



CNEN

COMISSÃO NACIONAL DE ENERGIA NUCLEAR

NOTA TÉCNICA Nº 2/2022/LAB-PROQ-LAPOC/SECTEC/LAPOC/CGRC/DRS

PROCESSO Nº 01346.000502/2021-25

INTERESSADO: LABORATÓRIO DE POÇOS DE CALDAS, SEÇÃO TÉCNICA, LABORATÓRIO DE PROCESSOS QUÍMICOS, SETOR DE SISTEMA DE GESTÃO DA QUALIDADE, LABORATÓRIO GEOAMBIENTAL

Título: Caracterização química e radiológica de amostras de águas do município de Caldas - MG

Organização: Prefeitura Municipal de Caldas/MG - Secretaria de Meio Ambiente

Autores:

Heber Luiz Caponi - LAPOC/CNEN

Henrique Takuji Fukuma - LAPOC/CNEN

Marcos Roberto Lopes do Nascimento - LAPOC/CNEN

Rodrigo Leandro Bonifácio - LAPOC/CNEN

Revisado por:

Daniela Villa Flor Montes Rey Silva - LAPOC/CNEN

Aprovado por:

Antonio Luiz Quinelato - LAPOC/CNEN

1. OBJETIVO

1.1. Em atenção à uma solicitação da Prefeitura de Caldas-MG o Laboratório de Poços de Caldas (LAPOC), unidade da Comissão Nacional de Energia Nuclear (CNEN), realizou análises com relação aos aspectos radiológicos e de potabilidade para substâncias químicas inorgânicas, de amostras de águas tratadas e distribuída para a população, assim como, de amostras de águas do Balneário Fonte São José e de águas de locais utilizados para recreação deste município. Este documento apresenta os resultados obtidos.

2. INTRODUÇÃO

2.1. O abastecimento público de água em quantidade e qualidade é uma preocupação crescente da humanidade, em função da escassez do recurso água e da deterioração da qualidade dos mananciais. Organismos nacionais, como o Ministério da Saúde e o Conselho Nacional de Meio Ambiente (CONAMA), têm reconhecido a problemática da água.

2.2. Os radionuclídeos naturais encontram-se frequentemente presentes na água destinada ao abastecimento público e estão associados à origem destas fontes de água. Os isótopos pertencentes à série do urânio-238 (^{238}U , ^{234}U , ^{236}Ra , ^{210}Po e ^{210}Pb) e do tório-232 (^{232}Th e ^{228}Ra), potencialmente presentes na água, podem acarretar efeitos deletérios à saúde humana, caso atinjam concentrações críticas.

2.3. O Ministério da Saúde, de acordo com a legislação brasileira vigente, é responsável sobre os procedimentos de controle e de vigilância da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade, conforme Portaria Nº 888 de 04/05/2021 do Ministério da Saúde [1].

2.4. Do ponto de vista radiológico, o artigo 37º desta Portaria estabelece que os níveis de triagem que conferem potabilidade a água são valores de concentração de atividade que não excedem 0,5 Bq/L para atividade alfa total e 1

Bq/L para beta total. Caso os níveis de triagem sejam superados, deve-se consultar a Posição Regulatória 3.01/012:2020 da Comissão Nacional de Energia Nuclear (CNEN), para informações de como proceder nessa situação [2].

2.5. O Conselho Nacional do Meio Ambiente - CONAMA, órgão consultivo e deliberativo do Sistema Nacional do Meio Ambiente - SISNAMA, foi instituído pela Lei 6.938/81, que dispõe sobre a Política Nacional do Meio Ambiente, regulamentada pelo Decreto 99.274/90. A competência do CONAMA está no estabelecimento de normas e critérios para o licenciamento ambiental e também para o estabelecimento de padrões de controle da poluição ambiental. Essas atribuições são exercidas por meio de atos administrativos normativos chamados de Resoluções. Entre as Resoluções, citamos a Resolução Nº 357 de 17/03/2005 do CONAMA (alterada pelas resoluções 393/2007, 397/2008 e 410/2009) que dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento de águas de mananciais e para recreação e os padrões de qualidade e balneabilidade [3].

2.6. A questão radiológica não é mencionada na Resolução Nº 357 de 17/03/2005 do CONAMA. Todavia, a proximidade do município de Caldas-MG das instalações da Unidade em Descomissionamento de Caldas (UDC), das Indústrias Nucleares do Brasil (INB) promove um receio da população de eventual contaminação radioativa em áreas de influência dessa unidade. Esse relatório apresenta resultados obtidos de parâmetros radiométricos e físico-químicos que permitem concluir a respeito da qualidade das águas com base na legislação.

3. CAMPANHAS DE AMOSTRAGEM, LOCAIS E MATERIAL COLETADO

3.1. Quatro campanhas de amostragem foram realizadas nas datas de 02/12/2021 (primavera), 02/02/2022 (verão), 11/05/2022 (outono) e 01/08/2022 (inverno). Os pontos de amostragem e as amostras coletadas foram: **(P1)** Companhia de Saneamento de Minas Gerais - COPASA: amostras de *água tratada* distribuída à população pela estação de tratamento e amostras de *lodo do decantador* originário do processo de tratamento da água; **(P2)** ribeirão dos Bugres: *água bruta*, que é bombeada para a estação de tratamento; **(P3)** Balneário Fonte São José: *água*; **(P4)** Cachoeira Bacião no Ribeirão Taquari: água e **(P5)** cascata Antônio Monteiro no rio Verde: água.

3.2. Na segunda campanha foram feitas coletas adicionais de água para avaliar a influência da INB na área de estudo. Os locais considerados foram os pontos **(P6)** e **(P7)**. O ponto **(P6)** está no córrego Taquari, sendo ponto de referência de uma área de elevada radioatividade natural e fora da área de influência da INB. O ponto **(P7)** está no córrego Soberbo, que recebe efluentes tratados de pilha de estéril BF4 e barragem de rejeitos da INB/Caldas.

3.3. Os locais de amostragem estão alocados no mapa da Figura 1. Nesta figura é possível observar a localização da área em estudo no Planalto de Poços de Caldas, a hidrografia das principais bacias hidrográficas (rios Taquari, Soberbo, Burges e Verde) e os pontos de coleta e o monitoramento da taxa de exposição externa. O Anexo 1 contém essas mesmas informações sobreposto a imagem de satélite para melhor visualização do uso e ocupação (SEI 1754105).

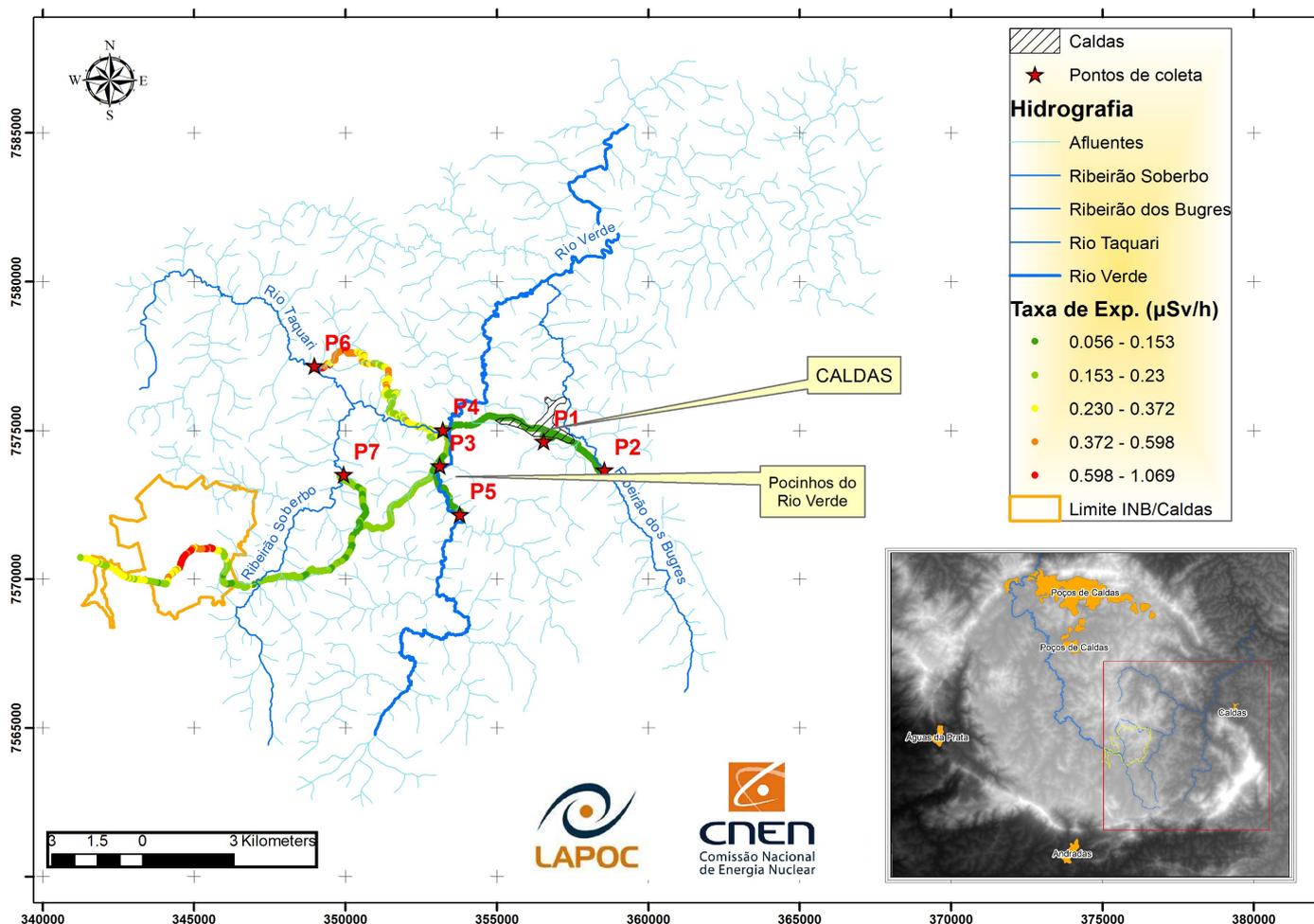


Figura 1: Mapa do Monitoramento Radiológico do Município de Caldas/MG

3.4. A taxa de exposição externa é medida em micro Sievert por hora ($\mu\text{Sv/h}$), que na prática representa a medida de emissões gama do solo, ou seja, mede a radioatividade do solo. Os valores da taxa de exposição medidos nos locais visitados variou de 0,056 a 1,069 $\mu\text{Sv/h}$. Pode-se considerar valores naturais ou background mundial em torno de 0,2 $\mu\text{Sv/h}$. As áreas que apresentaram a maiores taxas de exposição foram no interior da INB/Caldas e rio Taquari. O equipamento utilizado para medir a taxa de exposição (emissores gama) foi o NAUTIZ X7 produzido pela GETAC. Esse equipamento já realiza as medidas georreferenciadas da taxa de exposição externa em $\mu\text{Sv.h}^{-1}$.

4. PROCESSO DE TRATAMENTO DA ÁGUA DISTRIBUÍDA À POPULAÇÃO

4.1. Inicialmente a água bruta é bombeada para um tanque de reação, onde é feita a adição de hipoclorito de cálcio e hidróxido de sódio para a oxidação e precipitação de metais. Segue-se a adição de cloreto férrico, como agente floculante por uma calha. Em seguida a mistura é conduzida para tanques que recebem a adição do polímero constituído por fécula de mandioca com hidróxido de sódio. O tratamento é completado pela adição de hipoclorito de sódio para desinfecção, hidróxido de sódio para correção de pH, ácido flúor silícico para prevenção de cárie em infantes e ortopolifosfato. Finalmente, a água tratada é conduzida para o tanque decantador, onde, após o tempo de reação, o material precipitado é removido por uma válvula no fundo do tanque.

5. ANÁLISES FÍSICO-QUÍMICAS E RADIOMÉTRICAS

5.1. As amostras de água analisadas foram previamente submetidas a uma digestão ácida conforme método do Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, SMEWW [4]. As determinações de urânio e tório totais foram realizadas por espectrometria de massa por plasma acoplado indutivamente, ICP-MS. As determinações dos outros metais foram realizadas por espectrometria de emissão ótica por plasma acoplado indutivamente, ICP-OES, usando métodos do SMEWW [5,6]. Medidas de pH das amostras foram realizadas com aparelho de bancada. Para as análises de alfa e beta totais e análises

de ^{226}Ra , ^{228}Ra e ^{210}Pb adotou-se métodos da USEPA, United States Environmental Protection Agency [7,8]. As determinações de urânio e tório realizadas no Laboratório de Poços de Caldas são acreditadas pelo Inmetro, de acordo com os requisitos estabelecidos na ABNT NBR ISO/IEC 17.025.

6. RESULTADOS

6.1. As tabelas 1 e 2 mostram os resultados de análises químicas e radiométricas da água bruta coletada no manancial abastecedor ribeirão dos Bugres (**P2**). Em relação aos parâmetros físico-químicos foram analisados apenas aqueles de maior interesse toxicológico, por serem também os mais significativamente afetados no ciclo geoquímico global por atividades antropogênicas. A água bruta utilizada se enquadra no padrão classe 2 da resolução No 357 do CONAMA, que refere-se a águas que podem ser destinadas ao abastecimento para consumo humano, após tratamento convencional. Exceto o urânio, essa resolução do CONAMA não faz menção a parâmetros radiométricos.

Tabela 1. Água bruta (**P2**) - Análises radiométricas

Parâmetro	Primavera	Verão	Outono	Inverno
Alfa total (Bq/L)	< 0,15	< 0,15	< 0,15	0,25 ± 0,05
Beta total (Bq/L)	< 0,10	< 0,10	< 0,10	< 0,10
Th (mg/L)	< 0,0025	< 0,0025	< 0,0025	< 0,0025
U (mg/L)	< 0,0025	< 0,0025	< 0,0025	< 0,0025
^{210}Pb (Bq/L)	0,034 ± 0,012	< 0,02	< 0,02	< 0,02
^{226}Ra (Bq/L)	< 0,02	< 0,02	< 0,02	< 0,02
^{228}Ra (Bq/L)	< 0,02	< 0,02	< 0,02	< 0,02

Tabela 2. Água bruta (**P2**) - Análises físico-químicas. Resultados expressos em mg/L, exceto pH

Parâmetro	Primavera	Verão	Outono	Inverno	VM*
Al (mg/L)	0,21 ± 0,02	0,28 ± 0,03	0,099 ± 0,015	< 0,05	0,1
As (mg/L)	< 0,0025	< 0,0025	< 0,0025	< 0,0025	0,01
Cd (mg/L)	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	0,001
Cl ⁻ (mg/L)	--	< 2,0	< 2,0	< 2,0	250
Cr (mg/L)	0,012 ± 0,004	< 0,05	< 0,05	< 0,05	0,05
Cu (mg/L)	< 0,05	< 0,010	0,011 ± 0,002	< 0,010	0,009
F ⁻ (mg/L)	0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	1,4
Fe (mg/L)	0,98 ± 0,01	0,66 ± 0,06	1,04 ± 0,05	1,02 ± 0,01	0,3
Hg (mg/L)	< 0,0025	< 0,0025	< 0,0025	< 0,0025	0,0002
Mn (mg/L)	0,048 ± 0,001	< 0,05	< 0,05	< 0,05	0,1
Ni (mg/L)	< 0,010	< 0,010	< 0,010	< 0,010	0,025
Pb (mg/L)	< 0,010	< 0,010	< 0,010	< 0,010	0,01
SO ₄ ²⁻ (mg/L)	< 2,0	< 2	< 0,5	1,78 ± 0,20	250
Zn (mg/L)	0,030 ± 0,001	0,06 ± 0,01	< 0,05	< 0,10	0,18
pH	6,70 ± 0,12	6,66 ± 0,12	6,27 ± 0,20	6,26 ± 0,20	--

*Valor máximo. Resolução 357 do CONAMA para águas Classe 2, que podem ser destinadas ao abastecimento para consumo humano, após tratamento convencional

6.2. Os resultados dos parâmetros inorgânicos praticamente se enquadram nos limites máximos permitidos pela resolução No 357 para água classe 2. Para a água tratada, distribuída à população, tanto as análises radiológicas, na tabela 3, como as físico-químicas na tabela 4 apresentam valores que estão abaixo do máximo permitido pela legislação. Os resultados de mercúrio não atingiram o limite estabelecido na Resolução 357 do CONAMA. Isto se deve ao procedimento estabelecido para acreditação do método segundo a NBR-ISO/IEC 17.025.

Tabela 3. Água tratada (P1) - Análises radiométricas

Parâmetro	Primavera	Verão	Outono	Inverno	VM*
Alfa total (Bq/L)	< 0,15	< 0,15	< 0,15	< 0,15	< 0,5
Beta total (Bq/L)	< 0,10	< 0,10	< 0,10	< 0,10	< 1,0
$T_{1/2}$ (mg/L)	< 0,0025	< 0,0025	< 0,0025	< 0,0025	-
U (mg/L)	< 0,0025	< 0,0025	< 0,0025	< 0,0025	0,03
^{210}Pb (Bq/L)	0,034 ± 0,01	< 0,02	< 0,02	< 0,02	-
^{226}Ra (Bq/L)	< 0,02	< 0,02	< 0,02	< 0,02	1,0
^{228}Ra (Bq/L)	< 0,02	< 0,02	< 0,02	< 0,02	0,1

*Valor máximo: Ministério da Saúde,

Portaria Nº 888 de 04/05/2021

Tabela 4. Água tratada (P1) - Análises físico-químicas. Resultados expressos em mg/L, exceto pH

Parâmetro	Primavera	Verão	Outono	Inverno	VM*
Al	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	0,2
As	< 0,0025	< 0,0025	< 0,0025	< 0,0025	0,01
Cd	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	0,003
Cl ⁻	10,8 ± 0,8	9,45 ± 0,90	6,46 ± 0,19	4,77 ± 0,40	250
Cr	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	0,05
Cu	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	2
F ⁻	< 0,55	< 0,5	0,64 ± 0,02	0,57 ± 0,06	1,5
Fe	-	0,10 ± 0,01	< 0,05	< 0,05	0,3
Hg	< 0,0025	< 0,0025	< 0,0025	< 0,0025	0,001
Mn	< 0,05	0,147 ± 0,015	< 0,05	< 0,05	0,1
Ni	< 0,010	< 0,010	< 0,010	< 0,010	0,07
Pb	< 0,010	< 0,010	< 0,010	< 0,010	0,01
SO ₄ ⁼	< 2	< 2	< 2	< 2	250
Zn	0,19 ± 0,01	0,58 ± 0,06	0,30 ± 0,03	< 0,10	5
pH	8,28	6,64 ± 0,12	6,73 ± 0,20	5,93 ± 0,20	6,0-9,0
Dureza total	9,7 ± 0,3	6,50 ± 0,32	9,51 ± 0,50	9,30 ± 0,18	-

*Valor máximo: Ministério da Saúde, Portaria Nº 888

de 04/05/2021

6.3. As tabelas 5 e 6 apresentam resultados de análises referente a água do Balneário Fonte São José. As concentrações de atividade das análises radiométricas, exceto beta total, estão abaixo dos limites de determinação dos respectivos métodos. As análises físico-químicas na tabela 6 mostram valores que são típicos para água de balneário.

Tabela 5. Água do Balneário Fonte São José (P3) - Análises radiométricas

Parâmetro	Primavera	Verão	Outono	Inverno
Alfa total (Bq/L)	< 0,15	< 0,15	< 0,15	< 0,015
Beta total (Bq/L)	0,19 ± 0,03	0,38 ± 0,06	0,170 ± 0,04	0,31 ± 0,04
$T_{1/2}$ (mg/L)	< 0,0025	< 0,0025	< 0,0025	< 0,0025
U (mg/L)	< 0,0025	< 0,0025	< 0,0025	< 0,0025
^{210}Pb (Bq/L)	0,05 ± 0,02	< 0,02	< 0,02	< 0,02
^{226}Ra (Bq/L)	< 0,02	< 0,02	< 0,02	< 0,02
^{228}Ra (Bq/L)	< 0,02	< 0,02	< 0,02	< 0,02

Tabela 6. Água do Balneário Fonte São José (P3) - Análises físico-químicas. Resultados expressos em mg/L, exceto pH

Parâmetro	Primavera	Verão	Outono	Inverno
Al	< 0,05	--	--	--
As	0,0030 ± 0,002	--	--	--
Cl	--	--	--	--
Cd	< 0,001	--	--	--
Cr	0,015 ± 0,002	--	--	--
Cu	< 0,01	--	--	--
F	18,5 ± 1,0	--	--	--
Fe	< 0,05	--	--	--
Hg	< 0,0025	--	--	--
Mn	0,0030 ± 0,001	--	--	--
Ni	< 0,010	--	--	--
Pb	< 0,010	--	--	--
SO ₄ ²⁻ , sulfato	< 2,0	--	--	--
S ²⁻ , sulfeto	2,1 ± 0,4	--	--	--
Zn	0,029 ± 0,001	--	--	--
CO ₃ ²⁻	58 ± 2,6	40,4 ± 4,0	47,9 ± 4,0	112,3 ± 1,2
HCO ₃ ⁻	293 ± 2,1	246 ± 30	200,9 ± 9,9	85,2 ± 7,0
pH	9,25	9,72 ± 0,16	10,4 ± 0,2	7,02 ± 0,20

6.4. A tabela 7 mostra a caracterização radiométrica, incluindo ainda os teores de ferro e manganês, do lodo precipitado no decantador decorrente do processo de tratamento da água na estação da COPASA. Os radionuclídeos são substancialmente concentrados durante o processo, onde os oxi-hidróxidos de ferro e manganês formados atuam como eficientes carreadores de rádio e urânio.

Tabela 7. Lodo do decantador (P1) - Análises químicas e radiométricas

Parâmetro	Primavera	Verão	Outono	Inverno
Th (mg/kg)	< 20	32,1 ± 4,0	< 20	< 20
²³² Th (Bq/kg)	< 82	132 ± 16	< 82	< 82
U (mg/kg)	< 20	< 20	< 20	< 20
²³⁸ U (Bq/kg)	< 244	< 244	< 244	< 244
²¹⁰ Pb (Bq/kg)	96 ± 14	67 ± 10	48,9 ± 8,5	27,5 ± 3,6
²²⁶ Ra (Bq/kg)	43,8 ± 8,5	20,0 ± 5,8	12,7 ± 4,3	28,4 ± 5,3
²²⁸ Ra (Bq/kg)	78,2 ± 8,4	61,7 ± 3,3	42,4 ± 5,0	80,7 ± 8,8
Fe (%)	-	-	19,40 ± 0,19	42,4 ± 0,4
Mn (mg/kg)	-	-	886 ± 9	1.928 ± 20

6.5. Pode-se observar que o lodo gerado no decantador concentra os elementos radioativos. De acordo com a Norma CNEN NN 8.01, esses valores de concentração de atividade dos elementos radioativos obtidos no lodo estão abaixo do limite de concentração de atividade para dispensa de materiais sólidos (Quantidade >1000 kg), quais sejam, para U e Th (naturais) o limite de isenção é de 1.000 Bq/kg (1Bq/g) para o pai e de 1.000 Bq/kg (1Bq/g) para todos os filhos [9].

6.6. O urânio encontrado na natureza, denominado urânio natural, é uma mistura composta pelos isótopos ²³⁸U, ²³⁵U e ²³⁴U na proporção de 99,28%, 0,71% e 0,0054% em massa, respectivamente. O isótopo ²³²Th, da família do tório natural, constitui praticamente 100% da ocorrência. Estes radionuclídeos pertencem às séries naturais de decaimento, que se caracterizam pelas transformações sucessivas. Em cada série, o nuclídeo pai decai num nuclídeo filho, que decai por sua vez, e assim por diante, até que alcancem um produto final estável. As séries naturais são chamadas de série do urânio, actínio e tório (²³⁸U, ²³⁵U e ²³²Th, respectivamente), as quais são apresentadas na Figura 2.

6.7. Os radionuclídeos considerados são os precursores das seguintes sub-séries:

Série do ²³⁸U: ²³⁸U, ²²⁶Ra e ²¹⁰Pb;

Série do ²³²Th: ²³²Th e ²²⁸Ra.

6.8. Os radionuclídeos das sub-séries consideradas no cálculo da atividade específica total são:

- Série do ^{238}U :

^{238}U , ^{234}Th , ^{234}Pa , ^{234}U , ^{230}Th ;
 ^{226}Ra , ^{222}Rn , ^{218}Po , ^{214}Pb , ^{214}Bi , ^{214}Po ;
 ^{210}Pb , ^{210}Bi , ^{210}Po .

- Série do ^{232}Th :

^{232}Th ;
 ^{228}Ra , ^{228}Ac , ^{228}Th , ^{224}Ra , ^{220}Rn , ^{216}Po , ^{212}Pb , ^{212}Bi (64%), ^{212}Po ,
 ^{208}Tl (36%).

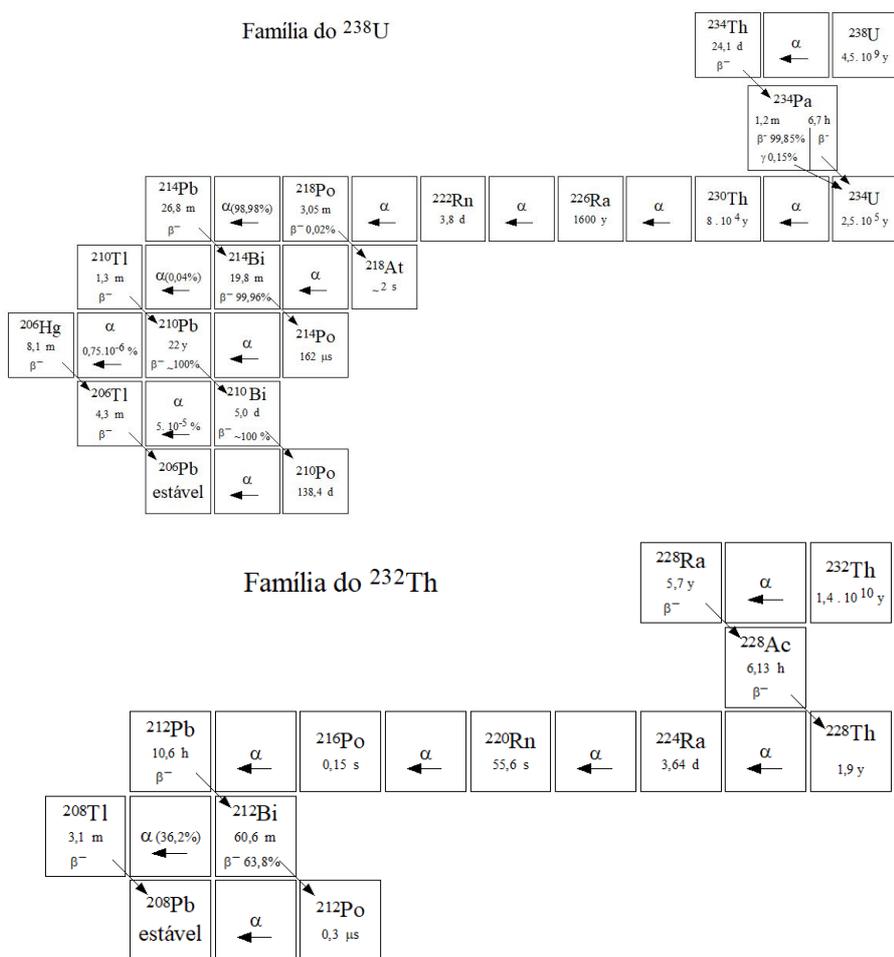


Figura 2. Séries radioativas naturais do ^{238}U e ^{232}Th

6.9. Nessa divisão das cadeias em sub-séries não foram consideradas as possíveis quebras de equilíbrio em decorrência da exalação de ^{222}Rn e ^{220}Rn , que em processos industriais é de difícil avaliação. Assumiu-se também o equilíbrio radioativo do ^{230}Th com o ^{238}U e, na cadeia do ^{232}Th , o equilíbrio radioativo entre o ^{228}Ra e o ^{228}Th e, conseqüentemente, com seus descendentes de meia-vida curta. A contribuição da cadeia do ^{235}U não é considerada, devido a seu valor ser relativamente baixo na composição isotópica do urânio.

6.10. De modo comparativo, Peixoto, em 2013, encontrou valores de concentração de atividade de U variando de 7,8 a 334 Bq/Kg e concentrações de atividade de Th variando de 8 a 184 Bq/Kg, após analisar centenas de amostras de solo coletadas no Estado de Minas Gerais [10]. Os resultados obtidos indicam que se encontram dentro da faixa de concentração de atividade de solos encontrados em Minas Gerais.

6.11. As tabelas 8 e 9 apresentam resultados de parâmetros radiométricos de água dos locais de recreação cachoeira do Bacião, no rio Taquari e cascata Antônio Monteiro no rio Verde. O nível de radioatividade é muito baixo, próximo dos limites de determinação dos métodos de análise.

Tabela 8. Cachoeira do Bacião - Rio Taquarí (P4)

Parâmetro	Primavera	Verão	Outono	Inverno
Alfa total (Bq/L)	< 0,150	< 0,150	< 0,150	< 0,150
Beta total (Bq/L)	0,30 ± 0,04	0,245 ± 0,052	< 0,1	0,235 ± 0,036
Th (mg/L)	< 0,0025	< 0,0025	< 0,0025	< 0,0025
U (mg/L)	< 0,0025	< 0,0025	< 0,0025	< 0,0025
²¹⁰ Pb (Bq/L)	0,024 ± 0,010	< 0,02	< 0,02	< 0,02
²²⁶ Ra (Bq/L)	< 0,02	< 0,02	< 0,02	< 0,02
²²⁸ Ra (Bq/L)	< 0,02	< 0,02	< 0,02	< 0,02

Tabela 9. Cascata Antonio Monteiro - Rio Verde (P5)

Parâmetro	Primavera	Verão	Outono	Inverno
Alfa total (Bq/L)	< 0,150	< 0,150	< 0,150	< 0,150
Beta total (Bq/L)	< 0,10	0,210 ± 0,045	0,170 ± 0,032	< 0,10
Th (mg/L)	< 0,0025	< 0,0025	< 0,0025	< 0,0025
U (mg/L)	< 0,0025	< 0,0025	< 0,0025	< 0,0025
²¹⁰ Pb (Bq/L)	< 0,02	< 0,02	< 0,02	< 0,02
²²⁶ Ra (Bq/L)	< 0,02	< 0,02	< 0,02	< 0,02
²²⁸ Ra (Bq/L)	< 0,02	< 0,02	< 0,02	< 0,02

6.12. O Ribeirão Soberbo, tributário do Rio Taquari, recebe as águas vertidas pela barragem de rejeitos e pilha de estéril da UDC/INB. A tabela 10 mostra que a contribuição radiométrica na água é praticamente nula ou minimamente significativa.

Tabela 10. Influência da UDC/INB (P6 e P7)

Parâmetro	Montante (Taquarí)	Soberbo	Jusante (Taquarí)
Alfa total (Bq/L)	0,213 ± 0,061	0,267 ± 0,069	< 0,150
Beta total (Bq/L)	0,213 ± 0,047	0,238 ± 0,047	0,245 ± 0,052
Th (mg/L)	0,0026 ± 0,0013	< 0,0025	< 0,0025
U (mg/L)	< 0,0025	0,0046 ± 0,0006	< 0,0025
²¹⁰ Pb (Bq/L)	< 0,02	< 0,02	< 0,02
²²⁶ Ra (Bq/L)	< 0,02	< 0,02	< 0,02
²²⁸ Ra (Bq/L)	< 0,02	< 0,02	< 0,02

UDC/INB

*No ponto de descarte de efluentes da

7. CONCLUSÕES

7.1. Os resultados mostram que a água gerada pela estação de tratamento da COPASA e distribuída à população apresenta níveis de radioatividade e de contaminantes químicos abaixo dos valores máximos permitidos, portanto em conformidade com a legislação.

7.2. O lodo formado durante o processo e removido do decantador apresenta nível de radioatividade típico desse material visto que, os radionuclídeos naturais são concentrados durante o processo. No entanto, as concentrações de atividade das espécies radioativas estão abaixo do limite para dispensa de materiais sólidos, de acordo com a Norma CNEN NN 8.01 e os resultados de urânio

e tório obtidos também indicam que se encontram dentro da faixa de concentração de atividade de solos encontrados em Minas Gerais.

7.3. A água do Balneário Fonte São José apresenta nível de radioatividade baixo e, exceto o parâmetro beta total, os demais estão com concentração inferior aos seus respectivos limites de determinação. Os parâmetros físico-químicos analisados mostram uma água alcalina, típica de balneário.

7.4. Os locais de recreação, cachoeira do Bacião no ribeirão Taquari e cascata Antônio Monteiro no rio Verde, escolhidos para averiguar o nível de radioatividade, apresentaram também concentrações baixa de radionuclídeos, inferiores ou próximos de seus limites de determinação.

7.5. Os resultados das amostras coletadas no ribeirão Soberbo indicaram que acréscimo de radioatividade das águas vertidas pelo *site* da UDC/INB, nas águas superficiais, é minimamente significativa.

8. REFERÊNCIAS

- [1] Ministério da Saúde, MS, Portaria Nº 888 de 04/05/2021
- [2] Comissão Nacional de Energia Nuclear, CNEN, Posição Regulatória 3.01/012:2020
- [3] Conselho Nacional do Meio Ambiente, CONAMA, Resolução Nº 357 de 17/03/2005.
- [4] Standard Methods for Examination of Water and Wastewater. Method, 23 Ed., 2017. Method 3030E Nitric Acid Digestion.
- [5] *Ibid*, Method 3125B. Determination of uranium and thorium in waters and wastewaters by mass inductively coupled Plasma mass spectrometry (ICP-MS).
- [6] *Ibid*. Method 3010B. Determination of metals in Waters and wastewaters by inductively coupled plasma optical emission spectrometry (ICP-OES).
- [7] United States Environmental Protection Agency, EPA Method 9310, Gross Alpha and Gross Beta in surface and ground waters, 1986.
- [8] *Ibid*. SW-846 , EPA Method 9320. Determination of radium 228 in water (Also Applied to radium 226), 2014.
- [9] Comissão Nacional de Energia Nuclear, CNEN, Norma CNEN NN 8.01, Gerência de Rejeitos Radioativos de Baixo e Médio Níveis de Radiação, 2014.
- [10] Peixoto, C. M. Determinação dos valores de referência de qualidade de solo para U e Th no Estado de Minas Gerais. Dissertação de Mestrado. Belo Horizonte, CDTN, 2013.

9. ANEXOS

Anexo 1: Monitoramento Radiológico Ambiental de Caldas/MG (SEI 1818086)



Documento assinado eletronicamente por **Henrique Takuji Fukuma, Tecnologista**, em 06/04/2023, às 11:22, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#) e no §1º do art. 7º da Portaria PR/CNEN nº 80, de 28 de dezembro de 2018.



Documento assinado eletronicamente por **Rodrigo Leandro Bonifacio, Pesquisador**, em 10/04/2023, às 09:52, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#) e no §1º do art. 7º da Portaria PR/CNEN nº 80, de 28 de dezembro de 2018.



Documento assinado eletronicamente por **Heber Luiz Caponi Alberti, Pesquisador**, em 11/04/2023, às 08:49, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#) e no §1º do art. 7º da Portaria PR/CNEN nº 80, de 28 de dezembro de 2018.



Documento assinado eletronicamente por **Daniela Villa Flor Montes Rey Silva, Chefe da Seção Técnica**, em 11/04/2023, às 08:53, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#) e no §1º do art. 7º da Portaria PR/CNEN nº 80, de 28 de dezembro de 2018.



Documento assinado eletronicamente por **Antonio Luiz Quinelato, Coordenador(a) do Laboratório de Poços de Caldas**, em 14/04/2023, às



07:47, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#) e no §1º do art. 7º da Portaria PR/CNEN nº 80, de 28 de dezembro de 2018.



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site http://sei.cnen.gov.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0, informando o código verificador **1754105** e o código CRC **26E2FBE4**.

Referência: Processo nº 01346.000502/2021-25

SEI nº 1754105

