



Comparação dos resultados obtidos das análises radiológicas feitas na água de estações de tratamento de diferentes estados do Brasil

Comparison of results obtained from radiological analyses performed on water from treatment plants in different states of Brazil

Fábio Lima Guimarães¹, Inayá Corrêa Barbosa Lima¹, Edmilson Monteiro de Souza²

AUTHOR

AFILIATIONS

¹ Programa de Engenharia Nuclear (PEN - COPPE – UFRJ)

² Universidade do Estado do Rio de Janeiro (UERJ).

ORCIDS AND

CONTACT

Fábio Lima Guimarães

Orcid:

flimaguimaraes@gmail.com

Inayá Corrêa Barbosa Lima

Orcid: 0000-0001-9254-5355

inaya@nuclear.ufrj.br

Edmilson Monteiro de Souza

Orcid: 0000-0001-7067-2011

edmilson.souza@uerj.br

ABSTRACT

Used for human consumption, water can contain natural ionizing radiation, resulting from cosmic rays and the decomposition of radioactive elements in the Earth's crust and atmosphere. This radiation can be harmful to human health, so it is necessary to pay attention to the prevention and control of its potential effects, even at low concentrations. Based on this, this study aims to compare the results obtained in studies on the radioactivity of drinking water, the main radioactive isotopes found, the consequences of ingestion on human health, and reduction methods in the regions of Poços de Caldas, Bahia, and São Paulo. From these comparisons, it was possible to conclude that the level of radioactivity of isotopes in drinking water is low, but exposure to doses above 100 mSv can cause somatic or genetic diseases in the long term. To control and monitor the activities of radioactive isotopes, reference concentration parameters and water treatment techniques are used.

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

RESUMO

Usada para o consumo humano, a água pode apresentar radiação ionizante natural, proveniente de raios cósmicos e da decomposição de elementos radioativos na crosta terrestre e na atmosfera. Essa radiação pode ser prejudicial à saúde humana, sendo necessário prestar atenção na prevenção e controle de seus possíveis efeitos, mesmo em baixas concentrações. Com base nisso, este trabalho consiste em realizar uma comparação dos resultados obtidos nos estudos realizados sobre a radioatividade da água potável, os principais isótopos radioativos encontrados, as consequências da ingestão para a saúde humana e os métodos de redução na região de Poços de Caldas, Bahia e São Paulo. A partir dessas comparações, foi possível concluir que o nível de radioatividade dos isótopos na água potável é baixo, porém a exposição a doses acima de 100 mSv pode causar doenças somáticas ou genéticas a longo prazo. Para controlar e monitorar as atividades dos isótopos radioativos, são utilizados parâmetros referenciais de concentração e técnicas de tratamento da água.

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

INTRODUÇÃO

A água é um recurso natural essencial para a vida, porém seu uso indiscriminado e sem controle tem acarretado em uma taxa de utilização que excede a capacidade de reposição. Mesmo sendo um recurso renovável, a água usada para consumo humano pode conter substâncias radioativas que representam riscos à saúde (Martins, 2015).

A água destinada ao consumo humano é aquela que, seja em seu estado natural ou após tratamento, é utilizada para ingestão, preparo de alimentos, higiene pessoal ou outros fins domésticos. É imprescindível que essa água atenda a padrões de potabilidade estabelecidos, visando a proteção da saúde humana (BRASIL, 2007).

Os radionuclídeos naturais, como o rádio, radônio e urânio, são comumente encontrados na água destinada ao abastecimento público, provenientes das séries radioativas do urânio e do tório. Dentre esses radionuclídeos, os elementos de maior preocupação em relação à saúde são o rádio, radônio e urânio. Os isótopos radioativos naturais mais comuns presentes em níveis mais altos na água são o Rn^{222} , Ra^{226} e Ra^{228} , podendo representar riscos à saúde humana se ingeridos ou inalados por longos períodos de tempo (Bueno, 2007; Castro, 2017; Lauria et al. 2014 [4]).

O presente artigo consiste em realizar uma comparação dos resultados obtidos nos estudos realizados sobre a radioatividade da água potável,

os principais isótopos radioativos encontrados, as consequências da ingestão para a saúde humana e os métodos de redução na região de Poços de Calda, Bahia e São Paulo.

METODOLOGIA

A pesquisa científica é uma investigação metódica acerca de um determinado assunto com o objetivo de esclarecer aspectos em estudo (Bastos e Keller, 1995) [6]. A pesquisa científica apresenta várias modalidades, sendo uma delas a pesquisa bibliográfica, onde recorresse a obras já publicadas como fonte de informações e possíveis soluções para o problema da pesquisa a ser realizada. Os instrumentos que são utilizados na realização da pesquisa bibliográfica são: livros, artigos científicos, teses, dissertações, anuários, revistas, leis e outros tipos de fontes escritas que já foram publicados (Alves et al, 1998).

Neste trabalho utilizou-se a metodologia de pesquisa bibliográfica do tipo quantitativa, onde o objetivo da pesquisa é analisar fenômenos a partir de quantificações. Nessa modalidade, os resultados são apresentados a partir de estruturas como tabelas e gráficos, traduzindo opiniões e número em informações para elaborar classificações e análises.

Com relação aos objetivos, a metodologia de pesquisa bibliográfica adotada para a escolha das referências estudadas foi a do tipo explicativa, visto que a identificação dos fatores objetos que determinam o objeto em estudo exige que esteja

suficientemente descrito e detalhado (Gil 2007, p. 43)) [8]. Ante o exposto, as principais fontes de informações abordadas foram informações dissertações e teses disponibilizadas nos principais sites de pesquisa da web. Adotou-se este tipo de fonte bibliográfica, e não artigos científicos, em virtude da complexidade do tema – radioatividade em água portátil, e necessidade de informações detalhadas a respeito dos locais de localização das Estações de tratamento de água analisadas. Os critérios de inclusão adotados tiveram como foco principal a paridade de metodologia utilizada entre os autores, em especial a adoção de análises alfa-beta total, bem como a determinação de radionuclídeos presentes utilizando detector de Germânio Hiperpuro.

ANÁLISE DOS TRABALHOS

Esse artigo tem como base comparar os resultados das análises radiológicas do trabalho desenvolvido na Universidade Federal de Alfenas (UNIFAL – MG) de autoria de Adriano Mota Ferreira, Raul A. S. Villegas e Henrique Takuji Fukuma intitulado *Avaliação da Presença de Norm no Tratamento de Água do Município de Poços de Caldas – Resultados Preliminares*, realizado em 2014, no trabalho de Dissertação de Mestrado desenvolvido na Universidade Federal de Sergipe de autoria de Fabiana Dantas Freire intitulado *Determinação da Concentração de Radionuclídeos nas Águas e Solos de Regiões Próximas a Província Uranífera de Lagoa Real –*

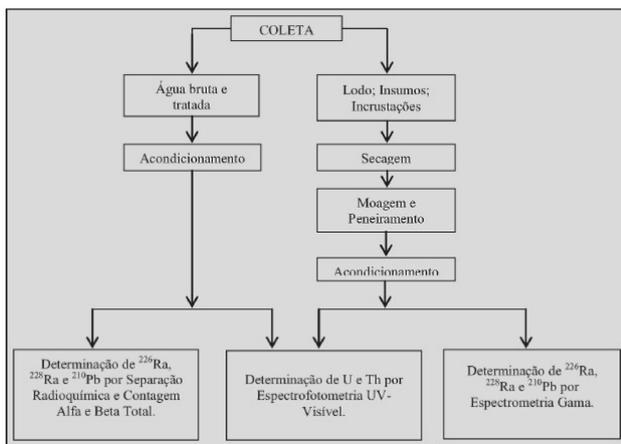
BA, realizado em 2015 e no do trabalho realizado no Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares – (CNEN/SP – IPEN) de autoria de Ana Cláudia Peres intitulado *Monitoramento dos Níveis de Radioatividade Alfa e Beta Global em Águas de abastecimento Público do Estado de São Paulo*.

POÇOS DE CALDAS

O estudo realizado por Adriano Mota Ferreira, Raul A. S. Villegas e Henrique Takuji Fukuma no planalto de Poços de Caldas, se destaca por sua singularidade em termos de Geologia e Geomorfologia, sendo alvo de investigações desde o século XIX, quando as rochas expostas durante a construção de uma estrada de ferro despertaram o interesse dos estudiosos (Whicker et al., 1982). Ao longo dos anos, diversos estudos foram realizados na região, abrangendo diferentes áreas do conhecimento, como mineração, radioatividade, águas termais e solos.

Considerando a importância do abastecimento público de água, um levantamento foi conduzido inicialmente para avaliar as estações de tratamento em operação em Poços de Caldas. O planalto selecionado apresenta altos níveis de radioatividade natural e consiste em uma caldeira circular com cerca de 35 km de diâmetro. Foram coletadas amostras de água bruta, água tratada, insumos (sulfato de alumínio e hidróxido de cálcio), incrustações e lodo do sistema de tratamento público local de três estações de tratamento (ETA A, ETA B e ETA C).

As amostras de água bruta foram obtidas nas captações antes do tratamento, enquanto as de água tratada foram coletadas após o processo. As amostras de lodo foram retiradas dos decantadores durante a limpeza automática. Os insumos e incrustações foram coletados em suas fontes originais, antes da utilização no tratamento e raspados das paredes dos decantadores, respectivamente. Abaixo segue um fluxograma do tratamento e análises das amostras.



Os resultados mostraram que as atividades alfa e beta estavam dentro dos limites estabelecidos pela Portaria N° 2.914 do Ministério da Saúde, 2011 [10]. Os níveis de ^{226}Ra e ^{228}Ra também estavam dentro dos parâmetros definidos. Abaixo seguem os resultados das amostras de água bruta e tratada.

Estação de Tratamento	Tipo	^{226}Ra (Bq.L ⁻¹)	^{228}Ra (Bq.L ⁻¹)	^{210}Pb (Bq.L ⁻¹)	U (Bq.L ⁻¹)	Th (Bq.L ⁻¹)	α -total (Bq.L ⁻¹)	β -total (Bq.L ⁻¹)
ETA A	Bruta	< 0,02	< 0,02	< 0,02	< 0,18	< 0,012	< 0,06	< 0,06
	Tratada	< 0,02	< 0,02	< 0,02	< 0,18	< 0,012	< 0,06	< 0,06
ETA B	Bruta	< 0,02	< 0,02	< 0,02	< 0,18	< 0,012	< 0,06	< 0,06
	Tratada	< 0,02	< 0,02	< 0,02	< 0,18	< 0,012	< 0,06	< 0,06
ETA C	Bruta	< 0,02	< 0,02	< 0,02	< 0,18	< 0,012	< 0,09	< 0,09
	Tratada	< 0,02	< 0,02	< 0,02	< 0,18	< 0,012	< 0,06	< 0,06

Foram observadas que as contagens não excedem os limites estabelecidos pela Portaria 2.914. Para alfa e beta total, os limites estabelecidos são 0,5 Bq.L⁻¹ e 1,0 Bq.L⁻¹, respectivamente. Ainda no Art.38 da mesma Portaria, define-se que, caso os níveis de triagem citados sejam superados, deve ser realizada análise específica para os radionuclídeos presentes e o resultado deve ser comparado com os níveis de referência estabelecidos no anexo IX. Diante dos níveis de referência citados na mesma Portaria para ^{226}Ra (1,0 Bq.L⁻¹) e para ^{228}Ra (0,1 Bq.L⁻¹), os resultados obtidos para as amostras de água se encaixam nos parâmetros estabelecidos, isso porque as atividades detectadas são menores que 0,02 Bq.L⁻¹.

A composição do lodo gerado no tratamento da água varia de acordo com as características físico-químicas da água bruta e dos produtos químicos utilizados no processo (Cordeiro, 1993) [11]. Os resultados das análises do lodo nas estações de tratamento são essenciais para compreender sua natureza. Abaixo segue os resultados das amostras de lodo.

LODO	^{226}Ra (Bq.kg ⁻¹)	^{228}Ra (Bq.kg ⁻¹)	^{210}Pb (Bq.kg ⁻¹)	U (Bq.kg ⁻¹)	Th (Bq.kg ⁻¹)
ETA A	198,00 ± 50	179,00 ± 9,0	145,00 ± 7,00	211,19 ± 7,92	214,92 ± 23,46
ETA B	184,00 ± 46,00	156,00 ± 8,00	151,00 ± 8,00	475,30 ± 3,03	130,06 ± 14,56
ETA C	183,00 ± 46,00	174,00 ± 9,00	209,00 ± 1,00	702,83 ± 8,88	210,00 ± 21,00

Em resumo, os resultados indicam a qualidade da água tratada em Poços de Caldas. Não foram detectados radionuclídeos significativos na água fornecida para a população. O lodo, principal resíduo do tratamento de água,

também não apresentou altas concentrações de radionuclídeos, semelhantes às encontradas nos sedimentos da região. Embora a água não tenha altos valores de radionuclídeos, há possibilidade de concentração de Ra a Pb nas incrustações dos tanques de tratamento, devido a co-precipitação de manganês. Os resultados são preliminares e o estudo está em andamento, considerando o clima e regime de chuvas da região.

BAHIA

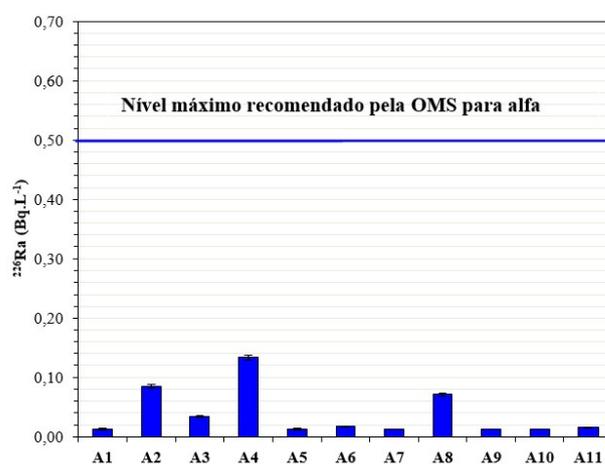
No trabalho da Dissertação de Mestrado de Fabiana Dantas freira da Universidade Federal de Sergipe, o foco principal foi identificar possíveis problemas relacionados ao aumento de radionuclídeos na água utilizada para consumo humano e animal no Distrito Uranífero de Lagoa Real, possivelmente devido à movimentação de materiais da mina de urânio nas áreas circundantes. Diferentes técnicas de espectrometria foram utilizadas para obter os resultados dos radionuclídeos investigados.

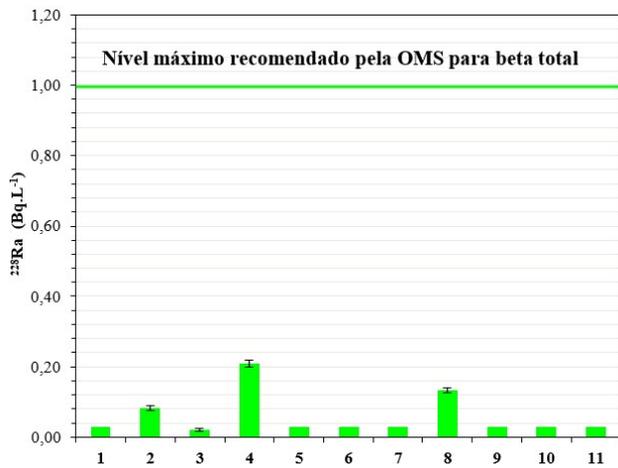
Devido à mineração de urânio, foram coletadas 10 amostras de água na região de mineração de Caetité - BA e renomeadas como A1 (área urbana - posto de combustível), A2 (residencial), A3 (sítio particular), A4 (lagoa de uma propriedade particular), A5 (poço lacrado pelo Greenpeace), A6 (fazenda), A7 (caixa d'água), A8 (lava rápido), A9 (lagoa às margens da BR), A10 (amostra de um hotel) e A11 (água usada para limpeza no hotel). Atividades específicas de radionuclídeos em amostras de

água foram analisadas, com a presença de nuclídeos radioativos nas águas, conforme esperado. Para as análises, foram usadas; espectrometria alfa e beta, espectrometria gama.

A amostra A4 de água apresentou a maior concentração de atividade para os radionuclídeos ^{226}Ra e ^{228}Ra , com resultados de (134 ± 4) mBq/L e (208 ± 9) mBq/L, respectivamente. A menor atividade detectada de ^{226}Ra foi nas amostras A7, A9 e A10 com valores < 12 mBq/L e < 30 mBq/L para ^{228}Ra .

Atividade específica dos respectivos radionuclídeos (mBq/L)		
Amostras	^{226}Ra	^{228}Ra
A1	13 ± 1	< 30
A2	85 ± 3	82 ± 6
A3	34 ± 2	21 ± 4
A4	134 ± 4	208 ± 9
A5	13 ± 1	< 30
A6	17 ± 1	< 30
A7	< 12	< 30
A8	71 ± 3	134 ± 7
A9	< 12	< 30
A10	< 12	< 30
A11	16 ± 1	< 30





Com base nos valores das atividades específicas, as doses efetivas anuais por adulto foram estimadas. Em duas amostras, A4 e A8, os valores calculados excederam o limite recomendado pela OMS de 100 μ Sv/a. No entanto, as amostras não consumidas pela população apresentaram valores acima do limite, enquanto as águas consumidas estavam dentro da faixa recomendada.

SÃO PAULO

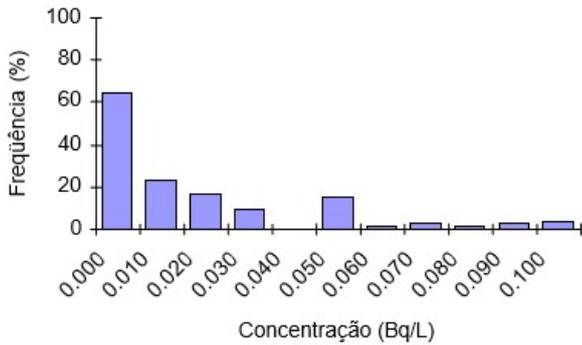
O artigo de Ana Cláudia Peres de CNEN-SP tem como base o programa de monitoramento dos níveis de radioatividade natural nas águas de abastecimento público de São Paulo, onde foram analisadas as concentrações de radioatividade alfa e beta total em 143 amostras de água de mananciais utilizados pela SABESP (2001). Cada ponto de coleta recebeu 5 litros de água em frascos de polietileno, sendo as amostras conservadas em pH < 2,0. No laboratório, as amostras foram filtradas, concentradas e evaporadas em plaquetas de aço inoxidável de 28,3 cm² sob lâmpada de infravermelho. Para

evitar auto-absorção, a massa de resíduo na plaqueta foi mantida abaixo de 5 mg.cm⁻² para alfa total e 10 mg.cm⁻² para beta total (Eaton et al, 1995) [13].

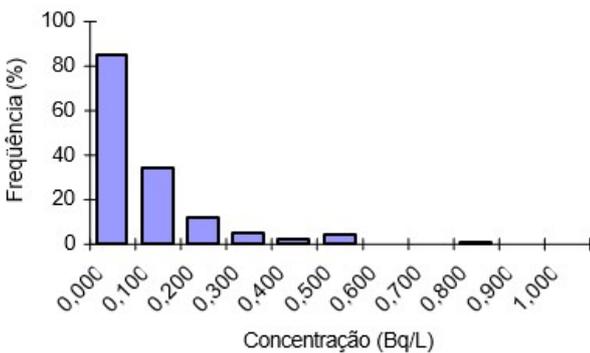
As amostras foram então analisadas em um detector proporcional de fluxo gasoso Berthold LB 770-2, em três ciclos de 200 minutos. Com base nos resultados das atividades determinadas, caso a concentração de alfa total fosse mais alta, considerava-se que toda a atividade era proveniente de ²²⁶Ra. A partir disso, foi determinada a dose efetiva comprometida recebida pelos consumidores de água potável.

Os valores de radioatividade alfa total variaram de < 0,001 a 0,182 Bq/L e de < 0,001 a 0,872 Bq/L para a radioatividade beta total, em 143 amostras de água analisadas. Apenas quatro amostras excederam o limite máximo permitido para a radioatividade alfa total (ICRP, 1993) [14], representando 2,8% do total. Quando isso ocorreu, verificou-se se o limite de ingestão anual de ²²⁶Ra não foi ultrapassado (CNEN 3.01, 1998) [15]. Nenhuma das amostras apresentou concentração de atividade beta total acima de 1 Bq/L. Mesmo nos casos em que a concentração de atividade alfa total superou o valor de referência, as doses efetivas comprometidas calculadas variaram de 0,02 a 0,04mSv/ano, não ultrapassando os limites recomendados. Abaixo, segue um gráfico comparativo.

Frequência de distribuição das concentrações
Alfa Total



Frequência de distribuição das concentrações
Beta Total



Portanto, concluiu-se que a água fornecida pela Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo para o abastecimento público não representa risco à saúde da população em termos radiológicos.

CONCLUSÃO

Em relação aos resultados de radioatividade nas águas de abastecimento público, pode-se perceber diferenças significativas entre as regiões de Poços de Caldas, Bahia e São Paulo.

Em Poços de Caldas, os estudos indicam que a água tratada apresenta qualidade satisfatória, com baixas concentrações de

radionuclídeos nas amostras analisadas, não representando riscos para a população. Por outro lado, na região de mineração de urânio na Bahia, foram identificadas maiores concentrações de radionuclídeos, com duas amostras excedendo o limite recomendado pela OMS em termos de doses efetivas anuais. Já em São Paulo, os níveis de radioatividade alfa e beta total nas águas de abastecimento público foram analisados em 143 amostras, sendo que apenas algumas amostras excederam os limites máximos permitidos, sem ultrapassar as doses efetivas comprometidas recomendadas.

Dessa forma, podemos perceber que as diferentes regiões apresentam distintas condições de qualidade da água em relação à radioatividade, com Poços de Caldas mostrando-se mais favorável, seguido por São Paulo e Bahia, que exigem maiores cuidados e monitoramento.

Assim, não são esperados impactos negativos na saúde humana devido à presença de isótopos radioativos na água potável, desde que as concentrações desses isótopos estejam abaixo do limite recomendado de dose (menor que 0,1 mSv.ano⁻¹). No entanto, a exposição a altas doses de radiação pode causar efeitos agudos à saúde, incluindo alterações em exames, neoplasias e, em casos extremos, até a morte.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao suporte financeiro da Fundação Carlos Chagas Filho de

Amparo a Pesquisa do Estado do Rio de Janeiro (FAPERJ) – Processo E-26/211.994/2021 - APQ1.

REFERÊNCIAS

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.

BUENO, T.O. 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.

CASTRO, P.M.S. 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.

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.

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.

BASTOS, C. L; KELLER, V. *Aprendendo a aprender*. Petrópolis: Vozes, 1995.

ALVES-MAZZOTTI, A. J.; GEWANDSZNAJDER, F. *O método nas ciências naturais e sociais: pesquisa quantitativa e qualitativa*. São Paulo: Pioneira, 1998.

GIL, A.C. *Métodos e técnicas de pesquisa social*. 4 ed. São Paulo: Atlas, 1994.

Whicker, F.W., Schultz, V. *"Radioecology: Nuclear Energy and the Environment"*. Vol. 1, Boca Raton, Florida: CRC Press (1982).

MINISTÉRIO DA SAÚDE. Portaria nº 2914 de 12 de dezembro de 2011 do. *Dispõe sobre os procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade*. BRASIL (2011).

CORDEIRO, J.S. *"O Problema dos Lodos Gerados nos Decantadores em Estações de Tratamento de Água"*. São Carlos. São Carlos, 1993. Tese (Doutorado) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.

COMPANHIA DE SANEAMENTO

BÁSICO DO ESTADO DE SÃO PAULO,
Termo de Cooperação Técnico-científico,
**Convênio SABESP nº 031/95-A Plano de
Trabalho nº 05**, São Paulo, 2001.

EATON, A.D.; CLESCERI, L.S.;
GREENBERG, A.E., **Standard Methods for the
Examination of Water and Wastewater**,
Washington – Am. Public Health Ass. 7-13. 1995.

INTERNATIONAL COMMISSION ON
RADIOLOGICAL PROTECTION (ICRP),
Age-dependent doses to members of the public
from intake of radionuclides: Part 2. Ingestion
dose, **ICRP Publication 67**, Pergamon Press,
Oxford, 1993.

COMISSÃO NACIONAL DE ENERGIA
NUCLEAR, *Diretrizes Básicas de
Radioproteção*, **CNEN NE 3.01**, Rio de Janeiro,
1988.