo, como requisito parcial para obtenção do título de Tecnólogo em Radiologia.

São Paulo

2018

Ficha catalográfica elaborada pela Biblioteca Padre Inocente Radrizzani

Silva, Joelma Maria da
Radônio: uma abordagem para profissionais da saúde / Joelma Maria da Silva. -- São Paulo: Centro Universitário São Camilo, 2018.
54 p.

Orientação de Lucio Leonardo

Trabalho de Conclusão de Curso de Radiologia (Tecnólogo), Centro Universitário São Camilo, 2018.

1. Neoplasias pulmonares 2. Pessoal de saúde 3. Radioatividade 4. Radônio I. Leonardo, Lucio II. Centro Universitário São Camilo III. Título

CDD: 539.753

Joelma Maria da Silva

RADÔNIO: UMA ABORDAGEM PARA PROFISSIONAIS DA SAÚDE

São Paulo, 15 de maio de 2018

Professor Orientador Dr. Lucio Leonardo

Professor Examinador Msc. Eliane Carmo de O. Peixoto

Professor Examinador Msc. Rosana Pires Russo Bianco

Dedico este trabalho à minha família e a todos que, direta ou indiretamente, contribuíram para minha formação acadêmica.

AGRADECIMENTOS

À Deus, pelo dom da vida e por me permitir aprender um pouquinho mais a cada dia.

À minha família, que sempre me apoiou nas minhas escolhas e me compreendeu nos momentos de ausência: Clarinda, Luiz, Paulo, Janaína, Naiá, Clara e Matheus. Sem o amor de vocês a vida seria insuportável!

Aos amigos que a vida me presenteou: muito obrigada pela compreensão quando não pude estar presente e por sempre me incentivarem na realização dos meus sonhos.

Ao mestre: professor Lucio Leonardo, muito obrigada pelo apoio, incentivo e paciência para me orientar durante a realização deste trabalho.

Aos colegas de classe, que dividiram comigo muitas alegrias e também os momentos de tensão durante esses anos. Vou levá-los sempre comigo!

Aos professores do Centro Universitário São Camilo, que, com muito amor e dedicação, contribuíram para que eu pudesse concluir mais uma etapa na realização dos meus sonhos.

“Mais importante do que interpretar o mundo, é contribuir para transformá-lo”.

Karl Marx

RESUMO

A elevada concentração de gás radônio no interior das habitações e locais constantemente frequentados, como escolas e hospitais, é um tema que vem preocupando órgãos governamentais de muitos países. O radônio é o responsável pela maior exposição à radiação natural na população geral, sendo determinado como a segunda maior causa de câncer de pulmão, perdendo apenas para o tabagismo. O gás radônio e seus efeitos sobre a saúde vêm sendo cada vez mais discutido em países desenvolvidos. Contudo, no Brasil ainda temos uma enorme carência de informações voltadas sobre esse assunto em toda a população, especialmente aos profissionais da saúde. O objetivo deste trabalho foi reunir informações que possam tornar acessível aos profissionais da saúde o conhecimento sobre a radioatividade natural, principalmente, sobre danos causados pela exposição ao gás radônio. Foi realizada uma revisão bibliográfica, com a intenção de entender a ameaça invisível a que a população está submetida. Concluiu-se que a exposição no interior das residências ao radônio agrava o risco do desenvolvimento de câncer de pulmão, a intensidade de radônio nas habitações está diretamente ligada às condições geográficas e às construções das casas. No Brasil, faz-se necessária a implementação de programas nacionais de radônio para a verificação dos níveis do gás inalados pela população.

Palavras-chave: 1. Neoplasias pulmonares 2. Pessoal de saúde 3. Radioatividade 4. Radônio

ABSTRACT

The high concentration of radon gas inside the constantly-inhabited dwellings and places, such as schools and hospitals, is a topic that has been worrying government agencies in many countries. radon is responsible for the greatest exposure to natural *radiation* in the general population, being determined as the second largest cause of lung cancer, second only to smoking. radon gas and its effects on health have been increasingly discussed in developed countries. However, in Brazil we still have a great lack of information on this subject in the whole population, especially health professionals. The objective of this work was to gather information that could make available to health professionals the knowledge about natural radioactivity, mainly about damages caused by exposure to gas radon. A bibliographic review was carried out, with the intention of understanding the invisible threat in which the population is subjected. It is concluded that exposure to the interior of the home by radon increases the risk of developing lung cancer, the intensity of radon in the dwellings is directly linked to the geographical conditions and the buildings of the houses. In Brazil, it is necessary to implement national radon programs to check the levels of gas inhaled by the population.

Key words: 1. Lung neoplasms 2. Health personnel 3. Radioactivity 4. Radon

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	11
2 OBJETIVO.....	16
3 MÉTODOS	17
4 DESENVOLVIMENTO	Erro! Indicador não definido.
4.1 <i>Efeitos Biológicos das Radiações</i>	18
4.1.1 <i>Classificação dos Efeitos Biológicos</i>	22
4.2 <i>Exposições Globais das Radiações</i>	24
4.2.1 <i>Radiação Cósmica</i>	26
4.2.2 <i>Radiação Terrestre</i>	27
4.3 <i>Gás Radônio</i>	30
4.3.1 <i>Detecção de Gás Radônio</i>	33
4.3.2 <i>Redução da Exposição do Gás Radônio</i>	37
4.3.3 <i>Emanação de Radônio na Construção Civil</i>	40
4.3.4 <i>Legislação Específica Sobre o Radônio</i>	42
5 DISCUSSÃO	46
6 CONCLUSÃO.....	49
REFERÊNCIAS.....	50

1 INTRODUÇÃO

Geralmente, nos cursos superiores da área da saúde, temas como radioatividade, tipos de radiações ou até mesmo sobre os elementos radioativos naturais não são abordados com a mesma importância como ocorre nos cursos de Física ou Radiologia, por exemplo. Como esse tema pode estar relacionado à saúde populacional, se faz necessário a compreensão inicial de tópicos fundamentais apresentados abaixo sobre o tema:

Radiação é a propagação de energia na forma de ondas eletromagnéticas ou na forma de partículas. A onda eletromagnética é uma forma de energia constituída por campos elétricos e campos magnéticos, variáveis e oscilando em planos perpendiculares entre si, propagando-se no vácuo com velocidade de 300.000 km/s, a velocidade da luz (NOBREGA, 2010; WHO, c2018).

Radiação ionizante é qualquer partícula ou radiação eletromagnética que, ao interagir com a matéria, é capaz de arrancar elétrons dos átomos ou de moléculas, direta ou indiretamente, transformando-os em íons positivos ou radicais livres, quando há quebra de ligações químicas (WHO, c2018).

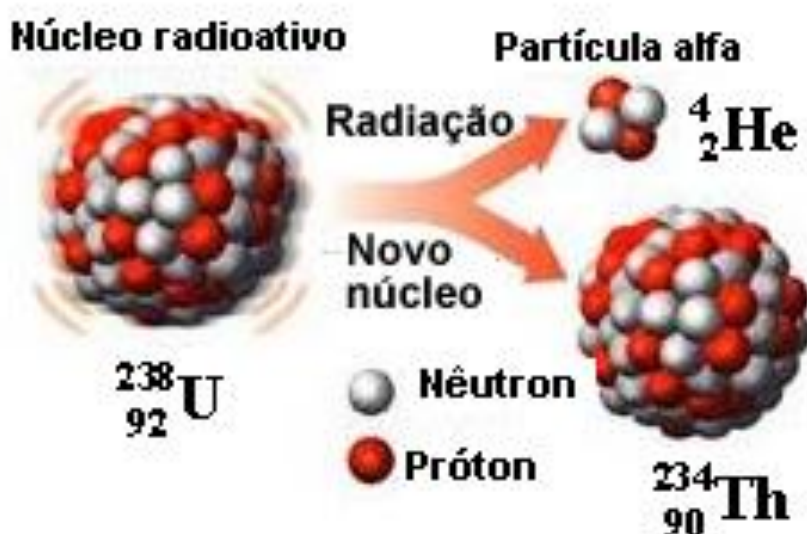
A radioatividade é um fenômeno físico, no qual ocorre a emissão espontânea de radiação por determinados isótopos radioativos existentes no ambiente, de forma natural ou artificial, apresentando-se como ondas eletromagnéticas ou partículas (XAVIER *et al*, 2006).

Esse fenômeno foi descoberto em 1896, pelo cientista francês Henri Becquerel, que realizava experimentos com filmes fotográficos e fragmentos de um mineral contendo Urânio. Posteriormente, o casal Marrie e Pierre Curie descobriram dois elementos radioativos: o polônio e o rádio, iniciando assim, o uso do termo radioatividade (UNEP, 2016; XAVIER *et al*, 2006). A medida da intensidade da radioatividade de uma amostra representa a sua atividade e é, no Sistema Internacional (SI), o becquerel (Beq). Um becquerel equivale a uma desintegração por segundo (DANTAS, 2016).

Isótopos: elementos de número atômico (número de prótons) iguais, mas que possuem número de massa e número de nêutrons diferentes (CARDOSO, 2012 WHO, c2018). Certos isótopos, chamados de radioisótopos, são instáveis, ou seja, possuem a propriedade de emitir radiação. Desta forma, um núcleo com excesso de energia tende a estabilizar-se emitindo partículas alfa, beta ou fótons. Em cada

radiação corpuscular, há uma variação do número de prótons no núcleo, isto é, o elemento se transforma em outro, de comportamento químico diferente. A figura 1 ilustra um núcleo em decaimento alfa transmutando-se em um núcleo de número atômico duas unidades abaixo e de número de massa quatro unidades menor. Nessa transformação ocorre a diminuição gradual de massa e atividade dos radioisótopos. (CARDOSO, 2012; MAZZILLI, 2011; BITELLI, 2006; SERWAY, 1996).

Figura 1. Exemplo de decaimento alfa.



Fonte: FOGAÇA, Jennifer Rocha Vargas. Emissão alfa (α); *Brasil Escola*. Disponível em: < <https://brasilescola.uol.com.br/quimica/emissao-alfa.htm> > Acesso em: 07 set. 2017.

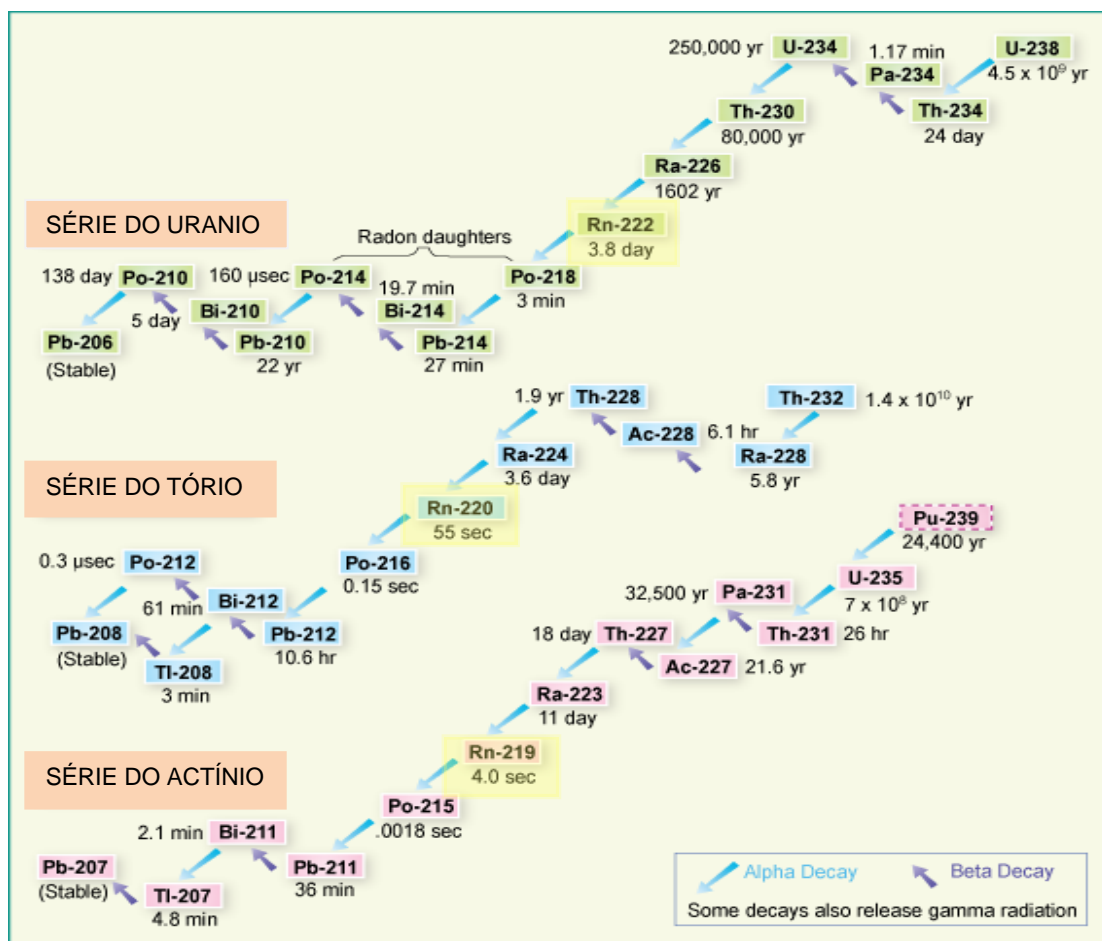
Para cada radioisótopo, natural ou obtido artificialmente, existe um tempo específico de decaimento radioativo chamado meia-vida. Esse consiste no período de tempo necessário para que o número de átomos radioativos se desintegre à metade do valor inicial. Esse tempo pode variar de frações de segundo, alguns segundos - como o gás radônio (radioisótopo ${}^{220}\text{Rn}$) com meia-vida de 56 segundos, ou até mesmo de bilhões de anos, como é o caso do urânio (${}^{238}\text{U}$), que possui meia-vida de aproximadamente 4,5 bilhões de anos (NEMAN, 2004;)

Os radioisótopos conhecidos se dividem em dois grupos: os radioisótopos naturais e os artificiais. Os radioisótopos naturais são responsáveis pela

radioatividade natural e os artificiais tem origem em laboratórios de pesquisa, reatores nucleares ou em testes de explosões nucleares.

A radioatividade natural ocorre desde que o Universo foi originado. Dessa forma, simultaneamente à sua formação, há elementos radioativos presentes na crosta e núcleo terrestres, denominados radionuclídeos primordiais. Esses ocorrem, principalmente, em três séries ou famílias de isótopos radioativos naturais: das séries do Urânio (^{238}U), Actínio (^{235}U) e Tório (^{232}Th) (Figura 2). Cada série inicia-se por um isótopo de meia-vida longa, que excede a meia-vida de qualquer um dos seus descendentes (SILVA, 2005).

Figura 2. Decaimento radioativo das principais séries de radionuclídeos naturais.



Fonte: FERREIRA (2015).

A existência das séries radioativas naturais explica a presença constante de elementos radioativos no ambiente. No solo e lençóis freáticos, os radionuclídeos estão na composição dos alimentos, plantas, na água e sendo difundido para o ar. Na atmosfera, raios cósmicos e solares também são responsáveis pela radiação incidente no planeta e podem originar os radionuclídeos cosmogênicos. (SILVA, 2005; UNEP, 2016).

Considerando, hipoteticamente, a inexistência das séries principais de radionuclídeos, seria impossível a ocorrência da radioatividade natural. Por exemplo, o elemento rádio (^{226}Ra), que possui meia-vida de 1.600 anos, há muito teria desaparecido pelo decaimento radioativo se não fosse a série que o principia, o ^{238}U , cuja meia-vida é de 4,5 bilhões de anos. (SERWAY, 1996).

Das três famílias principais, as famílias ^{238}U e ^{232}Th são as mais abundantes e mais importantes sob o ponto de vista de saúde pública. Observa-se nos decaimentos que há a formação de um isótopo na forma gasosa, o gás radônio (Figura 2).

O radônio é um gás nobre, ou seja, inerte, não reage ou combina com outros elementos, é incolor, inodoro e insípido. Da família do ^{238}U , o ^{222}Rn é proveniente do decaimento alfa do elemento ^{226}Ra e possui meia-vida de 3,82 dias. É um importante radionuclídeo de origem natural. (AFONSO, 2009; SILVA, 2005).

Ao decair, esse gás emite partículas alfa de 5,48 MeV (MeV = 10^6 elétron volt) dando origem à uma cadeia de elementos conhecidos como filhos ou descendentes do radônio, sendo os principais elementos o Polônio: ^{218}Po e o ^{214}Po (Figura 2).

Devido às suas características, o radônio pode naturalmente se difundir através do solo, lençóis freáticos e rochas. Ele se infiltra pelo concreto, pois os materiais de construção (cimento e anexos) possuem em sua composição ^{238}U como impureza; além de solo exposto e canos soltos e frouxos, tendendo a formar altas concentrações em ambientes fechados, minas subterrâneas e cavernas (GARZILLO *et al*, 2017). Ao ar livre as concentrações de ^{222}Rn são baixas, mas em ambientes fechados ou pouco ventilados seu acúmulo pode causar um risco elevado à saúde da população, sendo considerado um fator de risco para o câncer de pulmão quando inalado por longos períodos, e, unido ao tabagismo o risco torna-se maior (FERREIRA e CARVALHO FILHO, 2011; UNEP, 2016).

Segundo a UNEP (United Nations Environment Programme), o gás radônio é responsável por aproximadamente metade da dose de radiação natural recebida pela população mundial, o equivalente a 1,3 mSv em média de dose efetiva anual (Sievert é uma unidade utilizada para medir o impacto da radiação ionizante sob o corpo humano (TAUHATA *et al*, 2013)).

Ao ser inalado, o gás radônio decai emitindo partículas alfa nos pulmões e trato respiratório, dando origem aos seus filhos ou produtos de decaimento, ^{218}Po e ^{214}Po . As partículas alfa externamente podem ser atenuadas por uma folha de papel devido ao seu baixo poder de penetração, porém quando se instalam no interior dos pulmões possuem um poder de ionização muito elevado e dificilmente serão expelidas pelo organismo podendo interagir com o tecido biológico, aumentando assim, a probabilidade do surgimento de câncer de pulmão (IRD, 2016).

De acordo com a Organização Mundial da Saúde (OMS), estudos realizados no século XX apresentaram as primeiras suspeitas de que o radônio era a causa do câncer de pulmão em mineiros, e durante os anos de 1950 foi determinado que o radônio seja um potencial causador de câncer de pulmão. Com isso, a Agência Internacional de Pesquisa em Câncer (IARC), em 1988 classificou a radônio com um agente cancerígeno humano (IRD, 2016). Segundo GARZILLO *et al*, a parcela de câncer de pulmão atribuível ao radônio interno é estimado entre 3% e 14%, dependendo da concentração média de radônio no país de estudo e os métodos de análise.

A medição das concentrações de radônio exalado e seus produtos de decaimento é realizada através de detectores específicos, sendo que, em muitos países, a concentração de radônio recomendada para realizar medidas de ação é de 200 Bq/m^3 (IRD, 2016).

Embora estudos sobre a concentração de radônio em ambientes fechados seja amplamente difundido há muitos anos nos países da América do Norte e Europa, aqui no Brasil existe uma acentuada carência de estudos relacionados à radioatividade natural, e, além disso, praticamente não existem informações para a população sobre os possíveis efeitos causados pelo gás radônio na saúde, razão essa do desenvolvimento desse trabalho.

2 OBJETIVO

Este trabalho visa tornar compreensível ao profissional da saúde a ocorrência da radioatividade natural com ênfase na exposição populacional ao radônio no ar.

3 MÉTODOS

O desenvolvimento do trabalho foi realizado com base em uma revisão bibliográfica. A pesquisa foi elaborada através de levantamento, nacional e internacional, de artigos científicos, dissertações de mestrado, teses de doutorado e endereços eletrônicos, selecionados nas bases de dados Google Acadêmico, Scielo, Lilacs, Bireme e na biblioteca Padre Inocente Radrizzani do Centro Universitário São Camilo.

O material utilizado nesta revisão bibliográfica foi publicado no período compreendido entre 1994 e 2018.

Os critérios de busca para a pesquisa foram realizados através das seguintes palavras chave: Gás Radônio, Radioatividade Natural, Câncer de Pulmão.

4 DESENVOLVIMENTO

No presente trabalho serão apresentados temas essenciais para o entendimento, sobretudo dos profissionais da saúde, relativos à radioatividade natural, com atenção especial às emissões de gás radônio e os seus efeitos na saúde da população quando inalados.

4.1 Efeitos Biológicos das Radiações

A radiobiologia é o estudo dos efeitos causados pela radiação ionizante no corpo humano. Devido à propagação do conhecimento sobre os riscos associados à exposição à radiação, o século XIX presenciou o desenvolvimento de intensa pesquisa sobre os efeitos da radiação nos seres humanos e no meio ambiente. Com o passar dos tempos esses efeitos foram identificados e descritos, sobretudo, quando o homem encontrava-se exposto de forma aguda, como em acidentes ou uso médico (NOUAILHETAS, 2005).

O tecido biológico, como toda matéria existente, é constituído por diferentes átomos de elementos químicos, unidos por forças elétricas, dando origem às moléculas. Quando uma partícula ionizante arranca um elétron de um dos átomos de uma molécula do nosso corpo, pode causar seu desequilíbrio resultando na modificação das propriedades das ligações químicas atômicas (BUSHONG, 2010; OKUNO, 2013).

Algumas moléculas do nosso organismo podem ser muito pequenas como a molécula da água, e outras muito grandes como a molécula de DNA. Os seres vivos são constituídos, principalmente, por átomos de carbono (C), hidrogênio (H), oxigênio (O) e nitrogênio (N). Estes átomos, combinados entre si, constituem a base das moléculas biológicas, como podemos observar na tabela a seguir, a água é a substância em maior quantidade no corpo humano (NOUAILHETAS, 2005; OKUNO, 2013).

Tabela 1: Composição aproximada do corpo humano.

MATERIAL	PESO MOLECULAR	g/Kg	MOLÉCULAS/Kg	% DE MOLÉCULAS	% EM PESO
H ₂ O	18	600	2x10 ²⁵	97,9	60
Proteínas	10 ⁴	170	1x10 ²¹	0,01	17
Gorduras	800	150	1x10 ²³	0,5	15
Osso mineral	130	40	2x10 ²³	0,98	4
Sais	66	10	1x10 ²³	0,5	1
Glicogênio	10 ⁶	20	1x10 ¹⁹	0,0001	2
Carboidratos	180	10	3x10 ²²	0,015	1

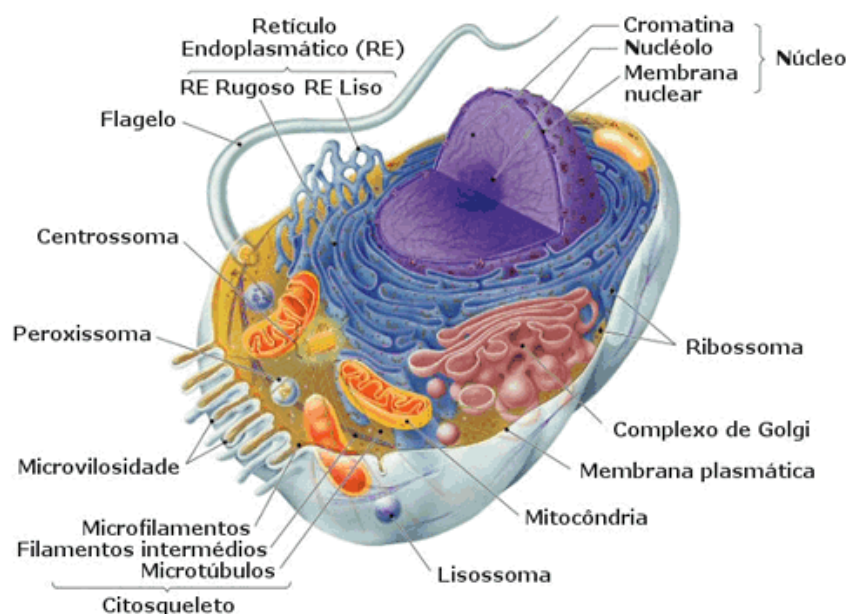
Fonte: NOUAILHETAS, 2005.

Se o átomo é um constituinte de uma grande molécula, a ionização pode resultar em sua quebra ou na realocação do átomo. A molécula anormal pode passar a funcionar de maneira inapropriada ou deixar de funcionar, podendo resultar em sérios desajustes funcionais ou na morte da célula (MOREIRA, 2011; NOUAILHETAS, 2005).

As células, unidade morfológica e fisiológica dos seres vivos, são compostas por um sistema de membranas de lipídios e proteínas, tendo como principais funções, manter a integridade celular e controlar a entrada e a saída de substâncias. Toda célula humana tem uma função específica no funcionamento do organismo como um todo. O citoplasma, que preenche a célula, é constituído principalmente por água e proteína, e onde se encontram as diferentes organelas responsáveis pelas variadas atividades celulares (Figura 3).

O nosso organismo consiste em dois tipos gerais de células: células somáticas e células germinativas. As células germinativas incluem a oogônia da fêmea e a espermatogônia do macho. Todas as demais células do organismo são células somáticas. A mitose é o crescimento, desenvolvimento e divisão celular das células somáticas, enquanto que a meiose é a divisão e proliferação de células germinativas (BUSHONG, 2010).

Figura 3: Representação de uma célula humana e suas principais estruturas nominadas.

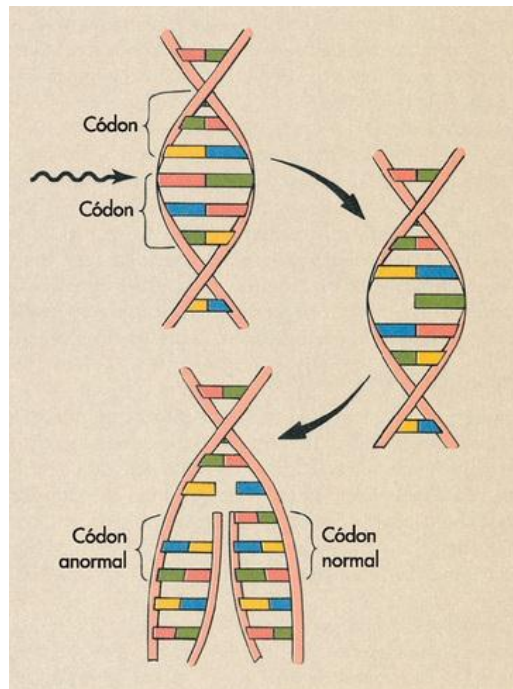


Fonte: Virtuoso Tecnologia da Informação, 2008-2018. Células. *Só Biologia*. Disponível em: < <https://www.sobiologia.com.br/conteudos/Corpo/Celula.php> > Acesso em: 30 nov. 2017.

As estruturas sensíveis à radiação estão localizadas no núcleo e não no citoplasma celular, inclusive, a resposta celular à radiação não depende exclusivamente da dose recebida, mas também da sua radiosensibilidade, sendo a célula capaz de responder de diversas maneiras para recuperar os danos causados e manter a sua fisiologia, como é apresentado na figura 5 (MOREIRA, 2011; BUSHONG, 2010).

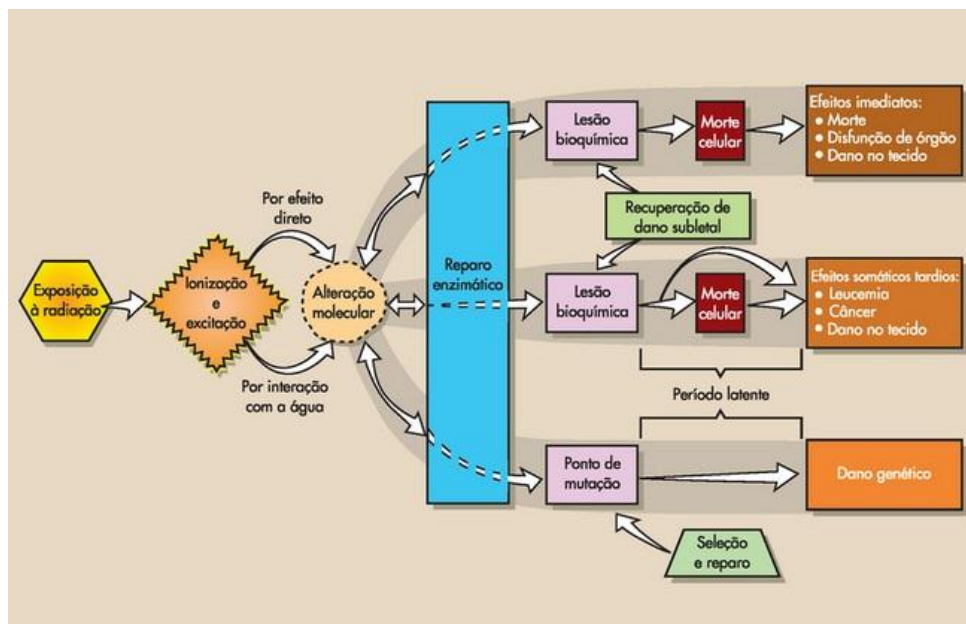
As células possuem uma grande quantidade de macromoléculas, porém só algumas são essenciais para a sua sobrevivência. Como é o caso do DNA, onde contém toda a informação hereditária da célula. Se essa macromolécula fundamental, cuja substituição é impossível, for lesada ou destruída, o resultado poderá ser a morte celular. Lesão no DNA é o principal motivo de morte celular causada pela radiação. O dano no DNA também pode ocasionar em uma atividade metabólica anormal (Figura 4), a proliferação rápida e incontrolada de células é a principal característica de doenças malignas induzidas pela radiação. (MOREIRA, 2011; BUSHONG, 2010).

Figura 4: Mutação pontual resultando na perda ou mudança de uma base, levando à criação de um gene anormal, que será transmitida para uma das células filhas.



Fonte: (BUSHONG, 2010).

Figura 5. Sequência de eventos em resposta à exposição do tecido biológico pela radiação ionizante.



Fonte: (BUSHONG, 2010).

4.1.1 Classificação dos Efeitos Biológicos

São conhecidos os danos biológicos aos seres vivos causados pelas radiações ionizantes, dependendo da radiosensibilidade da célula afetada (NOBREGA, 2010). Há inúmeros fatores que são determinantes na resposta biológica do corpo humano quando exposto à radiação ionizante. As causas podem estar associadas à fonte de radiação, à energia da radiação, à dose absorvida pelo organismo, à duração da exposição, às condições ambientais, à idade do indivíduo, sexo, hábitos, susceptibilidade genética e sensibilidade à energia radioativa (OLIVEIRA, 2016; MOREIRA, 2011).

Os efeitos da exposição à radiação aos seres vivos podem ser classificados em estocásticos e determinísticos, quando se trata da dose e resposta; em imediatos e tardios, quando relacionamos com o tempo de manifestação; e em somáticos e genéticos, ao considerar o nível de dano do organismo. Além disso, a radiação pode danificar a célula por mecanismos diretos e indiretos (OKUNO, 2013; OLIVEIRA, 2016).

Os efeitos estocásticos, segundo Moreira, 2011 são aqueles cuja possibilidade do efeito aumenta com a dose, ao invés da sua severidade. Ou seja, esse tipo de efeito pode ser induzido por qualquer dose, inclusive por radiação natural. Não havendo limiar de dose, nenhuma dose pode ser considerada segura (OLIVEIRA, 2016).

Mesmo as exposições consideradas insignificantes podem aumentar o risco de lesão celular. As principais alterações que acometem as células normais são o câncer: mutação e carcinogênese. Se a exposição afeta células germinativas, é possível a ocorrência de efeitos hereditários (OKUNO, 2013).

Ao contrário dos efeitos estocásticos, os feitos determinísticos apresentam um limiar de dose, sendo que gravidade da exposição aumenta com a dose recebida (NOBREGA, 2010).

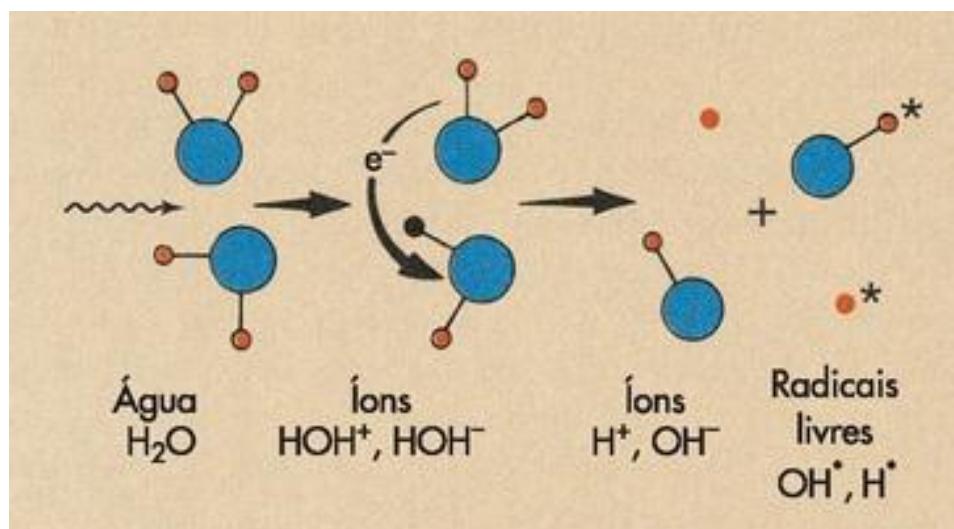
Caso o tecido que fora exposto tenha lesionado poucas células o efeito não necessariamente será sentido, porém, se um número muito elevado de células for danificado, implicará no mau funcionamento ou até mesmo na morte dos tecidos ou órgãos. Nestas reações, quanto maior for a dose de exposição, mais grave será o efeito causado (OKUNO, 2013).

Quando o tecido biológico é exposto à radiação, seu dano pode ser causado de maneira direta ou indireta.

A alteração ocasionada por mecanismo direto resultará na lesão de macro moléculas como o DNA (ácido desoxirribonucleico): (Figura 4), o RNA (ácido ribonucleico) ou na ionização ou excitação de proteína, podendo causar mutações genéticas ou até mesmo a morte da célula. Os efeitos causados por mecanismos indiretos ocorrem quando a radiação interage quimicamente com as moléculas de água no organismo, que são quebradas formando radicais livres e íons (Figura 6), com capacidade para atacar outras moléculas importantes. A este processo denomina-se radiólise da água (NOBREGA, 2010; SEGRETO, 2000).

Já que o corpo humano é constituído por mais de 70% de água, a radiólise da água é a responsável pela grande maioria dos danos causados aos tecidos por radiação. Ademais, os radicais livres podem ser produzidos pela ionização de outras moléculas, especialmente os lipídeos (SEGRETO, 2000).

Figura 6. A radiólise da água resulta na formação de íons e radicais livres



Fonte: (BUSHONG, 2010).

Os efeitos somáticos ocorrem em consequência da quantidade e taxa de dose absorvida e região do corpo que será exposta à radiação (OLIVEIRA, 2016). Esses efeitos podem ocorrer imediata ou tardiamente à dose recebida pelo indivíduo que foi exposto à radiação.

Tempo de latência é o período correspondido entre a irradiação do indivíduo e o surgimento de algum dano biológico (MOREIRA, 2011).

Os efeitos imediatos possuem um curto período de latência e os principais sintomas são: vômito, radiodermite, falência de alguns órgãos, esterilização do indivíduo, quando a região das gônadas e órgãos reprodutores é atingida. Já os efeitos tardios apresentam um período de latência muito longo, e em algumas ocasiões o indivíduo exposto mostra determinado dano somente anos após a exposição à radiação, como por exemplo, o câncer (NOBREGA, 2010; OLIVEIRA, 2016).

Os efeitos hereditários ou genéticos são transmitidos de pais para filhos quando houve a irradiação na região das gônadas (OKUNO, 2013). Esses efeitos podem gerar alguma mutação genética e alteração funcional no indivíduo descendente, pois nessa região encontra-se o material genético que está contido na molécula de DNA (NOBREGA, 2010).

4.2 Exposições Globais das Radiações

Mesmo antes do surgimento da vida no planeta Terra, a radioatividade já acontecia. Somos continuamente expostos às radiações ionizantes provenientes de diferentes fontes – naturais e artificiais, além disso, todas as espécies de vida em nosso mundo existiram e evoluíram em ambientes onde a radiação natural se faz presente (MAZZILLI, 2011; FERREIRA e CARVALHO FILHO, 2011).

Fontes artificiais de radiação são todas aquelas decorrentes de ações antropogênicas no meio onde o ser humano habita, como a liberação de materiais radioativos, utilização de reatores nucleares e testes de explosões nucleares, além da utilização da radiação na indústria e na medicina (UNSCEAR, 2016). Certamente a influência humana contribui para o aumento dos níveis de radioatividade no meio

ambiente, elevando a dose de radiação dos indivíduos expostos ao atingir valores que podem ser nocivos à saúde da população, porém aqui serão detalhados os efeitos causados pela radiação de maior interesse para o atual estudo, a radiação natural.

As fontes de radiação natural são provenientes do espaço: radiação cósmica; de materiais radioativos presentes no núcleo e crosta terrestre; radionuclídeos primordiais e seus produtos de decaimento; além da água e alimentos que ingerimos (UNEP, 2016; TAUHATA, 2013). Mais de 80% de nossa exposição provém de fontes naturais e apenas 20% de fontes artificiais geradas pelo homem (Gráfico 1).

Gráfico 1. Gráfico de exposição mundial à radiação.



Fonte: Adaptado de (UNEP, 2016).

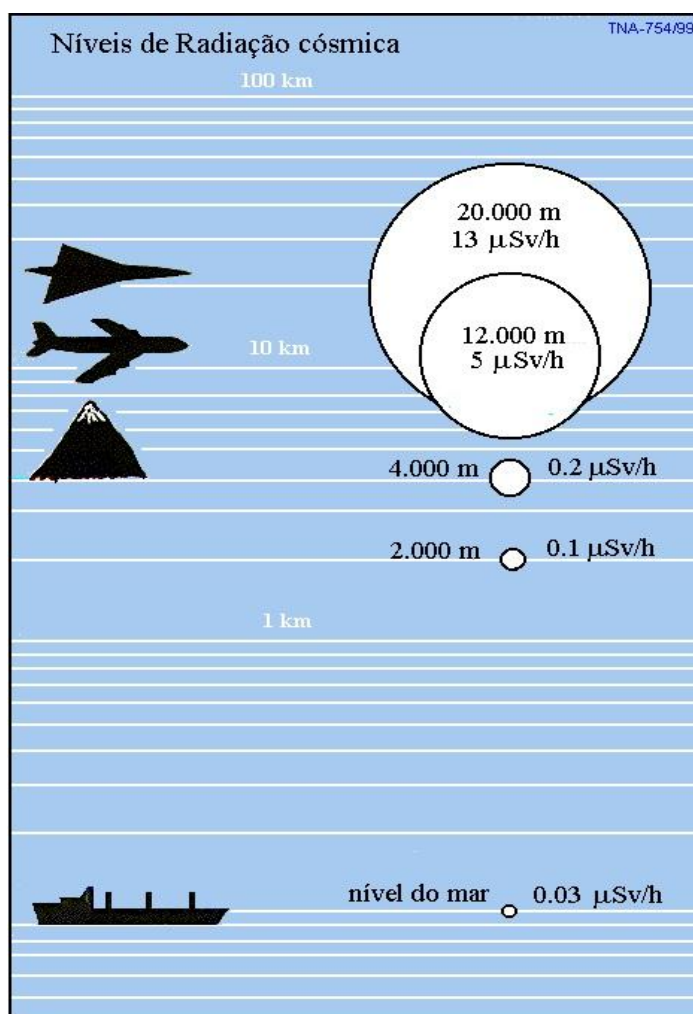
4.2.1 Radiação Cósmica

Os raios cósmicos são a fonte de radiação dominante do espaço sideral, sendo originados, na maior parte, pelos espaços interestelares e por explosões solares capazes de emitirem radiação à Terra e interagirem com nossa atmosfera (PRÍZIO, 2013).

Devido ao campo magnético terrestre a grande parcela dessa radiação não nos atinge, porém alguns locais do globo são mais afetados do que outros. As regiões Polares recebem com maior incidência partículas de origem cósmica do que a região Equatorial, e nota-se o aumento da intensidade da radiação à medida que a altitude aumenta. Isso ocorre devido à proteção proveniente da camada de atmosfera ser menor em grandes altitudes (PETTA e CAMPOS, 2013; UNEP, 2016).

Moreira (2011) indica que a dose equivalente média *per capita* de radiação cósmica a que estamos expostos é de 270 μSv (27 mrem) por ano. Contudo, dependendo de como os indivíduos realizam suas atividades cotidianas, a exposição à radiação cósmica pode ser elevada, por exemplo, quanto maior a altitude, maior será a radiação recebida (Figura 7). Há uma grande possibilidade de passageiros e tripulantes de aviões serem expostos a doses elevadas de radiação, dependendo do tempo de duração do voo. A título de exemplo (UNEP, 2016), um voo de Nova Iorque à Paris, ida e volta, seria o equivalente a aproximadamente 0,05 mSv de exposição para uma pessoa. Essa dose é mais ou menos a mesma dose efetiva que um paciente receberia em um exame de raios X de tórax.

Figura 7. Níveis de radiação cósmica



Fonte: (MAZZILLI, 2011).

4.2.2 Radiação Terrestre

- Solo

As fontes de radiação terrestre podem ser encontradas na natureza desde a criação do universo em vários níveis, dependendo da concentração da atividade existente nas rochas, solos, paredes das casas, ar que respiramos, água, alimentos e até mesmo no corpo humano (MAZZILLI, 2011; OKUNO, 2013).

Os radionuclídeos primordiais são de meia-vida extremamente longa - mais de bilhões de anos, como ^{40}K (Potássio), ^{238}U (Urânio) e o ^{232}Th (Tório), juntamente com seus produtos de decaimento, o ^{226}Ra (Rádio) e o ^{222}Rn (Radônio). O gás radônio é uma importante fonte de radiação terrestre para o público em geral. Por ser produto de decaimento proveniente do rádio e urânio, e difundir-se facilmente pelo solo e paredes, causa grande impacto na saúde quando inalados pela população devido à grande probabilidade de seus filhos ficarem retidos no trato respiratório (PETTA e CAMPOS, 2013; IRD, 2016).

De acordo com a UNEP, 2016 cada pessoa ao redor do mundo recebe por ano, em média, uma dose efetiva de cerca de 0,48 mSv de exposição externa originadas de fontes terrestres.

A exposição e a intensidade da radiação terrestre variam de um local para outro: dependendo da posição geográfica, composição do solo, condições climáticas e hábitos socioculturais (SILVA, 2005). Estudos realizados na França, Alemanha, Itália, Japão e Estados Unidos, por exemplo, mostram que cerca de 95% de suas respectivas populações vivem em áreas onde a dose média anual ao ar livre varia de 0,3 a 0,6 mSv, podendo chegar a 1 mSv, em alguns lugares. Entretanto, há lugares onde os níveis de radiação são bem maiores. Por exemplo, na costa sudoeste de Kerala, Índia, uma faixa de terra de 55 km densamente povoada contém areia rica em Tório onde as pessoas recebem, em média, 3,8 mSv anualmente (UNEP, 2016).

No Brasil, regiões com altos níveis de radiação proveniente de fontes terrestres naturais são encontradas próximas à cidade de Poços de Caldas, Minas Gerais, onde existe uma colina chamada Morro do Ferro onde os níveis de radiação atingem valores da ordem de 250 mSv/ano, porém este lugar não é habitado (MAZZILLI, 2011).

Na cidade de Guarapari, Espírito Santo, entretanto, onde vivem cerca de 12.000 habitantes, podendo receber até 30.000 visitantes durante as férias de verão, 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. No porto de pescadores de Meaípe, situado a 50 quilômetros ao sul de Guarapari, também se confirma a presença de areias ricas em tório (MAZZILLI, 2011).

- *Alimentos*

A Terra é abundante em minerais radioativos naturais, originados das famílias de radionuclídeos primitivos. A presença das elevadas concentrações desses minerais no solo faz com que todos os seres vivos sejam expostos à radioatividade natural em maior ou menor intensidade, dependendo da região geográfica (FERREIRA e CARVALHO FILHO, 2011; SILVA, 2005).

Ao ingerirmos alimentos ou bebidas, somos irradiados internamente por substâncias presentes naturalmente nesses compostos. Os radionuclídeos podem ser transferidos diretamente para os alimentos através do solo e para as plantas através da água, e desta maneira, conseqüentemente chegam aos animais e aos seres humanos (CAMPOS, 1994; UNEP, 2016).

Estudos realizados demonstram que os peixes e os crustáceos possuem relativamente elevados níveis de Chumbo-210 e de Polônio-210; portanto, as pessoas que consomem grande quantidade de frutos do mar podem receber doses um pouco mais elevadas do que a população em geral. Pessoas que vivem em regiões do Ártico também recebem doses mais elevadas por comerem carne de rena. As renas do Ártico contêm concentrações de Polônio-210 relativamente altas, acumuladas no líquen em que pastam (UNEP, 2016).

O UNSCEAR, 2016, estima que adose efetiva média resultante de fontes naturais em alimentos e bebidas seja de 0,3 mSv devido, principalmente, ao Potássio-40 e às séries de radionuclídeos do Urânio-238 e do Tório-232.

Um estudo realizado pela cientista Anne Marie Helmenstine, Ph.D, elegeu os dez alimentos mais radioativos do planeta. Entre esses, encontra-se no topo da lista a nossa Castanha-do-Pará, que contém altos níveis de rádio e potássio, e emitem mais de 6.600 pCi/kg de radiação. A banana, uma das frutas mais consumidas no Brasil, não poderia ficar fora da lista, pois oferecem 1pCi/kg de radônio-226 e 3.520 pCi/kg de potássio-40. Sendo que o alto teor de potássio faz parte do motivo pelo qual as bananas são tão nutritivas. Podemos absorver a radiação dos alimentos, porém ela não nos será prejudicial.

4.3 Gás Radônio

No início do século XX, cientistas contribuíram para uma nova forma de compreensão do fenômeno da radioatividade. Entre os principais cientistas estão: Friedrich Ernest Dorn e Ernest Rutherford. Dorn verificou que um gás era liberado pelo elemento rádio, chamando-o de “emanação do Rádio”. Rutherford, em 1904 notou que os compostos de tório liberavam um gás radioativo, denominando-o de “emanação do tório”. Esses acontecimentos foram de extrema importância, pois a radioatividade até esse período era conhecida apenas em compostos sólidos. Além disso, Rutherford realizou um experimento para determinar a massa molar da “emanação do tório”, sendo considerado o primeiro isolamento do radônio exercido com sucesso. Devido a isso, credita-se a Rutherford a descoberta do radônio (PETTA e CAMPOS, 2013; MARQUES, 2006).

O radônio (^{222}Rn) é um gás nobre, ou seja, inerte, não reage ou combina com outros elementos. É incolor, inodoro, insípido e possui meia-vida de 3,82 dias. Possui densidade, aproximadamente, oito vezes maior que a do ar. Seu número atômico é 86 e seu número de massa é 222. É um importante radionuclídeo de origem natural. Proveniente do decaimento alfa do elemento ^{236}Ra , sendo esse produto do decaimento do ^{238}U , naturalmente presente no meio ambiente (BRITO, 2013; HASHIMOTO, 2017; IRD, 2016; SILVA, 2005).

Ao decair, o gás radônio emite partículas alfa de 5,48 MeV dando origem a uma cadeia de elementos conhecidos como filhos ou descendentes do radônio, sendo os principais elementos o Polônio: ^{218}Po e o ^{214}Po . (Figura 1). Ao ser depositado nos pulmões, o polônio, que é um metal, durante os próximos momentos emitirá várias partículas alfa, beta e raios gama. Em seguida, transforma-se em chumbo (^{210}Pb), esse possui meia-vida de 22 anos e é relativamente estável, porém pode vir a gerar problemas de saúde futuros (PETTA e CAMPOS, 2013).

Devido as suas características, o radônio pode naturalmente se difundir através do solo, lençóis freáticos e rochas (Figura 8). Ele se infiltra pelo concreto, pois os materiais de construção (cimento e anexos) em sua composição contêm ^{238}U como impureza; bombas de esgoto, solo exposto, canos soltos e frouxos, tendendo a formar altas concentrações em ambientes fechados, minas subterrâneas e cavernas (FEREIRA e CARVALHO FILHO, 2011; GARZILLO *et al*, 2017).

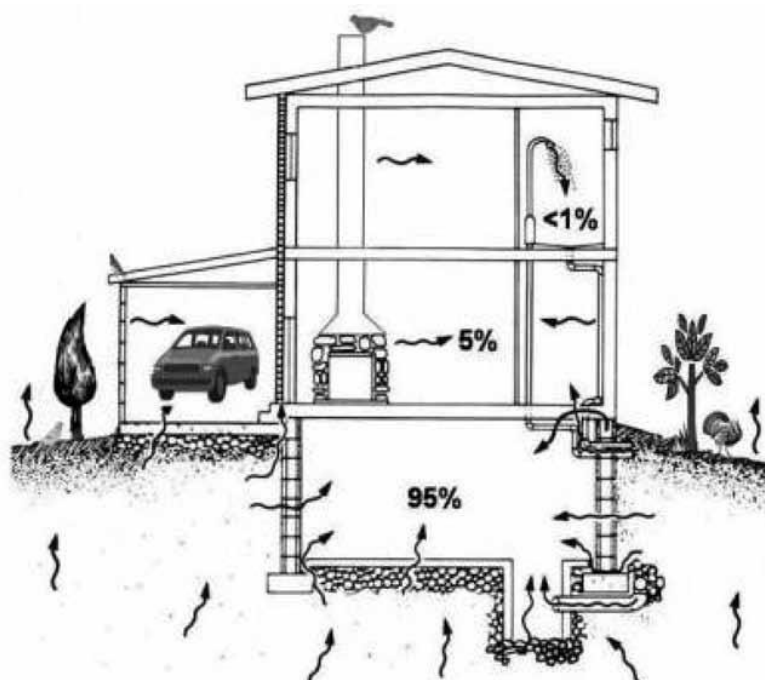
Por ser um gás, o radônio pode se acumular no interior de habitações, hospitais, escolas, escritórios, *shoppings centers*, centros comerciais, túneis e metrô. Ao ar livre as concentrações de ^{222}Rn são baixas, mas em ambientes fechados ou pouco ventilados seu acúmulo pode causar um risco elevado à saúde da população. Segundo GARZILLO *et al*, 2017, o radônio e seus produtos de decaimento são considerados um fator de risco para o câncer de pulmão quando inalado em altas concentrações por longos períodos.

Ao ser inalado, o gás radônio decai emitindo partículas alfa nos pulmões e trato respiratório, dando origem aos filhos ou produtos de decaimento do radônio: ^{218}Po e ^{214}Po . As partículas alfa externamente podem ser atenuadas por uma folha de papel, porém quando instaladas nos pulmões e trato respiratório possuem um poder de ionização muito elevado e dificilmente serão expelidas pelo organismo podendo interagir com o tecido biológico, aumentando assim, a probabilidade do surgimento de câncer de pulmão (EPA, 2016; IRD, 2016).

Em meados do século XVI, observou-se na Europa Central, um aumento no número de mortes por doenças respiratórias. No século XX apareceram as primeiras suspeitas de que o radônio era a causa do câncer de pulmão em mineiros, e durante os anos de 1950 foi determinado que o radônio é um causador de câncer de pulmão. Com isso, a Agência Internacional de Pesquisa em Câncer (IARC), em 1988 classificou o radônio como um agente cancerígeno humano (IRD, 2016). Nos Estados Unidos, é a segunda maior causa de câncer de pulmão entre as pessoas, como representa o gráfico 2. Estima-se que, em 1995 um total de 157.400 mortes por câncer de pulmão a nível nacional, sendo que 21.100 (13,4%) estavam relacionadas ao radônio (EPA, 2016).

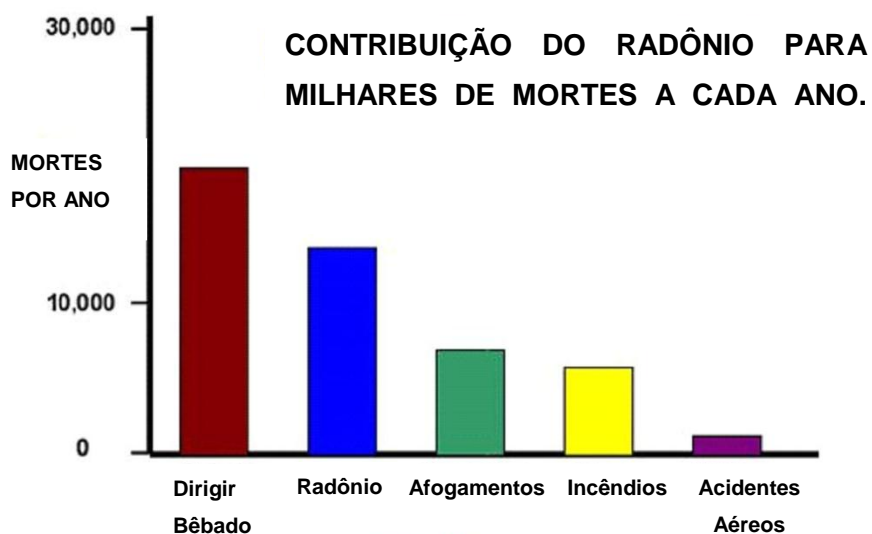
A medição das concentrações de radônio exalado é realizada através de detectores específicos, sendo possíveis estudos a curto e longo prazo levando em conta as variações diárias e sazonais do gás. Em muitos países, a concentração de radônio recomendada para realizar medidas de ação é de 200 Bq/m^3 (IRD, 2016).

Figura 8. Contribuição de diversas fontes para o aumento dos níveis de radônio no interior das residências.



Fonte: (FERREIRA, 2006).

Gráfico 2. Demonstração da relação entre as diversas causa mortis/ano nos Estados Unidos. Nota-se que o radônio aparece em 2º lugar, perdendo apenas para acidentes com motoristas alcoolizados.



Fonte: (EPA, 2016).

4.3.1 Detecção de Gás Radônio

A medição das concentrações de radônio exalado e seus produtos de decaimento é realizada através de detectores específicos, tornando possível o estudo a curto e a longo prazo, levando em conta as variações diárias e sazonais do gás e o local de medição. Segundo a OMS, em muitos países, a concentração de radônio recomendada para realizar medidas de ação é de 200 Bq/m³ (IRD, 2016).

As partículas alfa são capazes de produzir ionizações significativas na matéria. Se essas partículas atravessam, por exemplo, o interior de uma massa gasosa, os elétrons liberados em consequência do processo de ionização podem ser coletados por um eletrodo carregado positivamente e colimados na forma de pulsos de tensão ou de corrente elétrica (BRITO, 2013).

Os detectores de gás radônio mais populares, segundo a IRP (Projeto Internacional de Radônio) e OMS (Organização Mundial da Saúde) são: Detectores de Traço de Partículas Alfa (DTPA), Câmaras de Ionização de Eletreto (CIE) e os Detectores de Carvão Ativado (DCA), sendo esses de caráter passivo, ou seja, não necessitam de energia elétrica nem bombeamento para realizar a medição. Porém, em muitos países foram utilizados detectores ativos, que utilizam eletricidade e possibilitam o registro contínuo da concentração e das flutuações do gás durante o tempo de medição: compreendendo os Detectores de Integração Eletrônica (DIE) e Monitores Contínuos de Radônio (MCR) (IRD, 2016). A tabela 2 nos apresenta os detectores mais utilizados e suas principais características.

Tabela 2. Diferentes tipos de detectores de medição do gás radônio e suas características.

Tipo de detector	Passivo/ Ativo	Incerteza típica * [%]	Período de amostragem	Custo
Detectores de Traços de Partículas Alfa (DTPA)	Passivo	10 – 25	1 - 12 meses	Baixo
Detector de Carvão Ativado (DCA)	Passivo	10 – 30	2 – 7 dias	Baixo
Câmara de Ionização de Eletreto (CIE)	Passivo	8 – 15	5 dias – 1 ano	Médio
Detector de Integração Eletrônica (DIE)	Ativo	~ 25	2 dias – ano (s)	Médio
Monitor Contínuo de Radônio (MCR)	Ativo	~ 10	1 hora – anos (s)	Alto

*Incerteza expressa para durações ótimas de exposição e para exposições ~ 200 Bq/m³.

Fonte: Adaptado de: IRD - Manual da OMS sobre radônio em ambientes internos: uma perspectiva de saúde pública, 2016.

Figura 9. Detector de traços de partículas alfa (DTPA). Um dos dispositivos de medição do gás radônio mais comumente usado em diversos países.



Fonte: RADONOVA. Premium Home Test Kit – Short Term. Disponível em: <https://radonova-cdn.r.worldssl.net/wp-content/uploads/sites/4/TJO_2570_02-small.jpg> Acesso em: 15 mar. 2018.

Figura 10. Dispositivo de medição do radônio aberto (esquerda) mostrando o polímero detector em seu interior (CR-39).



Fonte: MAGISTER S.R.L. Dosímetro. Disponível em: <<http://www.magistersrl.eu/wps/wp-content/uploads/2013/06/Radon.jpg>> Acesso em: 15 mar. 2018.

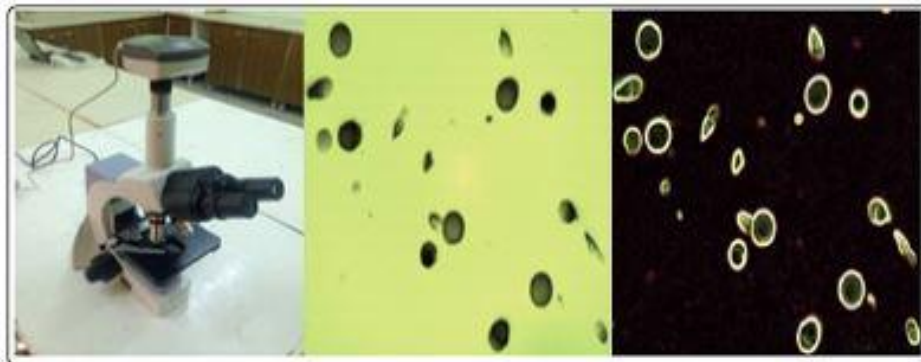
Os detectores de técnica passiva mais utilizados para a medição do gás são os detectores plásticos de traços nucleares, normalmente encontrados pela sigla SSNTD (Solid State Nuclear Track Detector), sendo o CR-39 (Figuras 9 e 10) amplamente utilizado na medição de radônio e filhos.

A detecção consiste na formação de traços na estrutura da lâmina plástica, devido aos danos causados pela passagem de partículas alfa, prótons, íons pesados, ou fragmentos de fissão que atingem o detector (SILVA, 2005).

Logo após receber o tratamento químico, que se baseia num banho do detector em substância alcalina com temperatura e tempo adequados, é possível realizar a contagem dos traços por microscópio óptico (Figuras 11 e 12). A verificação do gás radônio é feita pela relação do número de traços existentes no detector com a concentração de emissores alfa presentes no ambiente (SANTOS, 2003; SILVA, 2005).

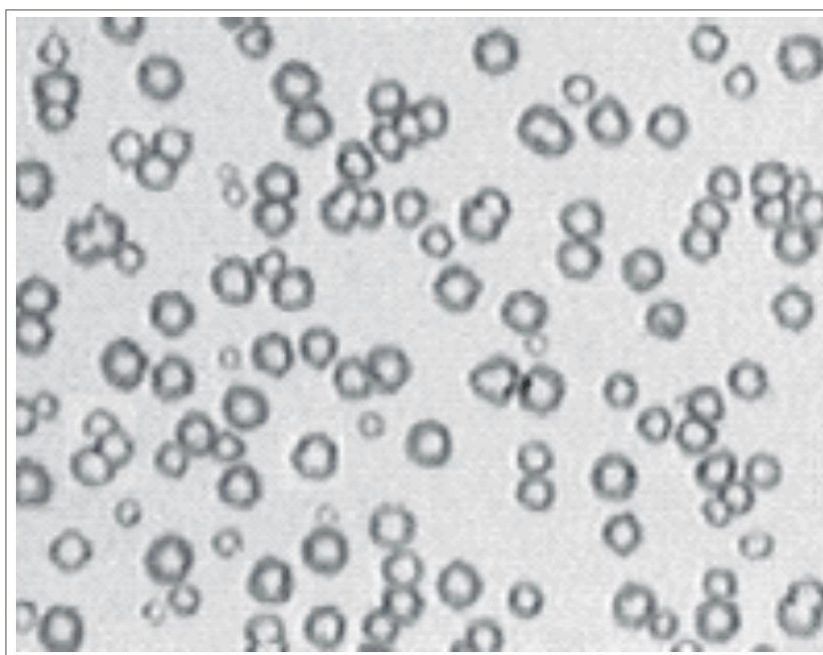
O polímero conhecido como Columbia Resin 39 (CR-39) é o detector plástico mais eficiente, pois apresenta o contraste ideal na análise dos traços, além de evidenciar melhor resistência contra danos causados pelas condições ambientais, e se mostrar sensível à partículas com energia da ordem de KeV até dezenas de MeV (SILVA, 2005).

Figura 11: Os efeitos da corrosão química das partículas alfa visto em 400x por microscópio óptico.



Fonte: ABOJASSIM (2016).

Figura 12: Traços alfa no CR-39.



Fonte: The Radon Group. **Alpha tracks on CR-39.** <
<http://omega.physics.uoi.gr/radon/English/images/tracks.gif> > Acesso em: 15 abr. 2018

4.3.2 Redução da Exposição do Gás Radônio

Visto que o gás radônio pode facilmente ser liberado para o interior das residências através do solo, materiais de construção e até mesmo pela água utilizada, medidas de prevenção e mitigação devem ser tomadas para reduzir o aumento de incidências de câncer de pulmão relacionado à concentração do Radônio.

Segundo a EPA (2016), existem vários métodos para reduzir os níveis de radônio nas casas. Algumas técnicas impedem que o radônio entre nas residências, enquanto outras reduzem os níveis de radônio depois que ele entra. Podendo ser uma tarefa fácil e de baixo custo financeiro.

As intervenções devem compreender, primeiramente, o aumento da ventilação nas casas para que haja a troca de ar, cobrir todas as fendas e aberturas das paredes de fundação e pisos, e nas laterais de tubos e drenos, renovar pisos de porões e cômodos subterrâneos, utilizar tinta a óleo ou acrílica fosca (PETTA e CAMPOS, 2013; FERREIRA e CARVALHO FILHO, 2011).

Em muitos casos, sistemas simples usando tubulações subterrâneas e um exaustor podem ser usados para reduzir o radônio. Esses sistemas são chamados de depressurização do solo ativo: removem o gás radônio de baixo do piso de concreto e a fundação antes que ele entre na casa (Figura 13). Um tubo é instalado através do andar base e é ligado na parte de fora da casa. Um ventilador ligado ao tubo vai retirar o gás de debaixo da casa, antes que ele consiga entrar, e liberá-lo para o lado de fora, onde será dissipado (PETTA e CAMPOS, 2013; EPA, 2016; IRD, 2016).

Devido a esse problema, Europa e Estados Unidos criaram algumas normas para assegurar a redução do radônio. Por exemplo, toda casa deve ser construída sobre uma manta anti-radônio (Figuras 14 e 15), ao comprar o imóvel a pessoa será informada sobre a quantidade de radônio presente no local com laudo específico, se é casa antiga ou não; ao construir, técnicas são utilizadas para controlar a liberação do gás (Figura 16), leva-se em conta o local da construção, evitando que seja em locais onde há grandes emissões de radônio no ar, inclusive, moradores podem adquirir kits para medição de radônio ou contatar órgãos governamentais responsáveis para solucionar esse problema (EPA, 2016).

Figura 13: Despressurização ativa: pelo interior (esquerda) e pelo exterior (direita).



Fonte: (FERREIRA, 2006).

Figura 14: Colocação de telas anti-radônio nas paredes.



Fonte: (FERREIRA, 2006)

Figura 15: Colocação de telas anti-radônio no pavimento em contato com o solo.



Fonte: (FERREIRA, 2006).

Figura 16: Sistema de ventilação natural do espaço entre o piso térreo para evacuação do radônio.



Fonte: (FERREIRA, 2006).

4.3.3 Emissão de Radônio na Construção Civil

A presença constante de elevadas concentrações de isótopos radioativos no solo ocasiona altos níveis de radioatividade natural em algumas regiões terrestres, sendo essa a maior causa de exposição às radiações pela população mundial (CAMPOS, 1994; UNSCEAR, 2016). A radiação emitida pelo solo e rochas depende da constituição dos minerais e dos teores de Urânio, Tório e Potássio que contém (TORGAL, 2013).

Entretanto, não somente o solo, mas também os materiais de construção civil podem aumentar a exposição das pessoas à radiação, principalmente ao gás radônio, pois na fabricação desses materiais são utilizadas substâncias retiradas do solo ou com resíduos que concentram radionuclídeos naturais (COSTA, 2011).

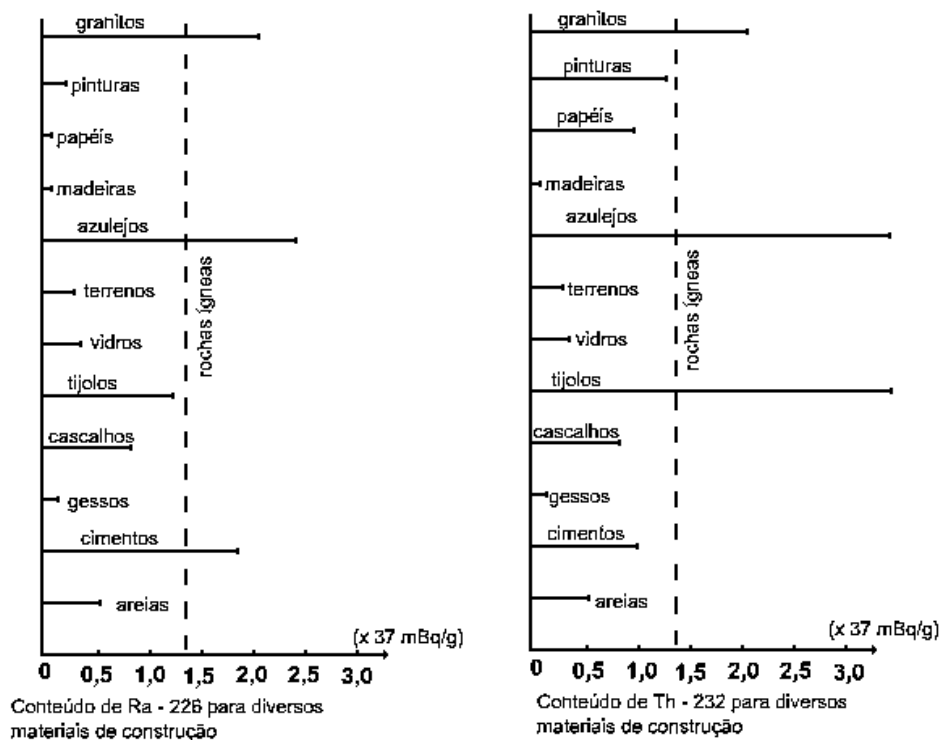
Os elementos utilizados para construção mais comuns são derivados de materiais naturais, tais como, areia, argila, cal, cimento, tijolos, granito, gesso, fosfogesso, entre outros. Esses podem conter em sua composição grandes concentrações de radionuclídeos naturalmente encontrados no solo e crosta terrestres, especialmente o Rádio, onde os índices de radioatividade variam dependendo muito das condições geológicas de cada lugar, como se observa na figura 17 (BURKE, 2002; COSTA, 2011; HASHIMOTO, 2017).

Outro fator fundamental para a dispersão do gás radônio em ambientes internos é a porosidade dos materiais das edificações e a ação do gás através desses, podendo ocorrer por emissão, difusão, exalação ou convecção (Figura 18).

A emissão do gás radônio dá-se, especialmente, pelas concentrações de Rádio nas rochas e no solo: quanto menor for o tamanho das partículas de Ra, maior será a área abrangida por esse elemento, aumentando assim, seu poder de emissão pelos materiais. A difusão ocorre quando o gás radônio transporta-se do interior do poro à área central do material, sendo que a permeabilidade do gás no solo é um fator bastante relevante, pois em solo molhado a difusão ocorre em alguns centímetros, já em solo seco pode chegar a 1,5 metros. A exalação seria uma união da emissão com a difusão, ou seja, a liberação do radônio dos poros do solo para o ambiente. A convecção acontece durante o transporte do gás radônio por fluidos: água, ar ou vapor de água, dentro dos poros do material, dependendo das condições de umidade, pressão e temperatura (HASHIMOTO, 2017).

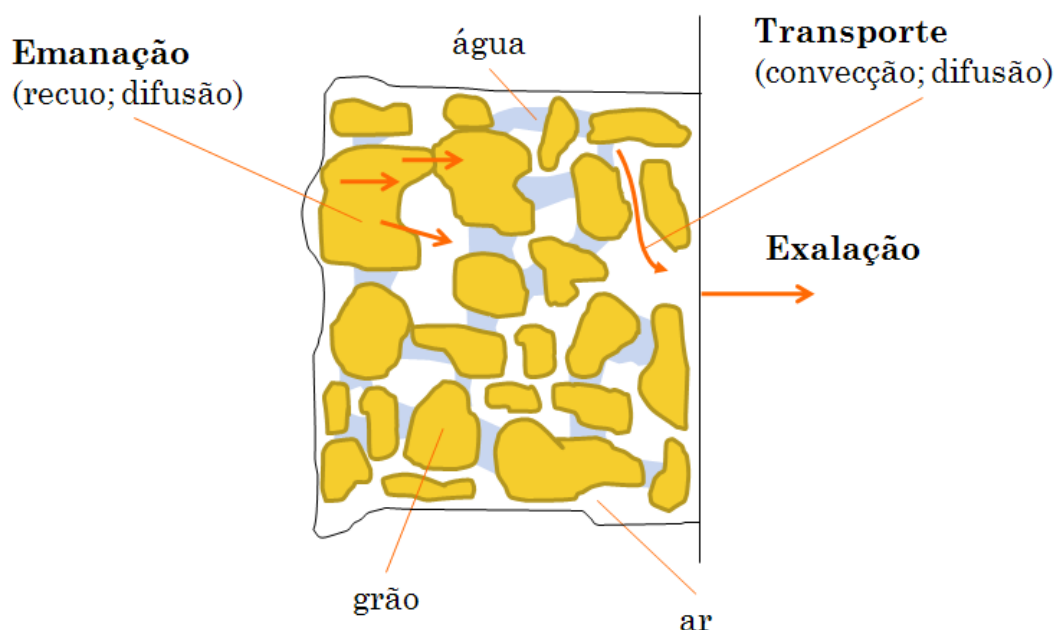
De acordo com ANDRADE (2017) a concentração de radônio aumenta à medida que a granulometria dos materiais diminuem, isto é, quanto menor for a partícula, maior será a área da superfície de contato, tornando-se mais fácil do gás radônio ser liberado dos materiais nas edificações, e aumentando as chances de exposição da população.

Figura 17. Diferentes materiais de construção civil e seus níveis de radioatividade emitidos



Fonte: (HASHIMOTO, 2017).

Figura 18. Os diferentes modos de liberação do gás radônio para o ambiente.



Fonte: (COSTA, 2011).

4.3.4 Legislação Específica Sobre o Radônio

Os estudos sobre os malefícios causados pela emissão do gás radônio, principalmente o câncer de pulmão, teve início há várias décadas. A princípio, em meados do século XVI foi observado um aumento no número de mortes por doenças respiratórias na Europa Central, nos grupos de trabalhadores das minas subterrâneas, sendo esses submetidos à altas concentrações de radônio no ambiente de trabalho. Constatou-se, posteriormente, que o motivo de doenças pulmonares, no trato respiratório, e até mesmo a morte de trabalhadores das minas de urânio, poderiam ser ocasionados pela exposição ao gás radônio, sendo esse produto do decaimento do urânio e tório (IRD, 2016).

Com o passar dos anos, diferentes fontes de estudos foram fundamentais para apresentar à população mundial as diferentes formas de emissão do gás radônio. Nos anos de 1950, ano em que foi definido que o radônio seja um causador

em potencial de câncer de pulmão, elevadas concentrações de radônio foram observadas em água de poços para uso doméstico e água potável. Na década de 1970, a emissão de radônio por materiais de construção foi um grande problema em algumas regiões que utilizavam ardósia argilosa na produção de concreto. Em 1978, foram registradas casas onde a concentração de radônio era elevada em seu interior, porém sem relação com água de poços ou materiais de construção. Assim, a emissão de gás radônio pelo solo se tornou a principal fonte em ambientes internos (IRD, 2016).

Segundo o IRD (2016), desde os anos de 1980 foram realizados uma enorme quantidade de estudos para a verificação da relação entre o radônio em ambientes e o câncer de pulmão. Os pesquisadores dos principais estudos realizados na América do Norte, China e Europa uniram seus dados, analisando-os de forma combinada. Nos anos de 1990, estudos de coorte foram realizados com 60000 mineiros na América do Norte, Ásia, Austrália e Europa, onde ocorreram 2600 mortes por câncer de pulmão.

A partir da constatação dos danos causados aos seres humanos pela exposição a esse gás radioativo, países da América do Norte, Europa, Ásia, buscaram maneiras de conscientizar e proteger seus habitantes com a criação de projetos de medição de gás radônio, principalmente no interior das residências. Dessa forma, é possível garantir uma taxa de exposição dentro dos limites aceitáveis para a saúde da população, e segundo a EPA (Environmental Protection Agency), o nível recomendado é de 4 pCi/L (picocuries por litro) de ar, ou seja, que apresentem níveis de concentração de radônio inferiores a 148 Bq/m³ (OLIVEIRA, 2013), já que é impossível cessar a exposição da radiação natural.

Nos EUA, a Agência de Proteção Ambiental (EPA) e o Committee on the Biological Effects of Ionizing Radiation (BEIR) fornecem uma gama de relatórios e informativos para a população sobre os danos causados pela inalação do gás radônio em ambientes internos. Além disso, é possível encontrar instruções para compra e venda de imóveis de maneira segura, ou seja, com o mínimo de Radônio nesses ambientes; *web sites* e telefones úteis para a população tirar as dúvidas necessárias sobre radônio e ainda, entrar em contato com o programa de radônio estadual para adquirir o kit para medição. Alguns estados oferecem com descontos e até mesmo gratuitamente (Figura 19).

Aqui no Brasil, os órgãos governamentais ainda não abordam esse assunto da mesma maneira que em países desenvolvidos. É provável que isso se deva ao fato do nosso ambiente ser de clima tropical, favorecendo a carência de linhas de pesquisas nessa área. Entretanto, é possível encontrar no país estudos e literatura relacionada às concentrações de radônio no interior das habitações e em diferentes regiões geográficas.

No estado de São Paulo, estudos foram realizados para a verificação dos índices de radônio no interior das residências e em diferentes regiões do estado. (MARQUES, *et al*, 2006; NEMAN, 2000; SILVA, 2005).

Em Minas Gerais, na cidade de Poços de Caldas, foram verificadas regiões com altos níveis de radiação natural (NEMAN, 2004).

No Rio Grande do Norte foram realizados estudos sobre os níveis de radônio doméstico e sua concentração em áreas de Caatinga e Mata Atlântica. (CAMPOS *et al*, 2013; DANTAS, 2016). Além do mais, estudos podem ser encontrados nos estados da Bahia, Ceará, Espírito Santo, entre outros.

Ainda que o Brasil tenha iniciado uma análise sobre esse tema, faz-se necessária a criação de programas exclusivamente voltados para a medição do gás radônio no interior das residências e locais constantemente frequentados, como escolas e hospitais, pois sendo mundialmente reconhecido como a segunda causa de câncer de pulmão nas pessoas, é de extrema importância para a população a disseminação do conhecimento sobre os malefícios relacionados à exposição de altos níveis de gás radônio para a saúde.

Figura 19. Kit teste Radônio, disponibilizado em vários estados Norte-americanos para medição nas residências.



Fonte: PUBLIC BROADCASTING. Free Radon Testing Kits Available to North Carolina Residents. Disponível em: <http://mediad.publicbroadcasting.net/p/wvprn/files/styles/x_large/public/201602/Radon-Testing-Kit.gif> Acesso em: 10 abr. 2018.

5 DISCUSSÃO

Com base na análise dos dados obtidos durante a pesquisa, verificou-se a preocupação mundial em limitar o acúmulo de gás radônio no interior das residências e locais constantemente frequentados, como escolas e hospitais, locais de extrema importância para a saúde da população em geral, visto que a radioatividade natural é um fenômeno constante e ocorre de muitas maneiras no nosso dia a dia, como água, alimentos, solo e atmosfera.

O gás radônio foi apresentado como uma das formas considerada altamente danosa para a saúde, pois é um gás radioativo proveniente do decaimento do Urânio. É liberado espontaneamente através do solo e paredes para o interior das habitações, podendo ser inalado pelas pessoas, contribuindo para o surgimento de danos graves à saúde.

O radônio é responsável pelo maior percentual de exposição à radiação natural recebida pelo homem. Ao ser inalado, deposita nos pulmões e trato respiratório elementos que podem causar câncer de pulmão, por isso o gás radônio já é classificado como a segunda maior causa de câncer de pulmão na população geral, seguido do tabagismo.

A melhor maneira para proteger as pessoas é através da prevenção. Como saber se estamos expostos às elevadas concentrações de radônio? Somente com a utilização de detectores específicos para medição do gás.

Há vários tipos de medidores de gás radônio, porém a forma mais simples e de baixo custo é o detector CR-39, sendo um método amplamente utilizado em vários países da América do Norte, Ásia e Europa. Por ser um método acessível, a detecção pode ser realizada, em parte, pelos próprios moradores. Em muitos estados norte-americanos kits de radônio podem ser adquiridos de forma gratuita ou com desconto.

Em diversos países desenvolvidos, como exemplo, Itália, França, Inglaterra, Alemanha, Estados Unidos, entre outros, é possível encontrar documentos e relatórios que são acessíveis à população para a conscientização sobre a questão radônio. No setor de saúde, os profissionais são capacitados para realizarem uma anamnese (questionário), a fim de saber se os pacientes estão expostos à altos índices de radônio. Percebe-se que nesses países existe uma real preocupação e legislação adequada para proteger a saúde dos seus habitantes:

medições são realizadas e analisadas, a população está efetivamente informada dos riscos causados pela inalação do gás, as residências são estruturadas para diminuir a quantidade de radônio a níveis permissíveis, kits de radônio podem ser adquiridos pelos moradores, existem *web sites* e telefones úteis para as pessoas contatarem agentes qualificados para auxiliá-las.

Entretanto, nossa realidade brasileira sobre o conhecimento a cerca da radioatividade e seus efeitos na saúde é absolutamente diferente do que vemos no exterior. No Brasil, a propagação de informações sobre radioatividade natural, especialmente a respeito da exalação do gás radônio para a população, é extremamente deficiente. Houve a tentativa de tornar pública e chamar a atenção das pessoas com a publicação de uma matéria realizada pela revista Carta Capital em 2015, sobre os efeitos do gás radônio, mas é uma realidade nacional o fato de que, em muitas escolas os alunos não aprendem sobre radioatividade ou os cursos superiores de saúde não tratam esse assunto com a seriedade adequada, visto que os efeitos das radiações ionizantes no tecido biológico são danosos.

Analisando a nossa realidade, deveríamos dar uma atenção melhor às questões voltadas à radioatividade. Temos regiões com elevados índices de radioatividade natural e reserva de Urânio, como Minas Gerais, Espírito Santo, Ceará, Bahia, entre outros estados, colocando o Brasil como a sexta maior reserva mundial de Urânio.

Como visto, a exalação do gás radônio ocorre a partir do decaimento do Urânio e Rádio, no interior do solo, e é liberado até a superfície de maneira já conhecida. Alguns autores acreditam que, pelo o fato do Brasil ser um país de clima tropical, não haveria motivo de preocupação com relação ao gás radônio. Porém, não existe absoluta certeza de estarmos livres dos danos causados pela exposição ao radônio, pois uma fonte bastante importante para o aumento do gás em locais fechados é a utilização de materiais de construção civil, sendo usados em âmbito nacional.

A medição de radônio é a única maneira de assegurar que as pessoas não estão expostas a altas concentrações do gás. Mesmo sendo objeto de estudo pouco explorado no Brasil, é possível encontrar linhas de pesquisas e estudos realizados para medições de radônio em diferentes regiões, principalmente Sudeste e Nordeste; e até mesmo nas dependências do Congresso Nacional foram realizados medições. Contudo, faz-se necessário a criação de programas nacionais

de medição de radônio e programas que forneçam diretrizes e protocolos, garantindo, que a população não esteja exposta à altos índices de radônio.

O conhecimento é a base para uma possível mudança. Fornecer orientações adequadas para a população e, especialmente, para os profissionais da saúde, torna-se fundamental para a mudança da realidade com relação aos danos causados à saúde devido à exposição ao radônio, e expande a possibilidade de estudos futuros.

6 CONCLUSÃO

A partir do desenvolvimento desse estudo, foi possível constatar que os danos causados pela exposição ao gás radônio à saúde é motivo de extrema preocupação em países desenvolvidos, onde realizam o controle com medições dos níveis do gás dentro das residências. Contudo, aqui no Brasil não existe conhecimento divulgado para a população sobre radônio, principalmente, pelos profissionais da saúde, que necessitam desse conhecimento para compreenderem os efeitos causados pela inalação de gás radônio.

REFERÊNCIAS

ABOJASSIM, Ali Abid *et al.* **Níveis de radônio em diferentes tipos de plantas com propriedades medicinais**. 2016. *Madridge Journal of Food Technology*. Disponível em: < <https://madridge.org/journal-of-food-technology/MJFT-1-1000103.php> > Acesso em: 03 abr. 2018.

AFONSO, Júlio Carlos. **Radônio**. Química nova escola. Vol. 32, nº 4, novembro, 2009. Disponível em: < http://qnesc.sbq.org.br/online/qnesc32_4/09-EQ10909.pdf > Acesso em: 07 jul. 2017.

ANDRADE, M. V. S., CRUZ, R. A., EL HAJJ, T. M., SILVA, N. C. **Avaliação de radônio em agregados utilizados na construção civil**. 2017. Universidade Federal de Alfenas. Disponível em: < https://www.researchgate.net/publication/320908952_Avaliacao_da_taxa_de_exalacao_de_gas_radonio_em_rochas_utilizadas_como_materiais_de_construcao > Acesso em: 13 jan. 2018.

BITELLI, Thomaz. **Física e dosimetria das radiações**, 2^o Edição, Editora Atheneu, 2006. 18 e 19. p.

BUSHONG, Stewart Carlyle; **Ciência radiológica para tecnólogos: Física, Biologia e Proteção**. 9^a Edição. Rio de Janeiro: Elsevier, 2010. 709.p.

BRITO, Adelson Silva de. **Medição de concentrações de radônio em ambientes da região metropolitana de Salvador, BA**. 2013. 138 f. Dissertação (Mestre em Saúde, Ambiente e Trabalho) – Faculdade de Medicina da Bahia, Universidade Federal da Bahia, 2013.

BURKE, Aline Katiúscia Mateus Joaquim. **Estudo da emanção de radônio em amostras de concreto com composições diferentes**. 2002. 126 f. Dissertação (Mestre em Engenharia Civil na Área de concentração de Edificações) Faculdade de Engenharia Civil da Universidade Estadual de Campinas, 2002.

CAMPOS, Márcia Pires de. **Avaliação do impacto radiológico provocado por materiais de construção em moradores de casas populares**. 1994. 66 f. Dissertação (Grau de Mestre em Ciências na Área de Tecnologia Nuclear). IPEN - Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares. São Paulo, 1994.

CAMPOS, T.F.C.; PETTA, R.A; MALANCA, A.; PASTURA, V.F.S; SICHEL, S.E MOTOKI, A. **O gás radônio doméstico e a radioatividade natural em terrenos metamórficos: o caso do município de Lucrecia (Rio Grande do Norte, Brasil)**. Revista de Geologia, Vol. 26, nº 2, 85 - 94. Universidade Federal do Ceará, 2013. Disponível em: < http://repositorio.ufc.br/bitstream/riufc/14851/1/art_tfccampos_2013.pdf > Acesso em 15 jun. 2017.

CARDOSO, Eliezer de Moura. **A energia nuclear e suas aplicações**. CNEN (Apostila educativa). 3ª Edição. Rio de Janeiro: 2012. 52 p.

COSTA, Lucas José Pereira da. **Estudo da exalação de radônio em placas e tijolos de fosfogesso de diferentes procedências**. 2011. 65 f. Dissertação (Grau de Mestre em Ciências na Área de Tecnologia Nuclear). IPEN – Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares. Autarquia associada à Universidade de São Paulo, 2011.

DANTAS, Vanessa de Almeida. **Influência das condições meteorológicas na concentração de radônio em áreas de Caatinga e Mata Atlântica Dunar**. 2016. 107 f. Tese (Doutor em Ciências Climáticas) Centro de Ciências Exatas e da Terra da Universidade Federal do Rio Grande do Norte, 2016.

EPA – United States Environmental Protection Agency. **A citizen's guide to radon. The Guide to Protecting Yourself and Your Family from Radon**. 2016. Disponível em: < https://www.epa.gov/sites/production/files/2016-12/documents/2016_a_citizens_guide_to_radon.pdf > Acesso em: 07 set. 2017.

FERREIRA, Elisabeth Maria; CARVALHO FILHO, Arnaldo Cardim. **Em discussão: o impacto do radônio nas construções**. In: VI Encontro Nacional e IV Encontro Latino-americano sobre Edificações e Comunidades Sustentáveis - Vitória – ES - BRASIL - 7 a 9 de setembro de 2011. p. 1-9.

FERREIRA, Miguel Jorge Monteiro de Magalhães. **O radônio nos edifícios – Minimação da perigosidade**. 2006. 22 f. Universidade Fernando Pessoa. Portugal, 2006.

FERREIRA, Vinícius V. M. *et al.* **Use of Radon as Water Tracer at Juatuba Basin**. 2015. Disponível em: < https://www.researchgate.net/profile/Vinicius_Ferreira17/publication/301358612/figure/fig1/AS:352338310123520@1461015407387/Natural-radioactive-series.ppm > Acesso em: 15 dez. 2017.

FOGAÇA, Jennifer Rocha Vargas. **Emissão alfa (α)**; *Brasil Escola*. Disponível em: < <https://brasilecola.uol.com.br/quimica/emissao-alfa.htm> > Acesso em: 07 set. 2017.

GARZILLO, C; PUGLIESE, M; LOFFREDO, F; QUARTO M. **Indoor radon exposure and lung cancer risk: A meta-analysis of case-control studies**. *Translational Cancer Research*. 2017. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/318339843_Indoor_radon_exposure_and_lung_cancer_risk_A_meta-analysis_of_case-control_studies> Acesso em: 11 abr. 2017.

HASHIMOTO, Yumi Rocha. **Avaliação da concentração de radônio em casas pré-fabricadas e determinação da camada emissora de radônio em argamassa de cimento**. 2017. 107 f. Dissertação (Mestre em Ciências – Área de concentração:

Engenharia Biomédica) Programa de Pós - Graduação em Engenharia Elétrica e Informática Industrial. Universidade Federal do Paraná, 2017.

HELMENSTINE, Anne Marie. **Thoughtco**. Os 10 alimentos mais radioativos do planeta. Disponível em: <<https://www.thoughtco.com/common-naturally-radioactive-foods-607456?r=et>> Acesso em : 04 fev. 2018.

IRD - INSTITUTO DE RADIOPROTEÇÃO E DOSIMETRIA. **Manual da OMS sobre radônio em ambientes internos: uma perspectiva de saúde pública**. 1º Edição. Rio de Janeiro, 2016.

RADONOVA. **Premium Home Test Kit – Short Term**. Disponível em: <https://radonova-cdn.r.worldssl.net/wp-content/uploads/sites/4/TJO_2570_02-small.jpg> Acesso em: 15 mar. 2018.

PUBLIC BROADCASTING. **Free Radon Testing Kits Available to North Carolina Residents**. Disponível em: <http://mediad.publicbroadcasting.net/p/wvvpn/files/styles/x_large/public/201602/Radon-Testing-Kit.gif> Acesso em: 10 abr. 2018.

MARQUES, Deividi Marcio. **As investigações de Ernest Rutherford sobre a estrutura da matéria: contribuições para o ensino de química**. 2006. 183 f. Dissertação (Programa de Pós-Graduação em Educação para a Ciência) Área de Concentração em Ensino de Ciências, da Faculdade de Ciências da UNESP/Campus de Bauru, 2006.

MARQUES, A. L; GERALDO, L. P; SANTOS, W. **Níveis de radioatividade natural decorrente do radônio no complexo rochoso da Serra de São Vicente, SP**. Radiologia Brasileira. Vol. 39 nº 3 – 215 a 218. p. maio/ jun. 2006. Disponível em: <http://www.rb.org.br/detalhe_artigo.asp?id=1287 > Acesso em 13 nov. 2017.

MAZZILLI, B. P; MÁDUAR, M. F; CAMPOS, M. P. **Radioatividade no meio ambiente e avaliação de impacto radiológico ambiental**. 2011. Pós-Graduação Acadêmica Programa de Tecnologia Nuclear. IPEN - Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares. 92 p. 2011. Disponível em: <https://www.ipen.br/portal_por/conteudo/posgraduacao/arquivos/201103311026310-Apostila%20TNA-5754%20abr-2011.pdf > Acesso em: 10 fev. 2017.

MAGISTER S.R.L. Dosímetro. Disponível em: <<http://www.magistersrl.eu/wps/wp-content/uploads/2013/06/Radon.jpg> > Acesso em: 15 mar. 2018.

MOREIRA, João Vítor de Almeida. **Radiobiologia – efeito das radiações ionizantes na célula – e formas de proteção das radiações ionizantes**. 2011. 97 f. Dissertação (Obtenção do Grau de Mestre em Medicina). Ciências da Saúde. Universidade da Beira Interior, Covilhã, 2011.

NEMAN, Rodrigo Silvestre. **Medida da contaminação radioativa do ar ambiental por radônio-222 e filhos em residências de Campinas – SP, Brasil.** 2000. 90 f. Tese de Mestrado apresentado ao Instituto de Física Gleb Wataghin. Universidade Estadual de Campinas. 2000

NEMAN, Rodrigo Silvestre. **Medida Separada de Radônio-222 e de seus filhos no ar: Monitoração na Cidade de Poços de Caldas – MG e comparação de atividades envolvendo 2 outras técnicas de medida de Rn-222 no ar.** 2004. 136 f. Tese de Doutorado apresentado ao Instituto de Física Gleb Wataghin. Universidade Estadual de Campinas. 2004.

NOBREGA, Almir Inácio da. (Org); **Tecnologia Radiológica e Diagnóstico por Imagem**, 4^o Edição, São Caetano do Sul: Difusão, 2010. 80 e 114 a 116. p.

NOUAILHETAS, Yannick. **Radiações ionizantes e a vida.** CNEN (Apostila educativa). 2005. Rio de Janeiro. 42 p. Disponível em: <<http://www.cnen.gov.br/images/cnen/documentos/educativo/radiacoes-ionizantes.pdf>> Acesso em: 27 nov. 2017.

OKUNO, Emico. **Efeitos biológicos das radiações ionizantes. Acidente radiológico de Goiânia.** 2013. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/ea/v27n77/v27n77a14.pdf>> Acesso em: 03 dez. 2017.

OLIVEIRA, Graziela Alves Ferreira de. **Efeito da exposição à radiação ionizante sobre o DNA: uma avaliação cienciométrica.** 2016. 58 f. Dissertação (Mestrado em Genética) - Programa de Pós-Graduação Mestrado em Genética – Pontifícia Universidade Católica de Goiás – PUC Goiás. 2016.

OLIVEIRA, Wilker Herkson de Almeida. **Exposição ao radônio em ambiente residencial e câncer de pulmão: uma revisão de literatura.** 2013. 30 f. Monografia (conclusão do componente curricular MED-B60 e pré-requisito obrigatório parcial para conclusão do curso médico apresentada ao Colegiado do Curso de Graduação em Medicina) Universidade Federal da Bahia, Salvador, Bahia, 2013.

PETTA, R. A; CAMPOS, T. F. C. **O gás radônio e suas implicações para a saúde pública.** Revista de Geologia, Vol. 26, nº 2, 7 – 18. Universidade Federal do Ceará, 2013. Disponível em: <http://repositorio.ufc.br/bitstream/riufc/14895/1/art_rapetta_2013.pdf> Acesso em: 05 jun. 2017.

SANTOS, Narciso Ferreira. **Contaminação do ar ambiental por radônio e filhos – estudo de características do ²²⁰Rn e filhos utilizando o detector CR-39.** 2003. 59 f. Tese (Doutor em Ciências) Instituto de Física Gleb Wataghin da Universidade Estadual de Campinas, 2003.

SEGRETO, H.R; SEGRETO, R.A. **Revisão e atualização e radiobiologia. Aspectos celulares, molecularea e clínicos.** A Folha Médica – Outubro/Novembro/Dezembro 2000 – Número 4, Vol. 119. 19 f.

SERWAY, Raymond A. **Física 4 – Para cientistas e engenheiros com física moderna**, 3º Edição, Livros Tecnicos e Científicos Editora, 1996. 197 e 205. p.

SILVA, Almy Anacleto Rodrigues. **Radônio e filhos em residências da cidade de São Paulo.** 2005. 101 f. Tese (Doutor em Ciências) Instituto de Física da Universidade de São Paulo, 2005.

TAUHATA, L; SALATI, I; PRÍZIO, A. R. D; PRÍZIO, R. D. **Radioproteção e Dosimetria: Fundamentos.** 9º Revisão. 345 f. IRD – Instituto de Radioproteção e Dosimetria. Rio de Janeiro, 2013. Disponível em: < https://www.iaea.org/inis/collection/NCLCollectionStore/_Public/45/073/45073465.pdf?r=1 > Acesso em: 23 mai. 2017.

The Radon Group. **Alpha tracks on CR-39.** < <http://omega.physics.uoi.gr/radon/English/Instrumentation.htm> > Acesso em: 15 abr. 2018.

TORGAL, Fernando Pacheco Torgal. **Gás radônio: um perigoso contaminante do ar no interior das habitações.** 2013. Universidade do Minho, Portugal, 2013 Disponível em: < <https://repositorium.sdum.uminho.pt/bitstream/1822/23528/1/Artigo%20Rad%C3%A3o.pdf> > Acesso em: 04 ago. 2017.

UNEP – United Nations Environment Programme. **Radiação: Efeitos e Fontes.** Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente, 2016. Disponível em < https://wedocs.unep.org/bitstream/handle/20.500.11822/7790/Radiation_Effects_and_sources-2016Radiation_-_Effects_and_Sources_PT.pdg.pdf.pdf?sequence=13&isAllowed=y > acesso em: 19 jul. 2017.

UNSCEAR - United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation. **Sources, Effects and Risks of Ionizing Radiation, 2016 Report.** United Nations, New York, 2017.

Virtuous Tecnologia da Informação, 2008-2018. **Células.** *Só Biologia.* Disponível em: < https://www.sobiologia.com.br/conteudos/Corpo/Celula.php_ > Acesso em: 30 nov. 2017.

XAVIER, Allan Moreira *et al.* **Marcos da história da radioatividade e tendências atuais.** Quim. Nova, Vol. 30, No. 1, 83-91, Departamento de Química Analítica, Instituto de Química, Universidade Estadual de Campinas, SP, Brasil, 2006.

WHO – WORLD HEALTH ORGANIZATION. **What is Ionizing Radiation? Introduction – Waves and Particles.** c2018. Disponível em: <http://www.who.int/ionizing_radiation/about/what_is_ir/en/> Acesso em: 05 jan. 2018.

WHO – WORLD HEALTH ORGANIZATION. **What is Ionizing Radiation? Isotopes and Activity.** c2018. Disponível em: <http://www.who.int/ionizing_radiation/about/what_is_ir/en/index1.html> Acesso em: 05 jan. 2018.