

Monitoração de radionuclídeos em águas para o consumo humano do Município de Angra dos Reis

Mariana Ferreira Gonçalves¹, **Ana Cristina de Melo Ferreira**¹, **Adriana Belmiro de Oliveira**², **Julio Cesar Toledo de Almeida**², **Marise Pauline da Silva Alves Cunha**²

¹ Instituto de Radioproteção e Dosimetria; ² Secretaria de Saúde de Angra dos Reis

E-mail: mary.fg@hotmail.com

Resumo: O impacto radiológico para os membros da população que vive em Angra dos Reis foi avaliado usando dados de monitoramento ambiental de rádio, chumbo, urânio, tório e céσιο nas águas para o consumo humano. Para tal, foram coletadas e analisadas por radiometria (^{134}Cs e ^{137}Cs), radioquímica (^{226}Ra , ^{228}Ra e ^{210}Pb) e espectrometria de massa com plasma indutivamente acoplado (^{238}U e ^{232}Th). A partir dos resultados, observou-se que as concentrações encontradas foram inferiores aos valores estabelecidos pelo CONAMA, OMS e Ministério da Saúde. Concluiu-se que a presença desses radionuclídeos nas águas coletadas são naturais e com níveis não prejudiciais a saúde.

Palavras-chave: Monitoramento ambiental, água para consumo, Angra dos Reis.

Abstract: The radiological impact for members of the population living in Angra dos Reis was assessed using environmental monitoring data from radio, lead, uranium, thorium and cesium in waters for human consumption. For this, were collected and analyzed by radiometry (^{134}Cs and ^{137}Cs), radiochemical (^{226}Ra , ^{228}Ra and ^{210}Pb) and mass spectrometry with inductively coupled plasma (^{238}U and ^{232}Th). From the results, it was observed that the concentrations found were lower than the values established by CONAMA, WHO and the Ministry of Health. It was concluded that the presence of these radionuclides in the collected waters is natural and with levels that are not harmful to health.

Keywords: Environmental monitoring, waters for human consumption, Angra dos Reis.

1. INTRODUÇÃO

Os radionuclídeos artificiais liberados pelas usinas nucleares apresentam uma contribuição muito pequena referente à dose de radiação recebida pela população, sendo a radioatividade natural, a maior contribuinte [1].

A monitoração radiológica ambiental tem como objetivo avaliar, identificar e controlar a presença de radionuclídeos no meio ambiente e no indivíduo do público. É um processo que consiste na coleta de dados, estudos e acompanhamentos contínuos das matrizes ambientais, para realizar medições de taxas de dose externa devido a fontes de radiação no meio ambiente, que possam interferir na exposição à radiação ionizante [2].

No Brasil, um dos lugares que apresenta a monitoração ambiental é o município de Angra dos Reis, que tem como objetivo analisar os possíveis impactos provocados pela operação das usinas ao redor da Central Nuclear Almirante Álvaro Alberto (CNAAA). Atualmente, duas usinas nucleares operam no Brasil, Angra 1 e Angra 2, com uma terceira em construção (Angra 3), que estava prevista para operar em 2014. As usinas estão localizadas na praia de Itaorna, em Angra dos Reis, aproximadamente 130 km da cidade do Rio de Janeiro, que é uma região importante do ponto de vista turístico, pesqueiro e ecológico [3].

Embora a Central Nuclear (CNAAA) possua um programa de controle ambiental, acompanhado pelos órgãos fiscalizadores (IBAMA/CNEN), a prefeitura do Município de Angra dos Reis se preocupa em monitorar, radiologicamente, os pontos de captação de água para o bem estar da população e que por sua vez, são pontos que não são monitorados pela usina.

A prefeitura de Angra dos Reis possui cento e dois pontos cadastrados de água de abastecimento, que já são monitorados quanto à presença ou não de coliformes e cloro residual e os resultados são colocados no próprio site, abertos para consulta pública. Desta forma a prefeitura, representada neste estudo pela Secretaria de Saúde, estabeleceu uma parceria com o Instituto de Radioproteção e Dosimetria (IRD) para determinar os radionuclídeos nos mesmos pontos que são monitorados por eles e que abastece a cidade.

Assim, o presente estudo propõe monitorar as concentrações de atividades dos radionuclídeos (^{226}Ra , ^{228}Ra , ^{210}Pb , ^{137}Cs , ^{134}Cs , ^{238}U e ^{232}Th) de todos os pontos de água de abastecimento cadastrados pela prefeitura do Município de Angra dos Reis. Lembrando que, o valor máximo permitido de urânio nas águas para consumo humano é de $30 \mu\text{g.L}^{-1}$, de acordo com o Ministério da Saúde [4]. No Brasil, o Ministério da Saúde determina que as concentrações de atividade de Ra-226 não podem ser superior a $1,0 \text{ Bq.L}^{-1}$, e para Ra-228, $0,1 \text{ Bq.L}^{-1}$. A OMS estabelece que a concentração de Pb-210 em água potável não deve exceder $0,1 \text{ Bq.L}^{-1}$ [5]. Na literatura, é possível observar que as concentrações de tório em águas de superfície e subterrâneas se encontram na faixa entre $0,01$ e $1 \mu\text{g.L}^{-1}$ [2]. O cério por ser radionuclídeo artificial, só terá valor estabelecido em caso de emergência.

2. EXPERIMENTAL

O estudo foi realizado em parceria com a Secretaria de Saúde de Angra dos Reis, que possui pontos cadastrados de água de abastecimento, e que foram os mesmos pontos utilizados neste trabalho. O

Município de Angra dos Reis é constituído por cinco distritos, sendo quatro continentais e a Ilha Grande. A tabela 1 fornece os locais de coleta de cada distrito.

Tabela 1. Localidades de cada distrito do Município de Angra dos Reis.

Distrito	Localidades
Primeiro	Centro, Bonfim, Vila Velha, Praia Grande, São Bento, Tanguá, Balneário, Praia do Anil, Sapinhatuba I, Sapinhatuba II, Sapinhatuba III, Marinas, Praia do Jardim, Morro da Carioca, Morro do Abel, Morro do Bulé, Morro da Caixa D'Água, Morro do Carmo, Morro do Peres, Morro do Tatu, Morro da Fortaleza, Morro da Glória I, Morro da Glória II, Morro do Santo Antônio, Ilha da Gipóia, Volta Fria, Morro da Cruz, Parque das Palmeira e Angra Getulândia.
Segundo	Japuíba, Enseada, Encruzo da Enseada, Retiro, Ribeira, Praia da Ribeira, Tararaca, Areal, Belém, Banqueta, Campo Belo, Pontal, Gamboa, Serra D'Água, Zungu, Vilela, Jurumirim e Nova Angra.
Terceiro	Mombaça, Camorim Pequeno, Camorim Grande, Caputeba, Lambicada, Praia do Machado, Água Santa, Vila da Petrobrás, Monsuaba, Paraíso, Biscaia, Ponta Leste, Maciéis, Portogalo, Cantagalo, Garatucaia, Caetés e Jacuecanga.
Quarto	Frade, Bracuhy, Ariró, Itanema, Nova Itanema, Aldeia Indígena, Piraquara, Guariba, Praia Brava, Vila Histórica, Perequê, Boa Vista, Sertão do Perequê, Santa Rita, Condomínio do Frade e Barlavento.
Quinto (Ilha Grande)	Abraão, Palmas, Lopes Mendes, Aroeiras, Dois Rios, Parnaioca, Aventureiro, Provetá, Praia Vermelha, Araçatiba, Sítio Forte, Manguariqueçaba, Marinheiro, Ubatuba, Tapera, Matariz, Bananal, Enseada das Estrelas, Praia de Fora, Fazenda, Camiranga, Japariz, Caieira, Cavaco, Comprida, Freguesia de Santana, Passa Terra e Longa.

Em cada distrito existem diversos pontos de água utilizados para consumo humano que são monitorados pela Secretaria de Saúde.

O diagnóstico das águas de abastecimento do Município de Angra dos Reis é de interesse não apenas técnico como também social. A Secretaria de Saúde de Angra dos Reis tem uma grande demanda de questionamentos sobre estas águas, pela população local. No site da Prefeitura de Angra dos Reis, são disponibilizados os resultados das análises bacteriológicas e de cloro residual, para uma maior transparência para a população. O mesmo será feito com os resultados dos elementos químicos analisados através deste estudo.

2.1. Amostragem

Foram feitas duas campanhas de coleta das águas para consumo humano no Município de Angra dos Reis nos locais relacionados anteriormente, realizadas no período de Abril de 2016 e Novembro de 2018. As amostras foram coletadas em locais de acesso público, fora do perímetro da usina nuclear de

Angra dos Reis, Central Nuclear Almirante Álvaro Alberto (CNAAA). Um total de 102 amostras de água foram coletadas em diferentes locais do Município de Angra dos Reis. Após as coletas, as amostras foram encaminhadas para o Departamento de Análises Ambientais (DIRAD) no Instituto de Radioproteção e Dosimetria. É importante ressaltar que este trabalho abordou os quatro distritos do Município de Angra dos Reis pela viabilidade técnica e financeira e não considerou o quinto distrito no escopo, pois não foi possível realizar as coletas em Ilha Grande.

Na figura 1 é possível observar todos os pontos coletados em cada distrito do Município de Angra dos Reis. Os pontos do primeiro distrito estão destacados pelos quadrados na cor verde, os pontos do segundo distrito destacados pelos círculos preenchidos em amarelo, os pontos do terceiro distrito pelos triângulos em vermelho e os hexágonos na cor azul, os pontos do quarto distrito.

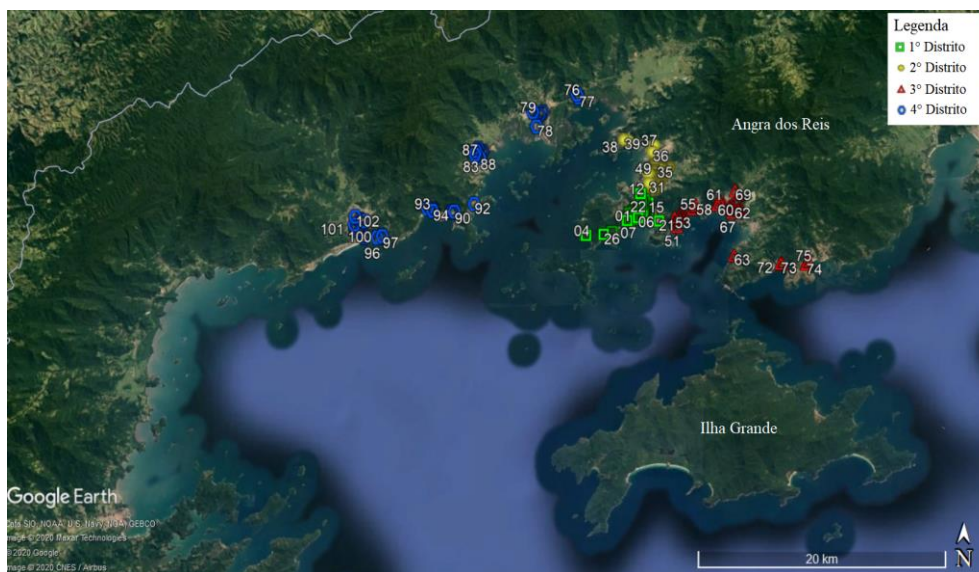


Figura1. Mapa do Município de Angra dos Reis com os pontos de coleta (elaborada pela autora – Google Earth Pro).

2.1.1. Preparo das amostras

As amostras foram filtradas, utilizando uma bomba peristáltica e filtros de 0,45 micrômetro de porosidade e depois acidificadas, com o intuito de evitar a perda dos constituintes a serem determinados por adesão às paredes dos recipientes, e colocadas em diferentes recipientes para as seguintes análises: radioquímica, radiométrica e espectrometria de massa com plasma indutivamente acoplado (ICP-MS).

2.2. Análises

O presente trabalho foi desenvolvido nas instalações da Divisão de Radioproteção Ambiental (DIRAD) do Instituto de Radioproteção e Dosimetria (IRD/CNEN), nos laboratórios de Radioquímica, Espectrometria Gama e Espectrometria de massa (ICP-MS). As análises feitas para cada radionuclídeo foram as mesmas utilizadas no cotidiano do DIRAD.

2.2.1. Radioquímica

As determinações de Ra-226, Ra-228 e Pb-210 foram realizadas através da concentração destes elementos por coprecipitação e posterior contagem alfa e beta em um contador proporcional (P1) Berthold, modelo LB770-1, de ultrabaixo background. O gás utilizado foi o argônio-metano. Os métodos utilizados foram os mesmos usados sistematicamente nos laboratórios do Serviço de Análises Ambientais, do Departamento de Radioproteção, do Instituto de Radioproteção e Dosimetria – IRD/CNEN.

2.2.2. Espectrometria Gama

Esta análise foi utilizada para determinar os radionuclídeos ^{134}Cs e ^{137}Cs , utilizando detectores de germânio ultrapuro. A geometria usada neste trabalho foi a do frasco de polietileno com capacidade para 1 litro.

2.2.3. Espectrometria de Massa com plasma indutivamente acoplado (ICP-MS)

As análises foram feitas no laboratório do Departamento de Análises Ambientais (DIRAD) do Instituto de Radioproteção e Dosimetria (IRD) utilizando-se um ICP-MS da PerkinElmer modelo NexION™ 300D operando com Argônio de alta pureza para determinar U-238 e Th-232. O programa utilizado para realizar a análise de espectrometria de massas com plasma indutivamente acoplada foi o Syngistix.

Para realizar o Teste de Performance, foi inserido no equipamento a solução IRD 814-5051 (Be-Ce-Fe-In-Li-Mg-Pb-U 1mg.L^{-1}). As soluções de calibração foram preparadas utilizando soluções estoque multielementar PE2 (Ce-Dy-Er-Eu-Gd-Ho-La-Lu-Nd-Pr-Sm-Sc-Tb-Th-Tm-Y-Yb), PE3 (Al-As-Ba-Be-Bi-Ca-Cd-Co-Cr-Cs-Cu-Fe-Ga-In-K-Li-Mg-Mn-Ni-Pb-Rb-Se-Na-Ag-Sr-Tl-V-U-Zn) e PE5 (B-Ge-Mo-Nb-P-Re-S-Si-Ta-Ti-W-Zr) que resultaram em uma solução contendo $10\ \mu\text{g.L}^{-1}$ de cada elemento além de uma solução do padrão interno, tálio $200\ \mu\text{g.L}^{-1}$, ambas obtidas da Perkin Elmer. As concentrações da curva de calibração variaram de 0 a $1,0\ \mu\text{g.L}^{-1}$. As soluções de calibração receberam HNO_3 2%, a fim de evitar a precipitação dos padrões, uma vez que matriz da curva é aquosa.

Foi realizada a curva de calibração para o urânio e para o tório.

Todas as análises realizadas participam de programas de intercomparação nacionais (PNI) e internacionais (ALMERA) para comprovação da qualidade dos resultados.

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

3.1. Radioquímica

3.1.1. Determinação de Ra-226 e Ra-228

Para calcular o limite de detecção do método para cada radionuclídeo foi considerado o background dos detectores, de maior valor. Simula-se uma amostra com leitura de três vezes o background de maior valor. Coloca-se esses valores no programa “Análises” para o cálculo do valor de concentração.

Desta forma, o valor do limite de detecção do método encontrado foi de $0,013\text{Bq.L}^{-1}$ para Ra-226 e $0,1\text{Bq.L}^{-1}$ para Ra-228.

Foram observadas diferenças nas concentrações e nos valores abaixo do limite de detecção do equipamento encontrados e isso se deve ao rendimento químico e ao valor do background, que são diferentes para cada amostra.

No contador proporcional de ultrabaixo background, as amostras são medidas em 10 detectores diferentes e conseqüentemente, cada detector apresenta um valor de background. Todos os valores encontrados foram muito baixos e muito semelhantes, sendo da ordem de 10^{-1} , 10^{-2} e 10^{-3} . Os resultados mesmo acima do limite de detecção do método também foram baixos.

Para maior entendimento, a tabela 2 apresenta as maiores e menores concentrações de Ra-226 e Ra-228 de cada distrito das coletas realizadas em Abril de 2016 e Novembro de 2018.

Tabela 2. Intervalo de concentrações de Ra-226 e Ra-228 de cada distrito.

Concentração (Bq.L^{-1})		Primeiro Distrito	Segundo Distrito	Terceiro Distrito	Quarto Distrito
^{226}Ra	2016	0,005 – 0,031	0,006 – 0,027	0,007 – 0,044	0,010 – 0,057
	2018	0,003 – 0,013	0,004 – 0,021	0,004 – 0,016	0,002 – 0,010
^{228}Ra	2016	0,015 – 0,041	0,002 – 0,108	0,014 – 0,151	0,018 – 0,224
	2018	0,007 – 0,027	0,001 – 0,024	0,004 – 0,025	0,002 – 0,022

Os valores de concentração de atividade não podem exceder 1Bq.L^{-1} para o Ra226 e $0,1\text{Bq.L}^{-1}$ para o Ra-228, de acordo com o Ministério da Saúde [4]. Assim, ao comparar as concentrações de Ra-226 e Ra-228 encontradas, verificou-se que os valores não ultrapassaram o nível de referência adotado pelo Ministério da Saúde.

As concentrações de atividades de Ra-226 de todos os pontos analisados no período de Abril de 2016 variaram de 0,005 a $0,057\text{Bq.L}^{-1}$. Já no período de Novembro de 2018, as concentrações de atividade desse radionuclídeo, de todos os pontos analisados, variaram de 0,002 a $0,021\text{Bq.L}^{-1}$.

As concentrações de atividades de Ra-228 de todos os pontos analisados em Abril de 2016 e em Novembro de 2018 variaram de 0,002 a $0,224\text{Bq.L}^{-1}$ e 0,001 a $0,027\text{Bq.L}^{-1}$, respectivamente. Notou-se que as concentrações diminuíram de um período para o outro e uma possível explicação seria que as coletas realizadas em Novembro de 2018 foram feitas no período de chuva.

3.1.2. Determinação de Pb-210

O cálculo para o limite de detecção do método foi realizado de modo similar ao do rádio. Para o Pb-210 o valor do limite de detecção do método foi igual a $0,1\text{Bq.L}^{-1}$. Os rendimentos químicos e os diferentes valores do background podem ser razões para os diferentes valores observados nos gráficos acima.

A tabela 3 apresenta as maiores e menores concentrações de Ra-226 e Ra-228 de cada distrito das coletas realizadas em Abril de 2016 e Novembro de 2018.

Tabela 3. Intervalo de concentrações em Bq.L⁻¹ de Pb-210 de cada distrito.

Concentração (Bq.L ⁻¹)	Primeiro Distrito	Segundo Distrito	Terceiro Distrito	Quarto Distrito
²¹⁰ Pb (2016)	0,014 – 0,191	0,012 – 0,090	0,012 – 0,134	0,011 – 0,314
²¹⁰ Pb (2018)	0,004 – 0,021	0,008 – 0,031	0,005 – 0,026	0,008 – 0,042

Os valores das concentrações encontradas são inferiores a concentração máxima recomendada de Pb-210 em águas para consumo humano, que é de 0,1 Bq.L⁻¹, de acordo com a OMS [5].

As concentrações de atividades de Pb-210 de todos os pontos analisados no período de Abril de 2016 e Novembro de 2018 variaram de 0,011 a 0,314 Bq.L⁻¹ e 0,004 a 0,042 Bq.L⁻¹, respectivamente. Possivelmente, em função do período chuvoso da segunda coleta, os valores das concentrações de 2018 foram menores que os de 2016, assim como Ra-226 e Ra-228.

3.2. Espectrometria Gama

Os intervalos dos limites de detecção de Cs-134 e Cs-137 das amostras coletadas em Abril de 2016 estão representados na tabela 4.

Não houveram resultados das amostras coletadas no período de Novembro de 2018, pois os resultados encontrados anteriormente, em Abril de 2016, foram todos abaixo do limite de detecção.

Tabela 4. Intervalo dos limites de detecção em Bq.L⁻¹ de céσιο-134 e céσιο-137 de cada distrito.

Concentração (Bq.L ⁻¹)	Primeiro Distrito	Segundo Distrito	Terceiro Distrito	Quarto Distrito
¹³⁴ Cs	0,461 – 0,918	0,480 – 0,975	0,491 – 1,050	0,449 – 0,931
¹³⁷ Cs	0,451 – 0,841	0,463 – 0,823	0,463 – 0,870	0,448 – 0,866

Os valores de Cs-134 e Cs-137 de todos os pontos analisados no período de Abril de 2016 foram menores que o limite de detecção. Sendo assim, não houveram contribuição desses radionuclídeos nas águas para o consumo por serem todos valores muito baixos.

Houveram diferenças nos valores encontrados por conta de terem sido utilizados dois detectores diferentes (GC2020 e poço) e conseqüentemente, com limites de detecção diferentes. Os valores encontrados mais abaixo refere-se as amostras que foram feitas no detector poço e as feitas no detector GC2020 se encontram um pouco mais a cima. O detector poço apresenta eficiência de 40%, enquanto o GC2020, eficiência de 20%. Então quanto maior a eficiência do detector, menor será o limite de detecção do equipamento e conseqüentemente, mais amostras serão lidas.

O limite de detecção do método para cada radionuclídeo foi definido o maior valor do limite de detecção do equipamento, sendo assim o limite de detecção para Cs-134 foi $1,05 \text{ Bq.L}^{-1}$ e para Cs-137 foi $0,87 \text{ Bq.L}^{-1}$.

Por serem radionuclídeos artificiais, os valores só serão estabelecidos em caso de emergência.

3.3. Espectrometria de Massa com Plasma Indutivamente Acoplado (ICP-MS)

O próprio programa Syngistix fornece os limites de detecção dos radionuclídeos analisados neste trabalho. Como os limites de detecção foram baixos, todas as amostras tiveram suas respectivas concentrações e desvios padrões medidos. E mesmo estando acima do limite, esses valores são baixos.

As maiores e menores concentrações de urânio e tório de cada distrito estão destacadas na tabela 5.

Tabela 5. Intervalo de concentrações de urânio e tório de cada distrito.

Concentração ($\mu\text{g.L}^{-1}$)	Primeiro Distrito	Segundo Distrito	Terceiro Distrito	Quarto Distrito
^{238}U	0,006 – 0,142	0,016 – 0,082	0,002 – 0,020	0,008 – 0,126
^{232}Th	0,004 – 0,066	0,004 – 0,402	0,002 – 0,023	0,004 – 0,210

Comparando as concentrações de urânio encontradas, verificou-se que não ultrapassaram o nível de referência de $30 \mu\text{g.L}^{-1}$ adotado pelo Ministério da Saúde referente à radioatividade [4]. Para o tório, apesar de não existir concentração estabelecida pelo CONAMA, os valores encontrados estão dentro da faixa de 0,01 e $1,0 \mu\text{g.L}^{-1}$, determinada pela literatura para águas de superfície e subterrâneas [2].

As concentrações de atividades de urânio e tório de todos os pontos analisados variaram de 0,002 a $0,142 \mu\text{g.L}^{-1}$ e 0,002 a $0,402 \mu\text{g.L}^{-1}$, respectivamente.

4. CONCLUSÕES

Todos os resultados estão dentro da faixa recomendada pela OMS, Ministério da Saúde e CONAMA referente a concentração de cada radionuclídeo como era esperado. Por isso é possível afirmar que a presença desses radionuclídeos nas águas coletadas são naturais e com níveis não prejudiciais a saúde. Com base nos resultados, a presença de radionuclídeos nas amostras de água se deve à natureza da água dos distritos e não à existência da usina nuclear.

Agradecimentos

Os autores agradecem ao Departamento de Análises Ambientais (DIRAD) pela oportunidade de realizar este trabalho. Ao José Antonio Gonçalves pelo transporte das amostras. Ao analista técnico Carlos Henrique e aos alunos de Iniciação Científica, pela ajuda durante a execução da análise

radioquímica. A aluna Amanda Bassaliano, pela realização das análises no ICP-MS. Ao Dr. Fernando Ribeiro, pela análise radiométrica.

Referências

- [1] United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation (UNSCEAR). **United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation report to the General Assembly New York** (United Nations), 1982.
- [2] LAURIA, D. C.; VEIGA, L. H. S.; FRANKLIN, M. R. **Radioatividade em água potável: Ocorrência, regulamentação e aspectos de proteção radiológica**. Instituto de Radioproteção e Dosimetria. Rio de Janeiro, 2014.
- [3] GOMES, F. C. *et al* . Geochronology of anthropogenic radionuclides in Ribeira Bay sediments. **Journal of Environmental Radioactivity**, Rio de Janeiro, v. 102, n. 9, p. 871-876, 2011.
- [4] MS - Ministério da Saúde. **Procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade**. Portaria MS nº. 2.914, 34p, 2011.
- [5] WHO - World Health Organization. **Guidelines for Drinking-water Quality, Fourth Edition**. WHO: Geneva, 564p, 2011.