

Revisão teórica da radioatividade em água potável: Principais isótopos radioativos encontrados, seus efeitos à saúde humana e métodos de redução**Theoretical review of radioactivity in drinking water: Main radioactive isotopes found, their effects on human health and methods of reduction**

DOI:10.34117/bjdv6n8-649

Recebimento dos originais: 21/07/2020

Aceitação para publicação: 28/08/2020

Luciene Miranda de Almeida

Instituto Federal do Piauí

Endereço: R. Álvaro Mendes, 94 – Centro(sul), Teresina – PI, 64001-270

E-mail: mirandaluciene267@gmail.com

Samuel Queiroz Pelegrineli

Faculdade Bezerra de Araújo

Endereço: R. Cariús, 179 – Campo Grande, Rio de Janeiro – RJ CEP: 23052-180

E-mail: samuelfisica@yahoo.com.br

Wilson Seraine da Silva Filho

Instituto Federal do Piauí

Endereço: R. Álvaro Mendes, 94 – Centro(sul), Teresina – PI, 64001-270

E-mail: wilson.seraine@ifpi.edu.br

RESUMO

As águas destinadas ao consumo humano apresentam radiação ionizante naturais tais como os raios cósmicos e produtos da decomposição de elementos radioativos na crosta e na atmosfera terrestre que são nocivos à saúde humana, necessitando atenção na prevenção e controle dos seus possíveis efeitos, mesmo as águas apresentando baixas concentrações. Dessa forma, o desenvolvimento deste trabalho consiste em realizar uma revisão bibliográfica embasando a radioatividade da água potável, os principais isótopos radioativos encontrados, as consequências da ingestão na saúde humana e os métodos de redução. Para elaboração deste estudo foi realizado um levantamento bibliográfico em artigos científicos disponíveis em sites de bancos de dados virtuais (SciELO; PUBMED; Science Direct e Google Scholar). A partir da coleta de dados bibliográficos, foi possível concluir que o nível de radioatividade dos isótopos em água potável é baixo, embora um dos efeitos a longo prazo decorra da exposição de doses acima de 100 mSv ocasionando doenças somáticas ou genéticas. Além disso, os meios de controle e monitoração das atividades dos isótopos radioativos são feitos a partir dos parâmetros referenciais de concentração com o uso de técnicas para tratamento das águas.

Palavras-chave: Radioatividade, água potável, isótopos, saúde, prevenção.**ABSTRACT**

Waters destined for human consumption have natural ionizing radiation such as cosmic rays and products of the decomposition of radioactive elements in the crust and in the Earth's atmosphere that are harmful to human health, requiring attention in the prevention and control of their possible effects even waters presenting low concentrations. Thus, the development of this work consists of carrying out a bibliographic review based on the radioactivity of drinking water, the main

radioactive isotopes found, as consequences of ingestion on human health and methods of reducing. To prepare this study, a bibliographical survey was carried out on scientific articles available on websites of virtual databases (SciELO; PUBMED; Science Direct and Google Scholar). The development of this work constitutes a bibliographic review on the radioactivity of drinking water, the main radioactive isotopes found, two studies were developed that analyze the consequences of consumption for the organism and what are the means to avoid risks related to the presence of these radioisotopes in water. The results allowed us to conclude that the radioactivity of drinking water and the radioisotopes found are low, but that one of the long-term effects resulting from the exposure of doses above 100 mSv is the occurrence of somatic or genetic diseases, In addition, the means of controlling and monitoring the activities of radioactive isotopes is based on reference concentration parameters using water treatment techniques.

Keywords: Radioactivity, drinking water, isotopes, health, prevention.

1 INTRODUÇÃO

A água é um recurso natural indispensável para a existência da vida, que tem sido utilizado de forma exaustiva e pouco controlada, apesar de ser um recurso renovável, a sua taxa de utilização é superior à sua capacidade de reposição. A água usada para o consumo pode conter radionuclídeos naturais e artificiais capazes de causar riscos à saúde humana (MARTINS, 2015) ^[5].

Uma água destinada ao consumo humano é toda a água, que no seu estado original ou após tratamento é destinada à ingestão, à confecção e preparação de alimentos, à higiene pessoal ou a outros fins domésticos, independentemente da sua origem e do tipo do seu fornecimento, esta deve atender a determinados padrões de potabilidade, de forma a garantir a proteção da saúde humana (BRASIL, 2007) ^[1].

Os radionuclídeos naturais encontram-se frequentemente presentes na água destinada ao abastecimento público e estão associados à origem destas fontes de água. Esses radionuclídeos são pertencentes às séries radioativas que ocorrem naturalmente: a série do urânio e a série do tório. Destes radionuclídeos, os elementos de maior interesse do ponto de vista de risco à saúde são o rádio (Ra), o radônio (Rn) e o urânio (U). Em razão de suas características químicas, os principais isótopos radioativos naturais usualmente encontrados em níveis mais elevados em águas são: Rn²²², Ra²²⁶ e Ra²²⁸, conseqüentemente, com a ingestão e inalação por longos períodos de tempo podem ocasionar riscos à saúde humana (BUENO, 2007; CASTRO, 2017; LAURIA; VEIGA; FRANKLIN, 2014) ^[2,3,4]. Este artigo constitui uma revisão bibliográfica sobre a radioatividade na água potável e os principais isótopos radioativos encontrados, com o objetivo de demonstrar as conseqüências da ingestão na saúde humana, bem como alguns dos principais processos de tratamento para a remoção ou redução de radionuclídeos.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Na água potável observa-se a ocorrência de radionuclídeos naturais, estando estes associados, principalmente a captações no subsolo em locais onde existem depósitos naturais de elementos radioativos. A dissolução dos radionuclídeos naturais dá-se lentamente, podendo ocorrer durante centenas ou milhares de anos, originando o aumento das suas concentrações nas águas subterrâneas. Os isótopos radioativos que apresentam as concentrações mais elevadas são o da família do urânio e da família do tório, devido principalmente aos aquíferos profundos que estão em contato com elementos radioativos presentes nas rochas e solos (BUENO, 2007; CASTRO, 2017; LAURIA; VEIGA; FRANKLIN, 2014) ^[2,3,4].

Nas últimas décadas, os estudos radiológicos em regiões de radioatividade natural elevada têm sido intensificados visando verificar quais seriam os possíveis efeitos biológicos no homem decorrente de exposições prolongadas a baixas doses de radiações ionizantes, neste caso, devidas basicamente aos isótopos naturais das séries do U^{238} e do Th^{232} . A presença de radionuclídeos na água está associada a geologia e geoquímica do território. O transporte dos radionuclídeos vai depender da sua solubilidade na água (OLIVEIRA, 1998) ^[7].

A Agência Internacional de Energia Atômica (AIEA) preconiza que as autoridades regulatórias competentes de cada país devem estabelecer um nível de referência específico ("reference level") para a exposição devido à ingestão de água potável contendo radionuclídeos, de maneira que a dose anual efetiva recebida por uma pessoa não exceda um valor de aproximadamente 1 mSv.ano^{-1} . Assegurando, com isso, um nível de proteção idêntico ao adotado para situações de exposição planejadas, mesmo considerando que os mecanismos de controle da exposição são diferentes (BUENO, 2007; LAURIA; VEIGA; FRANKLIN, 2014) ^[2,4].

Em dezembro de 2011, o Ministério da Saúde (MS) publicou a portaria nº 2914, que estabelece procedimentos para controle e vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade (MS, 2011). Esta Portaria se aplica à água destinada ao consumo humano, distribuída por meio de sistema coletivo ou solução alternativa, coletiva ou individual, de abastecimento de água. Não se aplica à água mineral natural e às águas adicionadas de sais destinadas ao consumo humano após o envasamento, e a outras águas utilizadas como matéria prima para elaboração de produtos, conforme Resolução (RDC) nº 274, de 22 de setembro de 2005, da Diretoria Colegiada da Agência Nacional de Vigilância Sanitária (LAURIA; VEIGA; FRANKLIN, 2014) ^[4].

A estimativa adequada de dose total resultante da ingestão de água para consumo humano na presença de radioatividade é de 1 mSv ano^{-1} considerando-se as exposições prolongadas. O

processo de identificação de espécies radioativas específicas e determinação da sua concentração requerem análises sofisticadas e dispendiosas, o que normalmente não é justificado, uma vez que as concentrações de radionuclídeos são comumente muito baixas. Uma abordagem mais prática é utilizar um procedimento de rastreio, onde primeiro é determinada a radioatividade total presente na forma de radiação alfa e beta, sem considerar a identidade de radionuclídeos específicos (NEGRÃO, 2012; OLIVEIRA, 1998; SABINO, 2009; SANTOS, 2010; SILVA, 2019) [6,7,8,9,10].

Quando os radionuclídeos são inalados ou ingeridos, estes provocam alguns efeitos nocivos devido ao seu forte poder ionizante, como lesões no sistema nervoso, no aparelho gastrointestinal, medula óssea, desenvolvimento de células cancerígenas e podendo conduzir ao falecimento do ser humano. No caso da ingestão de água potável que contenha radionuclídeos durante longos períodos, existe um aumento do risco humano de vir a ter câncer para doses superiores a 100 mSv (UNEP, 2016) [11].

Nas águas para consumo humano estiverem com altas concentrações de radionuclídeos ou concentrações que comprometam a saúde pública da população devem ser tomadas medidas de forma a minimizar esse problema, como a alternativa de optar pelo não tratamento, ou a de aplicar tratamento adequado para o tipo de água radioativa. Segundo o estudo feito deve-se ter em consideração o não tratamento das águas, que em alguns dos casos poderá ser a melhor solução. As opções de não tratamento normalmente não requerem qualquer treino adicional de operadores, não produzem resíduos que poderiam causar problemas de deposição, e podem ser menos dispendiosas. Esta opção pode ser concretizada de diferentes formas, como a procura de novas fontes de água não contaminadas ou a mistura de fontes de água. Uma vez eliminadas as opções de não tratamento, resta avaliar tecnologias de tratamento. Para decidir que tipo de tratamento é o mais apropriado para o sistema em questão é necessária uma avaliação das características da fonte de água, tamanho do sistema e localização, procura média, opções de deposição de resíduos, e nível de habilitações dos operadores. Os meios de tratamento são a troca iônica, osmose inversa, adição de óxido de manganês hidratado, amaciamento por adição de cal entre outros (SABINO, 2009; SILVA, 2019) [8,10].

3 METODOLOGIA

Este trabalho foi um estudo bibliográfico em artigos científicos disponíveis em sites de bancos de dados virtuais (SciELO; PUBMED; Science Direct e Google Scholar) contendo as palavras-chave Radioatividade, água potável, isótopos, saúde, prevenção. As análises feitas nas amostras de água potável de diferentes regiões mostrou variações nas atividades de concentrações dos isótopos radioativos $Ra^{226} = 0,0022$ a $0,235$ Bq/L, $Ra^{228} = 0,0037$ a $0,131$ Bq/L e $Rn^{222} = 0,40$ a

315 Bq/L e com esses dados nosso objetivo foi estudar as consequências da ingestão e inalação dos isótopos presentes nas águas para consumo humano, bem como as formas de tratamentos para redução desses radionuclídeos.

4 APRESENTAÇÃO DOS RESULTADOS

Os estudos bibliográficos mostraram que os principais isótopos radioativos encontrados na água para consumo humano são das séries do Urânio e do Tório: Ra^{228} , Ra^{226} , Rn^{222} e estão relacionados com a origem das fontes dessas águas que estão em contato com materiais radioativos, e se ingeridos ou inalados em pequenas quantidades com altas concentrações e ao longo do tempo resulta em danos a saúde humana. Esses radionuclídeos não permanecem fixos a nenhum tecido mole em particular, mas tem grande afinidade pelo tecido ósseo (troca com os íons cálcio) e estômago, com risco de indução de cânceres principalmente com a ingestão de elevadas doses desses isótopos, destaque para o Radônio que é um gás incolor e inodoro, sua detecção requer equipamento apropriado, em algumas águas.

O risco de efeitos adversos à saúde é decorrente da exposição à radiação é atribuída à dose efetiva total recebida pelo homem, considerando-se todas as fontes. Uma estimativa de risco (ou seja, a expectativa matemática) do número de cânceres fatais por toda a vida da população em geral foi estimada pela ICRP (Comissão Internacional de Proteção Radiológica) como sendo 5×10^{-2} por sievert. O radônio é solúvel em água, mas a sua solubilidade decresce rapidamente quando a temperatura aumenta, e assim o gás radônio dissolvido é liberado para o ambiente. Estudos demonstraram que a exposição a longo prazo ao radônio, em concentrações elevadas, aumenta o risco de câncer de pulmão. Apresenta baixo risco e menos preocupante quando ingerido em água potável em comparação com a inalação. No mundo todo, altos níveis de radionuclídeos naturais como o urânio têm sido encontrados em águas subterrâneas e diversos estudos fornecem evidências de efeitos adversos renais, sobretudo, danos em túbulos proximais. O aumento da incidência de neoplasias é mais relevante com a exposição crônica a baixas doses de radiação com o consumo de água radioativa.

Foi observado que as concentrações de radioisótopos encontrados em águas de consumo público se encontram superiores em relação a permitida pela legislação local, recomenda-se que haja a remoção destes a fim de minimizar tais concentrações. Estudos demonstraram que é necessário utilizar técnicas como: a do não tratamento que é direcionada para a procura de novas fontes de águas não contaminadas ou a mistura de fontes de água, mas quando esta alternativa não for a solução, será preciso realizar o tratamento para a remoção desses isótopos na água, que consiste

na aplicabilidade de tecnologias de tratamento como a troca iônica, osmose inversa, adição de óxido de manganês hidratado, alumina ativada, coagulação/filtração, amaciamento por adição de cal entre outros, sempre monitorando se a água a ser tratada será subterrânea, superficial ou todas as fontes e que dentre as técnicas utilizadas mostraram uma eficiência de remoção de 99% para isótopos rádio e urânio.

Através de pesquisas literárias verificou-se que as concentrações das atividades dos isótopos encontrados na água destinada ao consumo humano apresentou uma estimativa para cada radionuclídeo. Esses resultados são apresentados em níveis de concentrações de atividades alfa e beta total do decaimento das séries do Urânio e do Tório:

$$\text{Ra}^{226} = 0,0022 \text{ a } 0,235 \text{ Bq/L}$$

$$\text{Ra}^{228} = 0,0037 \text{ a } 0,131 \text{ Bq/L}$$

$$\text{Rn}^{222} = 0,40 \text{ a } 315 \text{ Bq/L}$$

5 CONCLUSÃO

Desta forma, não são esperados efeitos adversos à saúde humana advindo da presença de isótopos radioativos na água potável, se as concentrações desses isótopos estiverem abaixo do nível recomendado de dose (equivalente a dose efetiva comprometida menor que 0,1 mSv ano⁻¹). Porém efeitos agudos na saúde causados pela exposição à radiação, que levam a alterações em exames, neoplasias e, em casos muito graves, à morte, podem ocorrer a doses muito altas de exposição de grande parte ou do corpo todo. No estudo ficou evidente que águas com concentrações elevadas de radionuclídeos são tratadas com técnicas de remoção ou redução, que tem uma alta porcentagem de eficiência e um baixo custo em relação às diversas tecnologias utilizadas, como a osmose inversa e a troca iônica são alternativas viáveis para o tratamento de radionuclídeos.

REFERÊNCIAS

- [1] BRASIL. **Decreto-Lei nº 306/2007** de 27 de agosto - Estabelece o regime da qualidade da água destinada ao consumo humano, D.R. Série I de 2007-08-27; pp. 5747 – 5765.
- [2] Bueno, Thaís de Oliveira **Caracterização da radioatividade das águas do aquífero Guarani** / Thaís de Oliveira Bueno. - Rio Claro: [s.n.], 2007 42 f.: il., tabs., mapas Trabalho de conclusão (bacharelado – Engenharia Ambiental) – Universidade Estadual Paulista, Instituto de Geociências e Ciências Exatas Orientador: Daniel Marcos Bonotto.
- [3] Castro, Pedro Miguel Sampaio. **Radioatividade nas águas destinadas a consumo humano, 2017,94 f.** Relatório de Estágio Profissionalizante para obtenção do Grau de Mestre em Gestão Ambiental, Instituto Politécnico de Coimbra, Escola Superior Agrária de Coimbra, Coimbra 2017.
- [4] Lauria, D. C.; Veiga, L.H.S.; Franklin, M. R. **Radioatividade em água potável: Ocorrência, regulamentação e aspectos de proteção radiológica.** 1 ed. – Rio de Janeiro: IRD, 2014.
- [5] Martins, R. P. B. **Sustentabilidade do Uso de Água em Zonas Urbanas**, dissertação de Mestrado em Engenharia Civil, Universidade do Minho, Escola de Engenharia, 2015.
- [6] Negrão, Sergio Garcia. **Determinação dos Isótopos Naturais de Rádio de Meias-Vidas Longas, Ra²²⁶ e Ra²²⁸, em Águas Minerais Utilizadas nos Balneários de Caxambu (MG) e Águas de Lindóia (SP), 2012. 74 f.** Dissertação apresentada como parte dos requisitos para obtenção do Grau de Mestre em Ciências na Área de Tecnologia Nuclear – Aplicações. Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares, São Paulo 2012.
- [7] Oliveira, J. **Determinação dos níveis de Radioatividade Natural em Águas Utilizadas para Abastecimento Público no Estado de São Paulo, 1998. Volume 1.** Tese apresentada para obtenção do Grau de Doutor em Ciências na Área de Tecnologia Nuclear - Aplicações, São Paulo 1998.
- [8] Sabino, H. **Contribuição para o tratamento de água para consumo humano contaminada por radionuclídeos**, dissertação de Mestrado em Engenharia do Ambiente – Ramo Sanitária, Universidade Nova de Lisboa, 2009.
- [9] Santos, Fernanda Pessoa de Carvalho. **Radionuclídeos em águas minerais comercializados na Cidade do Recife - Pe** / Fernanda Pessoa de Carvalho Santos, - Recife: O Autor, 2010. 60 f.:gráfs., tabs. Dissertação / Mestrado. Universidade Federal de Pernambuco. CTG. Programa de Pós-Graduação em Tecnologias Energéticas e Nucleares, 2010.
- [10] Silva, Camila Rodrigues. **Avaliação dos Níveis de Radioatividade Natural em Centros Urbanos e suas Implicações a Saúde Pública, 2019, 11 f.** Dissertação apresentada ao Curso de Pós-Graduação em Geociências como requisito para obtenção do Grau de Mestre, Geoquímica Ambiental - Universidade Federal Fluminense, Niterói 2019.
- [11] UNITED NATIONS ENVIRONMENT PROGRAMME (UNEP). **Radiação: efeitos e fontes**, Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente. [S.I.]: Versão Eletrônica, 2016. Tradução: Instituto de Radioproteção e Dosimetria da Comissão Nacional de Energia Nuclear (Brasil). Disponível em: <<http://www.aben.com.br/Arquivos/544/544.pdf>>.