



UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
FACULDADE DE CEILÂNDIA
CURSO DE FARMÁCIA

EDUARDO DOS SANTOS BEZERRA

**DETERMINAÇÃO DE METAIS NA ÁGUA DISPONIBILIZADA PARA CONSUMO
HUMANO NO MUNICÍPIO DE GOVERNADOR VALADARES - MG**

BRASÍLIA, DF

2016

EDUARDO DOS SANTOS BEZERRA

**DETERMINAÇÃO DE METAIS NA ÁGUA DISPONIBILIZADA PARA CONSUMO
HUMANO NO MUNICÍPIO DE GOVERNADOR VALADARES - MG**

Monografia de conclusão de curso
apresentada como requisito parcial para
obtenção do título de Bacharel em
Farmácia na Universidade de Brasília,
Faculdade de Ceilândia.

Orientadora: Profa. Dra. Vívian da Silva Santos

BRASÍLIA, DF

2016

EDUARDO DOS SANTOS BEZERRA

**DETERMINAÇÃO DE METAIS NA ÁGUA DISPONIBILIZADA PARA CONSUMO
HUMANO NO MUNICÍPIO DE GOVERNADOR VALADARES - MG**

BANCA EXAMINADORA

Profa. Dra. Vivian da Silva Santos (Universidade de Brasília – Faculdade de
Ceilândia)

Orientadora

Profa. Dra. Eliana Fortes Gris (Universidade de Brasília– Faculdade de Ceilândia)

Prof. Dr. Marcelo Henrique Sousa (Universidade de Brasília – Faculdade de
Ceilândia)

BRASÍLIA, DF

2016

*Dedico este trabalho aos meus pais,
Maria Dilma e José, que sempre me
deram apoio e suporte em cada
dificuldade.*

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus, por me guiar constantemente onde e como eu estiver, me guardando, dando força e sabedoria.

Aos meus pais, Maria Dilma e José Bezerra, por todo o apoio e carinho; por sempre acreditarem nos meus sonhos e projetos, favorecendo, acima de muitas outras coisas, os meus estudos.

À minha irmã, Taís, e meu pequeno tio, Victor, pelo simples fato de existirem na minha vida, pois, por ser um espelho a eles, sinto-me na obrigação de ser a cada dia uma pessoa, um estudante e um profissional melhor.

À minha orientadora, Dra. Vivian, pelo acolhimento, paciência, confiança, disponibilidade e todo conhecimento repassado. E à mestranda Natália, por ter sido praticamente uma coorientadora.

A todos os meus familiares e amigos, como a Ana, Brayan, Tiago, Samuel e Pedro, e em especial à Jaqueline, à Anyelle e ao Alan, amigos que estiveram comigo na maior parte da graduação, compartilharam das mesmas aflições e medos e me proporcionaram alegrias, distrações e motivações para continuar, até mesmo com suas simples companhias.

A todos os meus professores, por cada ensinamento, acadêmico ou de experiência de vida, e em especial ao Dr. Marcelo e à Dra. Eliana, pelo aceite ao convite para banca.

E a todos que acreditaram em mim e de alguma forma contribuíram, direta ou indiretamente, com este trabalho, ofereço os meus sinceros agradecimentos.

RESUMO

BEZERRA, E. S. **Determinação de metais na água disponibilizada para consumo humano no município de Governador Valadares – MG.** 2016. 50f. Monografia. Faculdade de Ceilândia – Universidade de Brasília, Brasília, 2016.

A água é uma substância primordial à vida, possuindo diversas funções no organismo humano, sendo seu principal componente. Por isso, o acesso à água potável é essencial à saúde, um direito humano básico e um componente de políticas eficazes para a proteção da saúde. Em 05 de novembro de 2015 a barragem de rejeitos da mineradora Samarco em Minas Gerais (MG) se rompeu, resultando na contaminação do Rio Doce por estes rejeitos; rio este fonte da água para consumo no município de Governador Valadares – MG. Tendo em vista que estes rejeitos e o próprio solo e sedimentos podem conter elementos potencialmente tóxicos como os metais, determinou-se neste trabalho a concentração de alguns metais na água disponibilizada para consumo em Governador Valadares, através da análise de amostras de água de cinco pontos de coleta, rodoviária, hospital, SAAE, prefeitura e residência, usando o ICP-OES, comparando com legislação específica à potabilidade. Os elementos químicos alumínio, selênio e antimônio estavam elevados, segundo parâmetros da Portaria 2914/2011, em todos os pontos coletados, reprovando a água quanto ao critério de potabilidade. Já o urânio e o níquel estavam claramente elevados apenas na residência. O arsênio, bário, cromo, ferro e manganês estavam dentro do padrão estabelecido, enquanto o cobalto, o ouro e a platina não possuem padrão de potabilidade comparativo. Chumbo não foi detectado pelo método. Ainda, analisando a contribuição do consumo dessa água à ingestão diária dos elementos, descobriu-se que é baixa ou média, excetuando-se selênio e urânio, com contribuições superiores aos valores recomendados ou tolerados.

Palavras-chave: água, potabilidade, metais, Governador Valadares, Rio Doce.

ABSTRACT

BEZERRA, E. S. **Determination of metals in water available for human consumption in Governador Valadares - MG.** 2016. 50f. Monograph. Faculdade de Ceilândia – Universidade de Brasília, Brasília, 2016.

The water it is a primordial substance to life, having a lot of functions at the human body and it is the main component. Therefore, access to potable water it is essential to health, a basic human right and a component of effective health protection politics. At november 5th of 2015 the Samarco tailings ram in Minas Gerais (MG) broke causing contamination of Rio Doce for this; that river are source of drinking water in the city of Governador Valadares – MG. Considering that these tailings and the ground itself and sediment may contain potentially toxic elements as metals, who it was determined the concentration of some metals at drinking water in the city of Governador Valadares through analysis from water samples collected in five points: bus station, hospital, SAAE, city hall and house, using ICP-OES, comparing potability to specific legislation. The chemical elements aluminium, selenium and antimony are high according to parameters of Portaria 2914/2011, in all points collected, about a potability standard, the water was reproaching. Already uranium and nickel they are clearly high just at the house. The arsenium, Barium, chromium, iron and manganese are inside the standard, while cobalt, gold and platinum did not exist potability standard to compare. Lead was not detected by the method. Further analyzing the contribution of each element to daily intake, it is found that low or medium except selenium and uranium, with higher contributions to recommended or tolerated.

Keywords: water, potability, metals, Governador Valadares, Rio Doce.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Rio Doce no município de Baixo Guandu - ES.....	3
Figura 2. Relação dose-resposta individual para uma substância essencial.....	7
Figura 3. (A) Concentração de alumínio na água dos pontos coletados. (B) Concentração de níquel na água dos pontos coletados. (C) Concentração de selênio na água dos pontos coletados. (D) Concentração de urânio na água dos pontos coletados. (E) Concentração de antimônio na água dos pontos coletados.....	28
Figura 4. (A) Concentração de arsênio na água dos pontos coletados. (B) Concentração de bário na água dos pontos coletados. (C) Concentração de crômio na água dos pontos coletados. (D) Concentração de ferro na água dos pontos coletados. (E) Concentração de manganês na água dos pontos coletados.....	35
Figura 5. (A) Concentração de ouro na água dos pontos coletados. (B) Concentração de platina na água dos pontos coletados. (C) Concentração de cobalto na água dos pontos coletados.....	39

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Parâmetros instrumentais..... 25

Tabela 2. Ingestão diária estimada levando em consideração o consumo de dois litros (2L) de água com metais elevados e sua contribuição para o PTDI, TDI e IDR..... 31

Tabela 3. Ingestão diária estimada levando em consideração o consumo de dois litros (2L) de água e sua contribuição para o PTDI, IDM e IDR..... 37

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

Al	alumínio
As	arsênio
Au	ouro
Ba	bário
Co	cobalto
CONAMA	Conselho Nacional do Meio Ambiente
Cr	crômio
DA	Doença de Alzheimer
DNA	Ácido desoxirribonucleico
ES	Espírito Santo
Fe	ferro
GIAIA	Grupo Independente de Avaliação de Impactos Ambientais
IARC	Agência Internacional de Pesquisa do Câncer
Ibama	Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
ICP-OES	espectroscopia de emissão atômica com plasma acoplado indutivamente
IDH	Índice de Desenvolvimento Humano
IDM	ingestão diária máxima
IDR	ingestão diária recomendada
JECFA	Joint FAO/WHO Expert Committee on Food Additives
K	Kelvin
Kg	quilograma
km	quilômetro

L	litro
m	metro
MG	Minas Gerais
mg	miligrama
Mn	manganês
MS	Ministério da Saúde
ND	não detectado
Ni	níquel
nm	nanômetro
Pb	chumbo
PIB	Produto Interno Bruto
Pt	platina
PTDI	valor provisório de ingestão diária tolerável
PTWI	valor provisório de ingestão semanal tolerável
RNA	Ácido ribonucleico
SAAE	Serviço Autônomo de Água e Esgoto
Sb	antimônio
Se	selênio
SNC	Sistema Nervoso Central
TDI	ingestão diária tolerável
TGI	trato gastrointestinal
U	urânio
VMP	valores máximos permitidos
WHO	Organização Mundial da Saúde
X	vezes
Zn	Zinco

LISTA DE SÍMBOLOS

%	porcentagem
° C	graus Celsius
®	marca registrada
±	mais ou menos

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	1
1.1 Contextualização.....	1
1.1.1 Governador Valadares.....	1
1.1.2 Mineração e Samarco.....	1
1.1.3 Bacia do Rio Doce e desastre ambiental.....	2
1.2 Água.....	4
1.3 Metais.....	5
1.3.1 Alumínio.....	7
1.3.2 Antimônio.....	9
1.3.3 Arsênio.....	10
1.3.4 Bário.....	11
1.3.5 Chumbo.....	12
1.3.6 Cobalto.....	13
1.3.7 Crômio.....	14
1.3.8 Ferro.....	15
1.3.9 Manganês.....	16
1.3.10 Níquel.....	17
1.3.11 Ouro.....	18
1.3.12 Platina.....	19
1.3.13 Selênio.....	20
1.3.14 Urânio.....	21
1.4 ICP – OES.....	22
2. JUSTIFICATIVA.....	23
3. OBJETIVOS.....	24
3.1 Gerais.....	24
3.2 Específicos.....	24
4. MATERIAIS E MÉTODOS.....	25
4.1 Coleta, transporte e conservação das amostras.....	25
4.2 Determinação de metais nas amostras.....	25
4.3 Análise dos dados.....	26
4.4 Contribuição do consumo de água nos limites e/ou necessidades de ingestão diárias.....	26

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	28
5.1 Elementos encontrados em concentrações elevadas.....	28
5.1.1 Ingestão diária de alumínio, níquel, selênio, urânio e antimônio e a contribuição para a PTDI, TDI ou IDR.....	31
5.2 Elementos encontrados em concentrações na faixa de normalidade... 34	
5.2.1 Ingestão diária de arsênio, bário, cromo, ferro e manganês e a Contribuição para a PTDI, IDM ou IDR.....	36
5.3 Elementos sem VMP estabelecidos pela Portaria.....	38
5.4 Elementos não detectados.....	40
6. CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	41
7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	42

1 INTRODUÇÃO

1.1 Contextualização

1.1.1 Governador Valadares

Governador Valadares é um município brasileiro situado na região Vale do Rio Doce, localizado no estado de Minas Gerais, região sudeste do Brasil, fundada na década de 30. Possui uma área territorial de 2.342,325 km², com uma população no ano de 2015 estimada em 278.363 habitantes e um Índice de Desenvolvimento Humano (IDH) de 0,727, considerado alto, em relação ao estado. Seu PIB *per capita* é de 16.801,36 reais, sendo o setor terciário, comércio e serviço, seguido pela indústria, sua base econômica. Na saúde, existem cerca de 127 estabelecimentos amparados pelo SUS (IBGE, 2015).

Localiza-se na bacia do rio Doce, sendo este o responsável pelo abastecimento de água da maior parte do município. Segundo o IBGE, em 2010, 99,35% das residências recebiam água tratada para o consumo. O abastecimento de água e a coleta de esgoto são realizados pelo Serviço Autônomo de Água e Esgoto (SAAE). Um dos principais problemas é que a cidade não possui sistemas de tratamento de águas residuais, sendo assim, uma grande parcela é despejada diretamente no rio (PMGV, 2015).

1.1.2 Mineração e Samarco

Tendo em vista que a produção de matéria-prima é a base para toda uma cadeia industrial, seja ela metalúrgica, química, mecânica ou eletrônica, as atividades de mineração são, sem dúvidas, de grande valia para a economia, inclusive gerando inúmeros empregos. O Brasil ocupa uma posição privilegiada mundialmente no que tange às grandes reservas de uma extensa gama de minerais metálicos e não metálicos sobre seu domínio, o que o torna o sexto país mais importante em se tratando de minerais (BARRETO, 2001).

Entretanto, existe uma série de consequências geradas nas regiões onde se implantam esse tipo de atividade e sua vizinhança, tais como a degradação da paisagem, poeiras e gases potencialmente tóxicos e contaminação das águas,

geralmente poluição por lama, muitas vezes contendo elementos químicos com características tóxicas. Para isso, as empresas constroem barragens de rejeitos e de contenção. Em contrapartida, um vazamento ou ruptura dessas pode contaminar o solo e as águas subterrâneas e superficiais (BARRETO, 2001).

A Samarco é uma empresa de mineração fundada em 1997, no Brasil. Possui um capital fechado, controlado igualmente pela BHP Billiton Brasil Ltda. e pela Vale S.A. Exporta seus produtos para outros países da América, Oriente médio, Ásia e Europa. Possui, ainda, concentradores em Minas Gerais, quatro usinas de pelotização no Espírito Santo e escritórios de venda em outros estados e países. É recebedora de diversos prêmios e reconhecimentos na área de mineração (SAMARCO, 2016).

1.1.3 Bacia do Rio Doce e Desastre Ambiental

Bacia hidrográfica pode ser resumidamente definida como uma área em que os escoamentos hídricos superficiais se direcionam a um só ponto, geralmente um rio (SILVEIRA, 2001). A bacia do rio Doce possui uma área de 83.465 km², com 86% pertencente ao estado de Minas Gerais e os 14% restantes, ao estado do Espírito Santo (ES). O rio Piranga, com a nascente na Serra da Mantiqueira, em MG, após receber as águas do rio do Carmo passa a se chamar rio Doce; este, então, banha os estados de MG e ES, onde se encontra sua foz, ponto de desaguamento, o oceano Atlântico, completando um curso de 853 km de comprimento. É de grande importância para estes estados, pois possui usinas hidrelétricas e provê água para abastecimento de municípios (COELHO, 2007).

Em 5 de novembro de 2015 a barragem de rejeitos de Fundão, do complexo minerário de Germano, localizada em Mariana – MG, se rompeu. O rejeito atingiu a barragem de Santarém, causando seu galgamento, e foi seguindo como uma onda de lama através do rio Gualaxo do Norte, alcançando os distritos Bento Rodrigues, Paracatu de Baixo e Barra Longa; desaguando no rio do Carmo, atingiu o rio Doce e alcançou o mar no dia 21 de novembro, em Regência, Município de Linhares – ES, após impactar diretamente 663,2 km de corpos hídricos. Por todo o trajeto, foram comprovadas mortes, desalojamentos, devastação de localidades, interrupção de energia elétrica e abastecimento de água (como em Governador Valadares, onde foi decretado estado de calamidade), além da morte de biodiversidade marinha e

terrestre, principalmente devido à grande quantidade de sedimentos disponíveis na coluna d'água (IBAMA, 2015).



Figura 1. Rio Doce no município de Baixo Guandu - ES. Foto: Ibama.
Fonte: IBAMA, 2015

A barragem liberou cerca de 34 milhões de m³ de rejeitos de mineração de ferro no meio ambiente, composta por óxido de ferro e sílica, basicamente (IBAMA, 2015). Cabe ressaltar, também, que a região de Mariana tem forte presença de garimpo de ouro, que, mesmo desativadas, essas atividades ainda são observadas no rio do Carmo; e as associações minerais presentes nos depósitos explorados de ouro ou ferro são ricas em metais traços com alto potencial tóxico, podendo, assim, dependendo dos minérios e estéreis envolvidos, elevar as concentrações de diversos metais, como Ni, Cr, Co, As e Pb (IBAMA, 2015; COSTA, 2001). Ainda que estudos e laudos tragam que a presença dos metais não esteja diretamente relacionada com a lama de rejeitos da barragem rompida, deve-se considerar que a força da lama possivelmente revolveu tais substâncias dos sedimentos do fundo dos cursos d'água envolvidos, colocando-os em suspensão e tornando estes metais biodisponíveis na coluna d'água ou na própria lama percorrida por todo o trajeto (IBAMA, 2015).

Como a mineradora Samarco é responsável pelo ocorrido e pela recuperação da área, esta contratou, logo de início, empresas para realizarem coletas de amostras em matrizes ambientais para caracterizar o rejeito e monitorar os parâmetros de água, conforme a Portaria 2.914/11 do MS e as Resoluções Conama

357/05 e 420/09, sendo acompanhadas pelo Ibama. Os metais alumínio, bário, cálcio, chumbo, cobalto, cobre, crômio, estanho, ferro, magnésio, manganês, níquel, potássio e sódio apontaram alterações em seus parâmetros, segundo a Resolução Conama 357/2005 (IBAMA, 2015). O Grupo Independente de Avaliação de Impactos Ambientais (GIAIA) também obteve em suas análises preliminares elevadas concentrações de metais quando comparados com a legislação vigente, onde os metais mais preocupantes foram: arsênio, manganês, chumbo e ferro total.

1.2 Água

A água é primordial para a vida, indispensável aos seres humanos e aos demais seres vivos (SCURACCHIO; FARACHE, 2011). É a substância mais abundante do planeta e possui diversas funções no organismo, como regulação da temperatura corporal; participa e possibilita reações químicas e metabólicas; por ser o principal constituinte do sangue (cerca de 90%) favorece a remoção de resíduos e o transporte de oxigênio e nutrientes para as células. Auxilia na dissolução de minerais e outras substâncias para torná-los acessíveis ao corpo; melhora o funcionamento do sistema digestório; umedece os tecidos da boca, nariz e olhos; e protege mecanicamente órgãos, tecidos e articulações (NELSON; COX, 2002; HANSLMEIER, 2011). Por isso, é ingerida pelos seres humanos em quantidade maior do que qualquer outro alimento, variando em cerca de dois litros por dia. Além disso, é imprescindível para sua higiene (TOMINAGA; MIDIO, 1999; FREITAS et al., 2002).

Esta extensa relação do homem com a água explica a importância de serem asseguradas suas adequadas características físico-químicas e microbiológicas. Para tanto, a água distribuída para o consumo humano exige a potabilidade, obtida por tratamento que objetiva remover contaminantes e evitar o surgimento de novas contaminações, sejam elas de origem química, física ou biológica (TOMINAGA; MIDIO, 1999). O tratamento convencional inclui basicamente as seguintes etapas: coagulação, floculação, decantação, filtração, desinfecção e fluoretação. Entretanto, esse tratamento utiliza produtos químicos que podem permanecer como resíduos na água final, podendo ser prejudicial ao consumidor (FREITAS et al., 2002).

O acesso à água potável segura é essencial à saúde, um direito humano básico e um componente de políticas eficazes para a proteção da saúde. Ela deve

ser de boa qualidade a fim de se garantir a manutenção da vida adequadamente, pois, apesar de sua necessidade absoluta, pode transportar muitas doenças, dentre elas, as responsabilizadas por produtos químicos, que ocorrem quando um indivíduo consome água contendo quantidade prejudicial de uma substância tóxica. Portanto, o acesso seguro é importante como uma questão de saúde e de desenvolvimento. Em algumas regiões, tem sido demonstrado que os investimentos no abastecimento de água e saneamento podem render um benefício econômico líquido, uma vez que os gastos com efeitos adversos à saúde e os custos de cuidados de saúde superam os com a realização das intervenções (WHO, 2006).

No Brasil, o padrão de potabilidade é expresso na Portaria do Ministério da Saúde nº 2.914/2011, que estabelece as normas, responsabilidades e procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano, e dispõe, dentre outros parâmetros, sobre valores máximos permitidos (VMP) para elementos químicos em água potável.

A qualidade da água sofre influência do ambiente ao qual está exposta, estando sujeita a alterações pelos vários tipos de processos naturais e hidrológicos. Certos eventos naturais podem reduzir a qualidade, como deslizamentos de terra, que aumentam o conteúdo de material em suspensão nos rios afetados; salinização das águas superficiais através da vaporização; alto teor de sal em algumas águas subterrâneas; outras são naturalmente ricas em carbonatos, aumentando a dureza; algumas localidades contêm normalmente íons como o fluoreto e elementos tóxicos (WHO, 1996). Entretanto, as ações humanas são as principais causas de alterações. Devido à atividade antrópica, os reservatórios naturais de água vêm sofrendo como depositários de uma variedade de subprodutos, dentre eles, elementos potencialmente tóxicos, como metais, podendo ser responsáveis por efeitos adversos sobre o ambiente, que repercutem na economia e na saúde pública (PINTO et al, 2009; YABE; OLIVEIRA, 1998).

1.3 Metais

Os metais provavelmente são os agentes potencialmente tóxicos mais antigos conhecidos pelo homem. São encontrados naturalmente em toda a crosta terrestre, no solo, sistemas aquáticos e até nos alimentos, sendo, assim, a ingestão de água e alimentos a principal via de exposição a estes agentes tóxicos, e o aumento de suas

concentrações pode ocorrer tanto em razão de processos naturais - decomposição de rochas e a lixiviação no perfil do solo, ressuspensão de sedimentos, erupções vulcânicas e deposição atmosférica - quanto por ações antropogênicas, principalmente associadas a atividades de mineração e fundição, industriais (como uso na microeletrônica, e queima de carvão e petróleo) e utilização de produtos domésticos e agrícolas que contenham metais (UNEP; WHO, 1996). Metais não são biodegradáveis, de modo que podem vir a se acumular no solo, sedimento e água; estes de diversas formas e vias podem expor organismos vivos a concentrações inapropriadas, gerando sinais e sintomas de intoxicação (PASSAGLI, 2009; HE; YANG; STOFFELLA, 2005).

É sabido que alguns metais, a exemplo, cobalto (Co), cromo (Cr), ferro (Fe), manganês (Mn), níquel (Ni) e selênio (Se) realizam funções bioquímicas e fisiológicas em plantas e animais, tornando-se, assim, nutrientes essenciais, podendo ser constituintes importantes de diversas enzimas e desempenhar papéis relevantes em reações de oxirredução. O fornecimento de forma inapropriada de qualquer um destes micronutrientes pode resultar numa variedade de doenças e síndromes (WHO, 1996). Já metais como o alumínio (Al), antimônio (Sb), arsênio (As), bário (Ba), chumbo (Pb), ouro (Au), platina (Pt) e urânio (U) não exercem funções biológicas determinadas, sendo, portanto, considerados metais não-essenciais ou potencialmente tóxicos (CHANG; MAGOS; SUZUKI, 1996).

No entanto, embora muitos metais sejam essenciais para o desenvolvimento de todos os tipos de organismos, desde as bactérias até os seres humanos, estes são necessários em baixas concentrações, com o risco de danificar sistemas biológicos, se em concentrações elevadas (PASSAGLI, 2009). Ou seja, assim como o cobre, elemento dito essencial, vários outros ainda que necessários ao funcionamento biológico, se em quantidade excedente, produzem danos celulares e teciduais, levando a efeitos adversos e doenças. Alguns como o cromo e o cobre possuem uma faixa muito estreita para concentrações seguras em que há efeitos benéficos, significando que pequenos incrementos de cromo na dieta ou outras vias podem desencadear efeitos tóxicos (CHANG; MAGOS, SUZUKI, 1996).

Esses pontos podem ser explicados pela curva dose-resposta de elementos essenciais, importante na avaliação da toxicidade (Figura 1). Esta demonstra que tais substâncias quando em doses muito baixas no organismo, geram indivíduos deficientes, sendo que estes efeitos adversos de elevado nível diminuem com o

aumento da dose, até chegar à homeostase, segura e adequada, que, geralmente, é uma faixa ampla, por isso, tanto a carência quanto a toxicidade não são tão frequentes. Da mesma forma, caso a dose seja aumentada acima do limite, efeitos adversos (normalmente diferentes dos ocasionados pela carência), surgem, de gravidade proporcional ao aumento da dose (KLAASSEN; WATKINS, 2012).

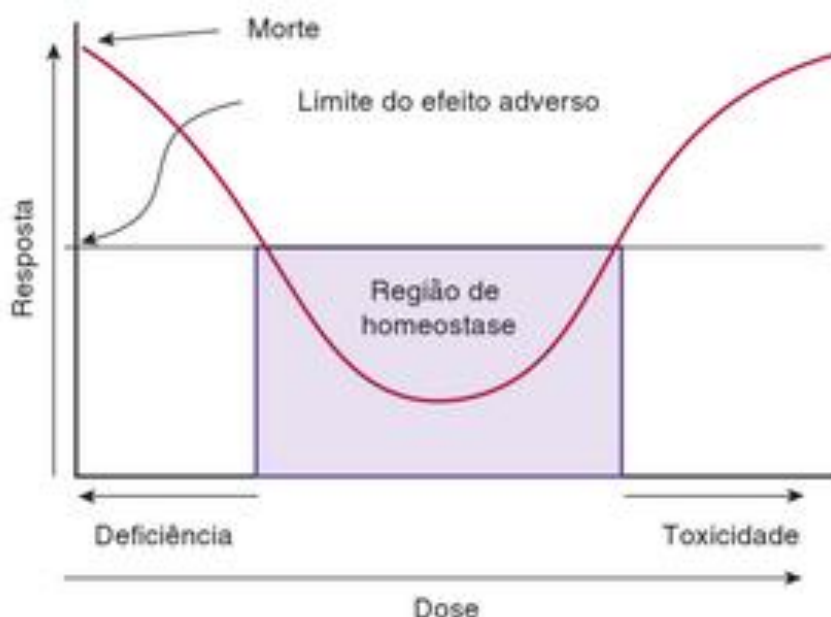


Figura 2. Relação dose-resposta individual para uma substância essencial. Fonte: KLAASSEN; WATKINS (2012).

Cada metal é conhecido por suas características únicas e pelas propriedades físico-químicas que lhes conferem mecanismos de ação toxicológicos específicos (TCHOUNWOU et al., 2014).

1.3.1 Alumínio

O alumínio (Al) é bastante tóxico para o sistema nervoso e está presente em quantidades muito pequenas nos vegetais e animais. É um elemento químico que devido à sua alta reatividade não é encontrado na forma livre, mas na forma de combinações estáveis com outros elementos, como óxidos e silicatos. É o metal mais comum na crosta terrestre, cerca de 8%, sendo encontrado no solo, nas rochas, na argila e numa variedade de minerais, como os feldspatos e o granito. As principais fontes de exposição ao alumínio são os alimentos, a água, medicamentos

- como os antiácidos e alguns analgésicos - e o ar. Outra importante forma de exposição é pelo contato direto da pele com o metal presente no solo, água e antitranspirantes (DEVECCHI et al., 2006; PASSAGLI, 2009).

O alumínio é obtido principalmente pela mineração da bauxita, que possui de 35 a 55 % de óxido de alumínio, de onde se retira a alumina, que, após sofrer processo de refinação e redução, é transformada em alumínio livre. Durante esse processo de obtenção, um resíduo insolúvel chamado pela indústria de refino da alumina de “lama vermelha” é formado. Sua composição varia bastante, mas geralmente contém todo o ferro, titânio e sílica da bauxita, além de todo o alumínio não extraído durante o refino, sob a forma de silicato hidratado de alumínio e sódio (REESE; CUNDIFF, 1955; SILVA FILHO; ALVES; DA MOTTA, 2007).

A contaminação com o alumínio tem se tornado mais elevada, configurando-se de grande relevância, uma vez que é um metal abundante no ambiente e de variado uso. Estatisticamente, os números têm sido maiores que a contaminação por chumbo, inclusive (PASSAGLI, 2009). Diversos trabalhos asseguram que ele tende a se concentrar no cérebro de indivíduos expostos, mais especificamente junto à glia e aos axônios, o que prejudica a transmissão nervosa cerebral, levando a eventos gastrointestinais diversos, dor aguda abdominal, e problemas na pele (PASSAGLI, 2009; AREMU; MESHITSUKA, 2006).

O alumínio representa cerca de 30-50 mg do peso corporal de indivíduos saudáveis, podendo ser encontrado em todos tecidos do corpo humano. A maior parte deste total encontra-se no esqueleto (50 %), seguida pelos pulmões (25 %) e menores quantidades em outros órgãos. A toxicocinética do alumínio traz que, após a absorção, o metal presente na corrente sanguínea é eliminado pelos rins e então excretado através da urina. Já o alumínio não absorvido é excretado diretamente nas fezes (PASSAGLI, 2009).

Não é conhecido nenhum efeito benéfico do alumínio no organismo. Entretanto, existem evidências de que cause seborreia com queda de cabelo, irritabilidade, deslocamento de cálcio e magnésio dos ossos, podendo causar osteoporose; esclerose cerebral; pode alterar estruturas celulares e enzimáticas, substituir metais cofatores enzimáticos, formar espécies reativas de oxigênio, e, devido ao acúmulo no sistema nervoso central, iniciar processos degenerativos, como a doença de Alzheimer, uma esclerose cerebral (DEVECCHI et al., 2006). A associação da contaminação por alumínio com a doença de Alzheimer foi firmada

por diversos estudos que demonstraram uma correlação entre a concentração do alumínio na água e a incidência da doença (PASSAGLI, 2009; AREMU; MESHITSUKA, 2006; PASCALICCHIO, 2002; FERREIRA et al., 2008; RONDEAU et al., 2000).

1.3.2 Antimônio

O antimônio (Sb) é um elemento pouco presente na natureza, mais encontrado como constituinte de diversos minerais. É amplamente utilizado como agente de dureza para fusão de metais leves e quando o chumbo é o principal componente; fabricação de placas para baterias; como agente retardante de combustão em borrachas, plásticos, tubulações, têxteis, tintas, vidros e cerâmicas; agente tingidor; e em explosivos e projéteis de armas de fogo. Além disso, o antimônio penta valente é usado em fármacos antiparasitários, especialmente para leishmaniose, sendo esta uma das formas de exposição. Entretanto, a exposição mais relevante se dá por meios industriais, inalação da fumaça e poeira do Sb, em locais de mineração e refinamento de minérios, manufatura de vidros e descarte de armas de fogo (DIAZ, 2015; OLSON, 2013).

É um elemento tóxico, mas ainda não se sabe ao certo por qual mecanismo, embora se acredite que seja por ações semelhantes às causadas pelo arsênio. Compostos antimoniais possivelmente agem se ligando a grupos sulfidríla, promovendo um estresse oxidativo aumentado, além de inativar enzimas fundamentais ao metabolismo. Também é corrosivo para as membranas do TGI e irritante, quando em gás (OLSON, 2013).

A intoxicação aguda por Sb está associada a náuseas e vômitos, gastrite hemorrágica e diarreia, correndo o risco de ocorrer hepatite e insuficiência renal. Sobrevivendo à gastroenterite, a morte é rara. Arritmias cardíacas, crise aplástica e artralgias têm sido associadas com o uso dos antiparasitários, principalmente. Em uma intoxicação por exposição crônica, a mais frequente, pode surgir dores de cabeça, anorexia, pneumoconiose e sintomas de enfisema (antimoniose), úlceras pépticas e dermatites (NORDBERG et al., 2007; OLSON, 2013). A Agência Internacional de Pesquisa do Câncer (IARC) considera como inconclusivos os presentes estudos em relação à sua carcinogenicidade, até mesmo por ser difícil de avaliar, pois o metal está constantemente associado a metais como chumbo e

arsênio. Mas ainda assim alguns compostos são tidos como potencialmente carcinogênicos, como o trióxido de antimônio (IARC, 1998; DIAZ, 2015).

1.3.3 Arsênio

O arsênio (As) é um elemento tóxico encontrado na atmosfera, na água, solo e sedimentos e até nos organismos (FARIAS et al., 2012). É liberado no meio ambiente de forma natural, especialmente por erupções vulcânicas e volatilização. As ações antropogênicas são de grande relevância, pois a fundição de metais, exploração de minerais, tratamento de madeiras para preservá-las, produtos agrícolas (herbicidas), processo de produção de vidro, produtos farmacêuticos e queima de combustíveis fósseis são os principais processos que levam à contaminação do ar, solo e água (WHO, 1981). As fontes de exposição ao As são pelo ar, fumaças e poeiras industriais, produtos agropecuários e agrícolas e, principalmente, pela ingestão de águas contaminadas e alimentos como frutos do mar, grãos e cereais (ASTR, 2005).

O As é bem absorvido após ingestão ou inalação, e após isso, exerce sua toxicidade por múltiplos mecanismos, podendo inibir enzimas vitais para o metabolismo celular, induzir estresse oxidativo, alterar o mecanismo de metilação do DNA e sua reparação, modificando a expressão gênica e a transdução do sinal celular, irritar a pele e membranas mucosas e acumular-se em unhas, pelos e cabelos (OLSON, 2013).

A intoxicação aguda é mais comum por ingestão acidental ou na tentativa de suicídio, surgindo os sinais e sintomas já nos primeiros minutos: náuseas e vômitos, gastroenterite hemorrágica e diarreia líquida. Em casos mais graves, surgem efeitos cardiovasculares, hipotensão, taquicardia, arritmia, choque e morte. Pode ocorrer letargia, agitação ou *delirium* e convulsões. Na intoxicação crônica inclui-se fadiga, gastroenterite, leucopenia e anemia, neuropatia periférica, lesões hepáticas, insuficiência vascular periférica, lesões cutâneas e queda de cabelo. É carcinogênico, e a inalação crônica aumenta o risco de câncer de pulmão; já a ingestão, representa causa de câncer de pulmão, bexiga e pele, como carcinoma da célula basal e de célula escamosa. Além disso, afeta o desenvolvimento do feto (OLSON, 2013; ASTR, 2005).

1.3.4 Bário

O bário (Ba) é um elemento traço presente em rochas ígneas e sedimentares, podendo contaminar as águas por fontes naturais, a exemplo de intemperismo e erosão do solo e rochas (CETESB, 2007; WHO, 2004). Pode se difundir no ar e outros meios devido aos processos de mineração e refinamento, queima de carvão e gás e na produção dos próprios compostos de bário (OLSON, 2013). É encontrado em combinação com outros elementos, geralmente como sulfato de bário e carbonato de bário, sendo raro estar na forma livre. Os compostos de Ba são utilizados nas indústrias de plásticos, borracha, têxteis, produtos eletrônicos, vernizes cerâmicos, produção de fogos de artifício, vidro, tijolo e papel, aditivo lubrificante, produtos farmacêuticos, raticidas e cremes depilatórios, endurecimento do aço e indústrias de gás e petróleo como umectante para perfurar o solo (CETESB, 2007; WHO, 2004; OLSON, 2013).

Com exceção do sulfato de bário, que não é solúvel em água, sendo pouco absorvido, os sais de bário (acetato, carbonato, fluoreto, nitrato e hidróxido) são bastante tóxicos e rapidamente absorvidos pela mucosa digestiva. O principal mecanismo de toxicidade sistêmica do Ba é caracterizado por hipopotassemia profunda, por ser um bloqueador competitivo dos canais deste metal, não permitindo que saia da célula. Também pode agir nos músculos esqueléticos e na transmissão neuromuscular. Além disso, favorece a secreção de ácido e histamina e o peristaltismo, no TGI, e se armazena de forma irreversível nos ossos (OLSON, 2013).

As intoxicações por bário são raras, resultando na maioria das vezes de contaminação alimentar acidental, suicídio ou inalação ocupacional. Quando ocorrem, os sinais e sintomas podem aparecer já nos primeiros minutos após a exposição, incluindo vômitos, diarreia aquosa severa, cólicas abdominais, salivação e fraqueza. Devido à hipopotassemia profunda, podem-se ocasionar paradas respiratória e cardíaca. Também, paralisia dos membros e músculos respiratórios com arreflexia; hipofosfatemia; acometimento visual; convulsões; rabdomiólise e insuficiência renal aguda; e depressão do SNC, embora o indivíduo permaneça consciente, mesmo se estiver grave. Sais de bário inalados podem, ainda, causar baritose, um tipo de pneumoconiose benigna (OLSON, 2013; WHO, 2004).

1.3.5 Chumbo

O chumbo (Pb) é um metal tóxico bastante encontrado na natureza, tanto na forma livre quanto associado a outros elementos, minérios, como a galena e a anglesita, sendo o metal não ferroso mais utilizado na indústria. As fontes naturais são o intemperismo e as emissões vulcânicas e provenientes do mar. Entretanto, as fontes antrópicas são as de maior interesse quanto à entrada de Pb no meio ambiente, podendo estar presente no solo, nos alimentos, na água e no ar (QUITÉRIO et al, 2001). O Pb é obtido pela fundição e refinamento de minerais e ligas naturais, e pela própria reciclagem, sendo utilizado na produção de baterias, ligas, munições, plásticos, vidro, em soldas, revestimentos de cabos, proteção radioativa, em esmaltes e tintas (resistentes à corrosão), na inibição de ferrugem, em gasolina (como antidetonante), também é largamente utilizado em tubulações de água mais antigas. Sendo assim, os indivíduos podem se expor em processos de renovação de imóveis, demolição, corrosão de encanamentos, ingestão e inalação de poeiras advindas do quintal, locais de reciclagem e pelas tintas das paredes (OLSON 2013; QUINN; SHERLOCK, 1990).

Quando inalado, tem absorção pulmonar rápida e extensa, muito relevante na indústria. Na ingestão, a absorção em crianças é maior que em adultos, até 50% e 15%, respectivamente. Sendo sempre bem distribuído, inclusive ultrapassando a placenta e barreira hematoencefálica. Quase que a totalidade do Pb no organismo se localiza nos ossos, podendo se mobilizar após um tempo, aumentando os níveis séricos. Os mecanismos de toxicidade são diversos, entre eles: inativação e alteração de macromoléculas, como enzimas, por se ligar a radicais carboxila, fosfato e sulfidril; e interação e mimetismo com os elementos essenciais cálcio, ferro e zinco, afetando vários sistemas, pois alteram membranas e estado redox celulares, a síntese e função de neurotransmissores e do heme (OLSON, 2013).

A intoxicação por Pb pode apresentar tanto achados clínicos fatais quando efeitos subclínicos súbitos. Uma exposição aguda pode provocar dor abdominal, anemia hemolítica, hepatite e encefalopatia. Já a intoxicação por exposição subaguda ou crônica, que é a mais comum, leva a efeitos como fadiga, irritabilidade, insônia, anorexia e perda de peso, redução da libido, dores ósseas e musculares, de cabeça, cólicas abdominais, constipação ou diarreia, problemas na concentração (com diminuição da inteligência, em crianças), delirium, letargia, convulsões e coma,

comprometimento audiovisual, crescimento reduzido, hipertensão arterial, neuropatia motora periférica, efeitos hematológicos e nefrotóxicos e problemas reprodutivos (OLSON, 2013; QUINN; SHERLOCK, 1990).

1.3.6 Cobalto

O cobalto (Co) é um elemento essencial para os humanos, em doses adequadas. É relativamente raro, encontrado geralmente nos minérios cobaltita, linneita, esmaltitaeritrita. Possui alguns isótopos radioativos, podendo liberar radiação ionizante. Está presente no solo, rochas, água, plantas e animais, sendo os vulcões e incêndios florestais fontes naturais para a disseminação no ambiente, enquanto que a queima de petróleo, gás natural e carvão mineral, mineração e fundição de minérios com o Co e a indústria são fontes antropogênicas. A dieta representa a principal fonte para os humanos, em carnes, ervilha, leite e ovos (WHO, 2006). Sua utilização industrial, ocasionando uma exposição ocupacional, se dá na produção de ligas metálicas, catalisadores (indústrias químicas e de óleos), pigmentos (vidros e cerâmicas), agentes secantes (tintas e vernizes), além de substituir o rádio na terapia contra alguns cânceres (ALVES; ROSA, 2003).

A inalação de Co resulta na deposição no trato respiratório podendo ser absorvido ou deglutido, onde a metade do elemento é absorvida, sendo aumentada caso o indivíduo esteja com deficiência de ferro; armazenando-se no fígado. O Co é essencial por ser um componente da vitamina B12, a cobalamina, coenzima necessária para o metabolismo energético, para o sistema nervoso e gastrointestinal, sangue (tratamento da anemia, papel importante na eritropoiese), absorção do cálcio e síntese proteica; assim, uma deficiência de cobalto pode levar à anemia, fraqueza, retardo do crescimento e lesões no SNC (WHO, 2006).

Entretanto, como toda substância, em excesso se torna tóxico, independente de ser essencial. Os mecanismos de sua toxicidade passam por processos metabólicos, órgãos e glândulas, dentre eles: pode substituir o zinco em enzimas Zn-dependentes, inclusive provocando deficiência deste; alterar o metabolismo de carboidratos, diminuindo a utilização da glicose; inativar enzimas oxido-redutivas; inibir a tirosina iodinase, diminuindo a captação de iodo pela tireoide, comprometendo o metabolismo tireoidiano; e provocar hiperglicemia, por danos nas células alfa do pâncreas. Tende a ocasionar também danos renais, hepáticos e no

sistema cardíaco, com cardiomiopatia e anormalidades funcionais; irritação respiratória, asma ocupacional e fibrose pulmonar; como a via dérmica possui grande importância ocupacional, apresenta-se dermatites, com eczema e urticária; e a IARC classifica o cobalto como possível cancerígeno para o ser humano (ALVES; ROSA, 2003; TSALEV; ZAPRIANOV, 1983).

1.3.7 Crômio

O crômio (Cr) é um metal amplamente distribuído na crosta terrestre, possuindo diversos estados de oxidação, sendo o Cr (III) e o Cr (VI) os mais relevantes, mais estáveis. É encontrado nas rochas, solo, bastante ligado a outros elementos, por não ser encontrado na forma livre, e com o ferro e o chumbo, formando os minerais cromita e crocoíta. O Cr (III) é quem predomina no solo, a presença do Cr (VI) neste local é resultado de atividades humanas; ambos podem estar presentes também em águas - a proporção varia-, e no ar, como aerossóis (WHO, 2003). A disseminação ambiental se dá por fontes naturais, incêndios florestais e vulcões, e ações humanas, pois, devido à sua dureza, resistência ao atrito, desgaste e corrosão, é utilizado na produção de ligas metálicas, revestimento de objetos, catalisador, pigmentos e fixadores de cor na produção de vidro, cerâmica, têxteis, curtimento de couro, fungicida e fotografia (ATSDR, 2000; WHO, 2003).

Em uma exposição oral, pouco crômio é absorvido. Após isso, distribui-se pelo organismo conforme o estado de oxidação, sendo que o Cr (VI) ultrapassa melhor as membranas celulares. Na célula, o Cr (VI) é reduzido a Cr (III), ligando-se a macromoléculas, e formando radicais livres. Podem se armazenar no fígado, rins, pulmões e gânglios linfáticos. O Cr (VI) também é absorvido melhor pela pele (WHO, 2003; ATSDR, 2000). O Cr (III) em pequenas dosagens tem demonstrado importância na saúde, especialmente no metabolismo energético, agindo na diminuição da glicemia e intolerância à glicose, por mecanismo ainda não comprovado, possivelmente facilitando a ligação da insulina aos seus receptores celulares. A deficiência severa pode causar hiperglicemia, hipercolesterolemia e disfunção da fertilidade (ATSDR, 2000).

O Cr trivalente em concentrações elevadas é tóxico, mas o hexavalente é reconhecidamente mais tóxico. Os principais sinais e sintomas da toxicidade por

crômio são ulcerações e irritação do trato respiratório; efeitos cardiovasculares, no TGI, hematológicos, fígado e rins, além de reações oculares, nas mucosas e cutâneas, como ulcerações nas mãos. Suas ocorrências dependem da via de exposição. Quanto à carcinogenicidade, o Cr (VI) é de grande relevância, especialmente associado ao câncer de pulmão (ATSDR, 2000).

1.3.8 Ferro

O ferro (Fe) é um elemento essencial à vida. O segundo metal mais abundante na crosta terrestre é encontrado naturalmente nas suas formas oxidadas Fe (II) e Fe (III), ligado a outros elementos, formando minérios variados com o oxigênio e enxofre, por exemplo, sendo raro na forma elementar (WHO, 2003). Está presente, mesmo que traços, em quase todas as rochas e solo. As fontes naturais de contaminação ambiental são desgastes do solo e rochas e meteoritos; dentre as antropogênicas, inclui-se o uso industrial, mineração, efluentes e fertilizantes na agricultura. As principais fontes de ferro na dieta são tanto de origem animal quanto vegetal, cita-se a carne vermelha, fígado, soja, feijão e cacau. É utilizado para fabricação de materiais de construção, em ligas metálicas, canos para água potável, fabricação do aço, agente coagulante no tratamento da água, mineração e fundição, pigmentos em tintas e plásticos, corantes alimentares e medicamentos para deficiência de ferro (WHO, 2003; HSDB, 2000).

Quando em uma exposição por via oral, o Fe é mais bem absorvido no duodeno e jejuno. A absorção depende do estado de oxidação do ferro: Fe (II) é melhor absorvido que o Fe (III); na dieta, o primeiro é o encontrado nos alimentos de origem animal, enquanto o segundo, vegetal. É regulada de modo que quantidades excessivas de ferro não sejam armazenadas no organismo, e pessoas em estado de carência têm ela aumentada. O Fe fica armazenado no organismo como ferritina e hemossiderina, no baço, medula óssea, fígado e músculo estriado. Está presente na parte heme da hemoglobina (responsável pelo transporte de oxigênio), mioglobina e inúmeras enzimas, como o citocromo, catalases e peroxidases, sendo, portanto, de grande importância para o organismo. A deficiência pode causar anemia hipocrômica e microcítica, e disfunções no sistema imunológico e no metabolismo muscular (WHO, 2003; GANONG, 1993).

O excesso de Fe é prejudicial, tornando-se tóxico. Tende a ocasionar irritação do TGI, podendo chegar à necrose hemorrágica e descamação da mucosa; hemossiderose e hemocromatose (ocasionada por doença genética que se caracteriza por um aumento da absorção do ferro, por doenças que requerem transfusões sanguíneas frequentes, como anemia, e excesso na dieta), que aumenta a chance de cirrose hepática, carcinoma hepático, atrofia das gônadas, além do característico pigmento bronzeado da pele e sintomas de diabetes; e morte (WHO, 2003; GANONG, 1993).

1.3.9 Manganês

O manganês (Mn) é encontrado naturalmente no ar, solo, água e alimentos (grãos, feijão, nozes e chá), sendo essencial para o ser humano, em pequenas quantidades. Os óxidos, carbonatos e silicatos são os mais abundantes na natureza, pois está sempre ligado a outros metais, praticamente nunca na forma pura. Dissemina-se no ambiente através da erosão do solo e emissões vulcânicas, bem como pelas ações humanas, descarte de produtos contendo o Mn, queima de combustível, mineração e práticas industriais em geral. É utilizado na fabricação de ligas não ferrosas e aço, fósforos de segurança, pilhas secas, fogos de artifício, esmalte e tinta, aditivo em gasolina, fertilizantes, fungicidas, eletrodos para solda, catalisadores, vidros e cerâmicas, materiais elétricos e produtos farmacêuticos (PASSAGLI, 2009; ATSDR, 2000).

O trato respiratório é a principal via de introdução e absorção do Mn, pelos fumos e poeiras. A injeção IV, por nutrição parenteral ou uso de permanganato de potássio, também libera esse agente tóxico, e é pouco absorvido pelo TGI. O mecanismo preciso de toxicidade é desconhecido, mas se observa que o SNC é o alvo, especialmente os gânglios da base (OLSON, 2013). É um metal importante para o corpo humano, pois ativa muitas enzimas metabólicas, é componente de metaloenzimas, regula a glicemia e o metabolismo de proteínas e gorduras, e possui função protetora contra o estresse oxidativo. A deficiência, então, pode causar problemas metabólicos, hormonais e no crescimento (MICHALKE, 2004).

Quando em excesso, pode ser tóxico para diferentes sistemas orgânicos, especialmente no SNC. A intoxicação aguda por alta dose pode gerar pneumonite do tipo irritante, mas é raro. Intoxicações crônicas são as mais frequentes. De início,

os indivíduos apresentam comportamentos compulsivos, insônia, dificuldades de memória e atenção, anorexia, salivação; seguido por um período psicótico de até três meses, com alucinações e delírios, além de aumento do comportamento compulsivo, estes são mais frequentes em trabalhadores mineiros, sendo denominado de manganismo ou loucura mangânica. Em estado mais avançado, ocorre perda de expressão facial, rigidez, problemas no discurso, tremores, distonia, falhas nos reflexos e hipertonia muscular (PASSAGLI, 2009; OLSON, 2013).

1.3.10 Níquel

O níquel (Ni) é um metal abundante, geralmente combinado com ferro, cobre, cromo e zinco, formando ligas, mas também com outros elementos, como o oxigênio e o enxofre, sendo encontrado em todo o solo, inclusive no fundo do oceano, plantas e animais. Ocorre devido a emissões vulcânicas, estando presente também em meteoritos. Pode ser liberado para o ambiente pelas indústrias, na fabricação de ligas e liberação de compostos, queima de plantas, combustíveis e lixo. As fontes de níquel na dieta são a água, peixes, o chocolate, feijão, nozes, ervilhas e cereais. As ligas de níquel são utilizadas para fabricar moedas, joias e bijuterias, válvulas, aço inoxidável, eletrônicos, equipamentos militares e aeroespaciais; enquanto outros compostos para fabricação de pilhas, baterias e catalisadores. Tem uso na odontologia (ATSDR, 2005).

Quando inalado, 20-35% do níquel é absorvido, enquanto numa exposição oral tem sido mostrado que varia entre 3 a 40%, dependendo se o níquel estava em água potável ou em alimentos, sendo maior no primeiro; quando em jejum, absorvem mais ainda. Acredita-se que pode se acumular nos pulmões, epídimo e na pituitária. Pouco se sabe também sobre os mecanismos tóxicos, embora se ligue a receptores de íons em várias regiões do organismo, e leva ao surgimento de espécies reativas de oxigênio em órgãos alvos. Contudo, o Ni é um elemento essencial, embora não se conheça claramente todas as razões, mas faz parte de enzimas oxidoredutases e hidrolases e possivelmente estabiliza a estrutura do RNA. A deficiência pode causar problemas no fígado, no crescimento, na reprodução, na concentração de hemoglobina, no metabolismo oxidativo e da glicose (ATSDR, 2005; GONZALEZ, 2016).

A intoxicação pode manifestar alergia, causar dermatites, irritação e hipersensibilidade, incluindo de contato (comum em uso de joalherias), inflamação pulmonar, necrose hepática; parada cardíaca; alterações gastrointestinais; problemas endócrinos e nas gônadas, afetando a reprodução; é considerado carcinogênico, especialmente por levar ao surgimento de carcinomas nasal e pulmonar (ATSDR, 2005).

1.3.11 Ouro

O ouro (Au) é um metal nobre que pode ser encontrado puro, na forma de pepitas, mas principalmente incluído em alguns minerais, como o quartzo e pirita, presente em rochas ígneas, aluviões, mares e oceanos. É extraído como subproduto de vários minérios. O Au é utilizado na confecção de joias e decorações (até mesmo de alimentos); como reserva de valor; na indústria e na eletrônica, devido à boa condutividade elétrica e estabilidade química resistente à oxidação e sulfatação; produção de tintas e catalisador; além de usado como amalgama para obturações dentárias, medicamentos e suplementos, fios para cirurgia e produção de próteses, por ser maleável e anticorrosivo (FFUP, 2006; MERCHANT, 1998).

Os sais de Au são pouco absorvidos pelo TGI, porém, caso se complexem com grupamentos tiol, podem aumentar sua absorção, inclusive pela pele e mucosa oral. É distribuído abundantemente pelos tecidos, sendo eliminado pelas fezes e urina. Embora não seja essencial aos humanos, pode ser empregado, de forma eficaz, em diversos tratamentos, como a utilização de nanopartículas para diminuir a ansiedade, o cansaço, stress, dores e recuperar a memória, mas especialmente nacrissoterapia (ou auroterapia), que se baseia na acumulação lenta de ouro no organismo, e, após um tempo, isso leva à redução da inflamação, sendo, portanto, utilizado como modificador na artrite reumatoide, psoríase e juvenil, doenças intestinais e lúpus eritematoso. Os mecanismos anti-inflamatórios certamente se devem à captação e formação de espécies reativas de oxigênio, a depender da necessidade, alterando o estado de oxidação, e alterações em enzimas lisossomais ou moléculas de MHC (FFUP, 2006; MERCHANT, 1998).

Com um acúmulo no organismo, o ouro pode manifestar alergias, levando à hipersensibilidade, causar dermatites (incluindo por contato), erupção cutânea, feridas em mucosas, enfraquecimento do cabelo, diarreias; e, mais raramente, é

possível ocorrer discrasias sanguíneas, pulmonites, nefrotoxicidade - com proteinúria e hematúria, por imunoestimulação específica, formando complexos imunes que se depositam nos glomérulos (MERCHANT, 1998).

1.3.12 Platina

O metal precioso platina (Pt) é encontrado de forma moderada na crosta terrestre, podendo estar presente no ar, na água e até em alimentos. É encontrado principalmente em minérios metálicos, associado a outros elementos, em rochas ígneas, embora pepitas de platina também ocorram naturalmente quando o metal não está combinado, assim como forma uma liga de platina-irídio. Seu uso vem aumentando, o que gera uma maior atividade de mineração. Tem sido utilizado como catalisador em escapamento de automóveis; nas indústrias químicas e de petróleo, por suas propriedades catalíticas, em reações de oxidação, isomerização e hidrogenação; na indústria elétrica, por sua resistência a altas temperaturas, como mediadores de tensão e peças de contato; produção de eletrodos, utensílios para laboratórios, cadinhos e pinças; confecção de joias; vidros; próteses dentárias e neurológicas e medicamentos (WHO, 1991).

A Pt é pouco absorvida tanto por inalação quanto por ingestão. É eliminada por ação mucociliar, urina e fezes, podendo, ocasionalmente, se acumular nos rins e outros tecidos (WHO, 1991). Embora não seja um elemento essencial, possui ação antitumorigênica, pois complexos com a platina (cisplatina, carboplatina e oxaliplatina) fazem cross-linkings com o DNA inter e/ou intrafita, funcionando como coadjuvante em um grande número de cânceres, especialmente de testículo, ovário, bexiga, pulmão, cabeça e pescoço (OLSON, 2013).

A toxicidade caracteriza-se pela *platinose*, alterações respiratórias e cutâneas, por reações de hipersensibilidade, com urticária, dermatite de contato, irritação respiratória e síndrome asmática. Os complexos de platina podem causar náuseas e vômitos, danos celulares tubulares e perda de audição. Além disso, embora tenha efeito antitumorígeno, é considerado um provável agente carcinogênico em humanos (KLAASSEN; WATKINS, 2012).

1.3.13 Selênio

O selênio (Se) é um mineral essencial para os humanos e animais, em doses adequadas. Encontrado no solo, carne bovina, frango, peixe e ovos; sendo a castanha-do-pará e o rim bovino as grandes fontes conhecidas. Dependendo do solo onde foi plantado, grãos e cereais podem conter boa quantidade também (COMINETTI; COZZOLINO, 2009). As rochas e solo são as fontes naturais do Se, mas com as crescentes atividades antropogênicas tem ocorrido sua liberação desses para outros sistemas, como os aquáticos. Dentre as principais fontes antropogênicas de selênio para o ambiente, têm-se: indústrias de refino de cobre; indústrias produtoras de vidro e equipamentos eletrônicos; efluentes; águas de drenagem; plantas de beneficiamento de carvão; refinarias; uso em fertilizantes; mineração de fosfatos e outros metais (EISLER, 1985; SEIXAS; KEHRIG, 2007).

Seus efeitos benéficos no organismo são: função antioxidante, por ser componente essencial da glutathionaperoxidase, enzima importante na resposta antioxidante, na detoxificação de peróxidos; participação no metabolismo da tireoide, uma vez que é uma selenoenzima que catalisa a conversão do T4 em T3, sua forma ativa; manutenção do sistema imune, influenciando o desenvolvimento e a expressão de respostas humorais e celulares não específicas e prevenindo danos oxidativos; e redução do risco de doenças crônicas não transmissíveis, como câncer, doenças cardiovasculares e diabetes *mellitus* (COMINETTI; COZZOLINO, 2009; RAYMAN, 2000; SANTOS, 2009).

A deficiência por Se é rara, mas, quando ocorre, pode resultar na doença de Keshan, uma cardiomiopatia que é caracterizada por insuficiência rápida da função cardíaca, na fase aguda, e por hipertrofia moderada a grave do miocárdio, na fase crônica, levando a diferentes graus de insuficiência cardíaca, afetando principalmente crianças e mulheres jovens. Outra doença associada a essa deficiência é a Kashin-Beck uma osteoartrite marcada pela degeneração necrótica dos condrócitos, promovendo nanismo e deformação das articulações, que ocorre durante a pré-adolescência ou adolescência (COMINETTI; COZZOLINO, 2009; SANTOS, 2009).

Entretanto, o selênio, em doses elevadas, também pode produzir efeitos tóxicos, mais conhecidos como selenose. Entre os elementos essenciais, é considerado o de maior toxicidade, já que a diferença entre a dose essencial e a

considerada tóxica é muito pequena. Os principais sintomas são fragilidade e perda de unhas e cabelos, alterações gastrintestinais, erupções cutâneas, fadiga, irritabilidade, hálito de alho e danos ao sistema nervoso, além de alterações endócrinas, celulares e hormonais (COMINETTI; COZZOLINO, 2009; SEIXAS; KEHRIG, 2007). Alguns pesquisadores indicam que os sintomas mais tóxicos ocorrem com ingestões de 3 a 7 mg ao dia, e os moderados, com cerca de 1,3 mg ao dia (COMINETTI; COZZOLINO, 2009; IMO, 2000).

1.3.14 Urânio

O urânio (U) é um elemento radioativo encontrado principalmente na forma de minérios, como a uraninita. Possui 3 isótopos, com características químicas similares, ^{234}U , ^{235}U e ^{238}U . Amplamente distribuído, está presente, em baixas concentrações, no solo, nas rochas eruptivas e sedimentares, no ar, na água superficial e subterrânea, nas plantas e animais. A exposição ao urânio tem aumentado bastante devido a atividades humanas, por minas de urânio e utilização de produtos químicos e radioativos contendo o elemento. É utilizado como combustível em usinas nucleares para geração de energia elétrica; material radioativo na medicina e agricultura; e pelas forças armadas, é usado na blindagem de aeronaves e tanques, produção de balas e projéteis, armas nucleares e fonte de energia (ATSDR, 2013).

A absorção pelo TGI é bem baixa, cerca de 1%, e através da pele intacta chega, muitas vezes, a ser desprezível; por isso, a preocupação ocupacional pelo ar é maior, mesmo que varie bastante a depender da solubilidade do composto. Basicamente todo U absorvido é eliminado pela urina ou armazenado nos ossos. A absorção pode ser maciça ou lenta. Na primeira, o mecanismo de toxicidade deve-se às características químicas do U, especialmente sobre os rins; na segunda, às radioativas, como a radiotoxicidade pulmonar, quando inalado. Sendo assim, o urânio pode ser nocivo pelas situações de simples exposição, por contaminação externa e interna (mais preocupante, pois transfere a energia radiante para a matéria, causando dano), por piroforicidade ou explosão e por problemas de criticalidade, com U enriquecido (PASSARELLI, 1977; ATSDR, 2013).

A radioatividade do U natural é bastante baixa, normalmente não causando riscos. Contudo, quando o organismo é exposto e ocorrem alguns efeitos,

resumidamente, tem-se a irritação respiratória e a nefrotoxicidade, com função reabsortiva tubular renal reduzida e até albuminúria, como os relevantes. Sugere-se, também, que possa aumentar a chance de desenvolver cânceres, mas ainda não é algo elucidado, justamente pela radiação ser baixa, sobressaindo sempre a toxicidade química (ATSDR, 2013).

1.4 ICP – OES

Métodos espectroscópicos atômicos possibilitam análises qualitativas e quantitativas de mais de 70 elementos. O ICP-OES (espectroscopia de emissão atômica com plasma acoplado indutivamente) é uma das mais poderosas ferramentas analíticas para a determinação de traços de metais em águas contaminadas. Nesta técnica, a amostra, geralmente uma solução, é atomizada (convertida em fase gasosa de átomos e íons) por atomizadores de plasma, uma mistura gasosa quente com elevada concentração de cátions e elétrons, que podem obter temperaturas de 10.000 K, quando de argônio (SKOOG et al., 2006).

Baseia-se na emissão espontânea de fótons a partir dos átomos e íons excitados em uma descarga de radiofrequência (RF). Quando a amostra a ser analisada estiver na forma líquida ou gasosa pode ser injetada diretamente no instrumento; já as amostras sólidas requerem extração ou digestão ácida a fim de disponibilizar os analitos em uma solução. A solução, em forma de aerossol, é vaporizada no plasma, onde os átomos e íons já podem adquirir energia suficiente para se excitarem. Esses fótons que liberam para voltar ao estado fundamental têm energias características, cujos comprimentos de onda podem ser usados para identificar os elementos que lhes deram origem. O número de fótons é diretamente proporcional à concentração do elemento. Além disso, é extremamente sensível e menos susceptível a interferências do que outras técnicas de espectroscopia atômica, e caso ocorram, são mais fáceis de corrigir (JONES; HOU, 2000).

2 JUSTIFICATIVA

No contexto do incidente com a barragem da mineradora Samarco, afetando a bacia hidrográfica do Rio Doce, fonte da água do município de Governador Valadares, substância essa essencial à vida, e tendo em vista a importância do periódico monitoramento das águas destinadas ao consumo e o relevante papel dos metais no processo saúde-doença, torna-se necessária a análise da potabilidade da água.

3 OBJETIVOS

3.1 Gerais

Determinar a concentração de alguns elementos químicos essenciais ou tóxicos presentes em amostras de água disponível para o consumo humano no município mineiro de Governador Valadares, em diferentes pontos de coleta, após o incidente com a mineradora Samarco.

3.2 Específicos

- Avaliar a potabilidade da água no que se refere à concentração desses elementos que são utilizados ou presentes nas atividades de mineração ou fazem parte naturalmente do solo e sedimento da região, comparando com legislação específica;
- Estimar a contribuição média do consumo de água para as necessidades de ingestão diária dos elementos químicos essenciais e estimar a contribuição do consumo dessa água para a ingestão diária máxima tolerável de elementos tóxicos.

4 MATERIAIS E MÉTODOS

4.1 Coleta, transporte e conservação das amostras

Foram coletadas amostras de água de cinco locais diferentes no município de Governador Valadares – MG:

- 1) Rodoviária, água coletada de torneira vinda da caixa d'água do local;
- 2) Hospital regional, água colhida de torneira vinda da caixa d'água do local;
- 3) SAAE (Serviço Autônomo de Água e Esgoto), água coletada de torneira interna, provavelmente direta do reservatório de tratamento;
- 4) Prefeitura municipal, água coletada de torneira vinda da caixa d'água do local;
- 5) Residência, água coletada de torneira da encanação direta do SAAE.

Todas as amostras foram encaminhadas para Brasília – DF, via sedex 10, transportadas à temperatura de 4° C, ficando conservadas a -20° C até análise.

4.2 Determinação de metais nas amostras

As determinações dos metais alumínio (Al), antimônio (Sb), arsênio (As), bário (Ba), cromo (Cr), cobalto (Co), chumbo (Pb), ferro (Fe), manganês (Mn), níquel (Ni), ouro (Au), platina (Pt), selênio (Se) e urânio (U) foram realizadas por Espectroscopia de Emissão Atômica com Plasma Indutivamente Acoplado (ICP-OES), na Universidade de Brasília – Faculdade de Ceilândia, sem a necessidade de preparo de amostra ou diluição, apenas acidificação.

Argônio com pureza de 99,999% (White Martins – Praxair) foi utilizado para a geração do plasma, como gás de nebulização e auxiliar. Ar comprimido foi utilizado como gás de corte do plasma quando foi utilizada a vista axial. Nitrogênio grau analítico 99,999% (White Martins – Praxair) foi utilizado como gás de purga do sistema óptico do espectrômetro.

Tabela 1. Parâmetros instrumentais

Modelo e marca do espectrômetro	Perkin Elmer Optima 8000
Potência do Plasma (W)	1400

Vazão do gás do plasma (L/min)	10
Vazão do gás auxiliar (L/min)	0,2
Vazão de nebulização (L/min)	0,7
Purga da óptica (nitrogênio) (mL/min)	5
Injetor	Alumina (2 mm d.i.)
Câmara de nebulização	Scott (Ryton®); ciclônica
Processamento do sinal	Área sob o pico
Tempo de integração	Automático
Vazão de introdução da amostra (mL/min)	1,5
Replicatas	2
Linhas espectrais monitoradas	Alumínio (Al), 396,153 nm; ferro (Fe), 238,204 nm; manganês (Mn), 257,610; arsênio (As), 193,696; chumbo (Pb), 220,353 nm; selênio (Se), 196,026 nm; níquel (Ni), 231,604 nm; urânio (U), 385,958 nm; bário (Ba), 233,527 nm; cobalto (Co), 228, 616 nm; crômio (Cr), 267,716 nm; antimônio (Sb), 206,836 nm.

4.3 Análise dos dados

Os resultados foram expressos como média $\pm$ desvio padrão da média, comparando-se os resultados com os valores aceitáveis constantes na Portaria do Ministério da Saúde nº 2.914/2011 (BRASIL, 2011).

4.4 Contribuição do consumo de água nos limites e/ou necessidades de ingestão diárias.

Para realizar o cálculo de ingestão diária baseou-se no método adotado por Nasrredine et al. (2002), onde a estimativa de ingestão diária é expressa por:

$$\text{Ingestão diária (mg/dia)} = \text{ocorrência (mg/L)} \times \text{consumo (L/dia)}$$

Em que:

Ingestão diária: é a estimativa de ingestão diária do elemento químico.

Ocorrência: é a concentração do elemento químico encontrada.

Consumo: é a quantidade consumida.

Neste trabalho, para o cálculo de ingestão diária média, adotou-se o consumo de 2 litros de água por dia. A ocorrência é a concentração média encontrada em cada ponto coletado.

Para a estimativa da ingestão diária dos elementos essenciais, os resultados encontrados foram comparados com os valores de Ingestão Diária Recomendada (IDR) apontados pela legislação vigente (RDC Nº 269, de 22 de setembro de 2005). Em contrapartida, os resultados encontrados de elementos tóxicos foram comparados com o valor provisório de ingestão diária tolerável (PTDI) estabelecido pela JECFA (Joint FAO/WHO Expert Committee on Food Additives), ingestão diária tolerável (TDI) ou ingestão diária máxima.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 Elementos encontrados em concentrações elevadas

Os metais alumínio, níquel, selênio, urânio e antimônio se apresentaram alterados quando comparados com a legislação vigente, conforme pode ser observado na figura 3.

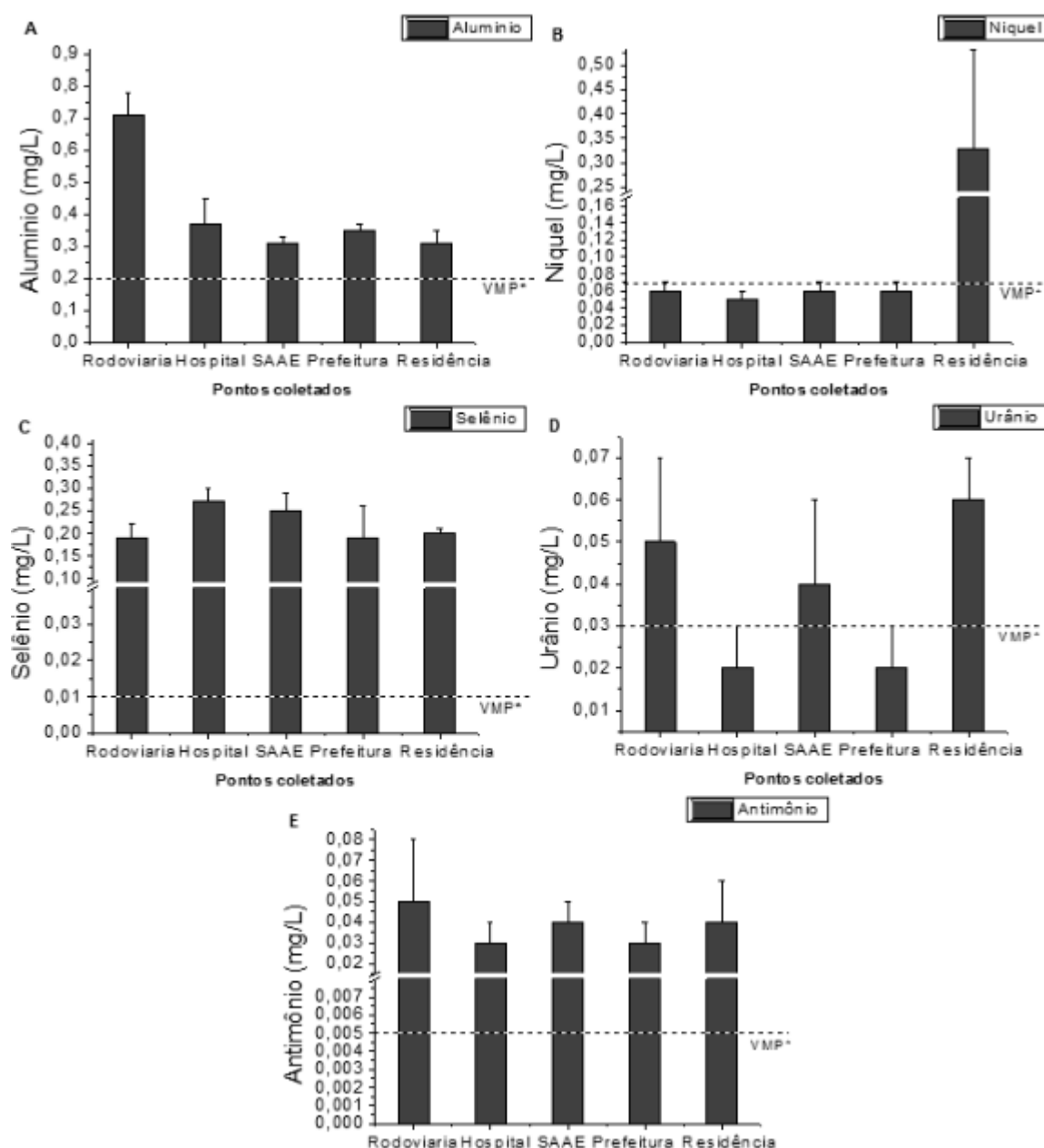


Figura 3. (A) Concentração de alumínio na água dos pontos coletados. (B) Concentração de níquel na água dos pontos coletados. (C) Concentração de selênio na água dos pontos coletados. (D) Concentração de urânio na água dos pontos coletados. (E) Concentração de antimônio na água dos pontos coletados.

De acordo com a Portaria do Ministério da Saúde nº 2.914/2011, os valores máximos permitidos (VMP) para estes elementos são: 0,2 mg/L (Al); 0,07 mg/L (Ni); 0,01 mg/L (Se); 0,03 mg/L (U); 0,005 mg/L (Sb). Sendo assim, o alumínio se apresentou com concentrações elevadas em todos os pontos de coleta, estando, na rodoviária, cerca de 3,5X maior que o VMP; cerca de 1,8X maior no hospital; cerca de 1,5X maior na SAAE; cerca de 1,7X maior na prefeitura e cerca de 1,5X maior na residência. O níquel se apresentou elevado apenas na residência, estando cerca de 4,7X maior que o VMP. Já o selênio se demonstrou com concentrações bastante elevadas em todos os pontos, estando cerca de 19X maior que o VMP na rodoviária; cerca de 27X maior no hospital; cerca de 25X maior na SAAE; cerca de 19X maior na prefeitura e cerca de 20X maior na residência. O urânio também se mostrou claramente elevado apenas na residência, cerca de 2X maior que o VMP, embora na SAAE tenha também apresentado um valor mais elevado, mas com o desvio padrão não permitindo garantir esse resultado elevado. Por fim, o antimônio foi outro com concentrações acima do valor máximo permitido em todos os pontos coletados, estando cerca de 10X maior na rodoviária, 6X no hospital, 8X na SAAE, 6X na prefeitura e 8X na residência.

Em 2013, no município de Barcarena (PA), ocorreu um vazamento de lama vermelha, resíduo da mineração de alumínio, contaminando as nascentes do rio Murucupi, levando, entre outros, ao aumento nos níveis deste metal (DE JESUS et al., 2004). Contudo, mesmo que esses valores elevados nas amostras indiquem como causa única os rejeitos da mineradora que contaminaram as águas do Rio Doce, e análises preliminares logo após o ocorrido demonstrem isso, vale destacar que o próprio tratamento da água, mais especificamente na fase de floculação, utiliza-se de sulfato de alumínio, podendo este composto químico permanecer como resíduo na água final liberada para consumo (FREITAS et al., 2002).

O níquel, por demonstrar aumento apenas na residência, é uma interessante particularidade. O fato de estar normalizado nos outros pontos de coleta sugere provavelmente que seja algo específico da residência, como fatores relacionados à sua tubulação ou da rua, tendo em vista que o Ni é um metal com uma grande importância industrial, presente em tubos de aço inoxidável e acessórios, válvulas, torneiras, e que a depender do tempo de construção da casa e dos componentes da tubulação, pode ocorrer a presença deste elemento na água, a partir da lixiviação. Por isso, seria interessante a determinação deste metal em amostra de água de

outra residência, preferencialmente em quadra ou bairro distante, para discriminar melhor essa situação.

O urânio, embora tenha se demonstrado claramente elevado apenas na residência, exibiu importantes alterações nos outros pontos, com tendência a equivaler ou até ultrapassar o VMP. A causa exata desse aumento é difícil de esclarecer, pode advir tanto de causas naturais, sendo presente em granitos e outros minerais, ou por ações humanas. Não é tão comum em atividades de mineração, especialmente em MG, mas é sabido que o solo pode conter relativas quantidades de U que, com o revolvimento do solo e alterações no pH da água ocasionados pela lama e a força com que percorria, pode ter se tornado biodisponível na água e passado pelo tratamento sem ser contido, chegando aos moradores, ainda mais sabendo que o Brasil está entre os países com maior quantidade deste metal em seu território, e MG é um dos principais estados fonte (INB, 2016).

O aumento dos níveis de antimônio pode ter várias causas: este elemento é presente no solo e constituinte de diversos minerais, bastante ligado ao ferro, manganês e alumínio, assim, pode ser proveniente da atividade de mineração em si, chegando à lama, mas também do revolvimento do solo ocasionado pelo incidente, aumentando a biodisponibilidade. Ainda, não se deve descartar a possibilidade de advir de dissolução e abrasão em tubulações, encanamentos e acessórios, ficando presente na água (CETESB, 2016).

O selênio, do mesmo modo, pode estar com os valores aumentados devido ao incidente, uma vez que, embora seja um elemento relativamente raro, é naturalmente presente nos solos e rochas, podendo ter ficado biodisponível com a movimentação do solo e sedimentos e alterações físico-químicas da água, como mudança do pH. Também é encontrado em efluentes de mineração, por estar presente em vários minérios, complexado a outros metais de interesse, fundição e refinação, com a possibilidade de estar diretamente ligado à composição da lama.

5.1.1 Ingestão diária de alumínio, níquel, selênio, urânio e antimônio e a contribuição para a PTDI, TDI ou IDR.

Tabela 2. Ingestão diária estimada levando em consideração o consumo de dois litros (2L) de água com metais elevados e sua contribuição para o PTDI, TDI e IDR.

Alumínio			Níquel	
Ponto de Coleta	Ingestão diária* (mg/dia)	Contribuição para PTDI ^a (%)	Ingestão diária* (mg/dia)	Contribuição para TDI ^b (%)
Rodoviária	1,42±0,14	14,2	0,12±0,02	14,3
Hospital	0,74±0,16	7,4	0,10±0,02	11,9
SAAE	0,62±0,04	6,2	0,12±0,02	14,3
Prefeitura	0,70±0,04	7,0	0,12±0,02	14,3
Residência	0,62±0,08	6,2	0,33±0,20	39,3
Selênio			Urânio	
Ponto de Coleta	Ingestão diária* (mg/dia)	Contribuição para IDR ^c (%)	Ingestão diária* (mg/dia)	Contribuição para TDI (%)
Rodoviária	0,38±0,06	1118	0,10±0,04	166,7
Hospital	0,54±0,06	1588	0,04±0,02	66,7
SAAE	0,50±0,08	1471	0,08±0,04	133,3
Prefeitura	0,38±0,14	1118	0,04±0,02	66,7
Residência	0,40±0,02	1176	0,12±0,02	200,0
Antimônio				
Ponto de Coleta	Ingestão diária* (mg/dia)		Contribuição para TDI ^b (%)	
Rodoviária	0,10±0,06		23,8	
Hospital	0,06±0,02		14,3	
SAAE	0,08±0,02		19,0	
Prefeitura	0,06±0,02		14,3	
Residência	0,08±0,04		19,0	

*Ingestão diária estimada

(^a) Valor provisório de ingestão diária tolerável, considerando uma pessoa de 70 kg

(^b) Valor de ingestão diária tolerável, considerando uma pessoa de 70 kg

(^c) Valor de ingestão diária recomendada, conforme RDC 269/2005

Tendo como valor de PTWI para o alumínio 1 mg/kg de massa corporal (WHO, 2011), assume-se que seu PTDI ($PTWI \div 7$ dias) para um indivíduo de 70 kg seja aproximadamente 10 mg, bem acima da quantidade encontrada em 2L das amostras analisadas; ou seja, embora o alumínio se apresente muito elevado na água, no que tange à característica de potabilidade, ainda assim não representa um risco elevado à saúde, ao se basear apenas no valor provisório de ingestão diária tolerável, e nem mesmo representa uma parcela tão grande deste valor, para o caso de o indivíduo ingerir outros alimentos contendo altas concentrações do metal tóxico. É claro que não se pode descartar a possibilidade de uma intoxicação, especialmente crônica, pois pode depender de outros fatores, como nível de absorção gastrointestinal de determinado indivíduo, outros alimentos contaminados, uso de panelas de alumínio, e sua idade e massa. Algo semelhante para o antimônio, que, embora bastante elevado para a potabilidade, ainda está percentualmente bem baixa a sua contribuição para a ingestão diária tolerável, com TDI de 0,42 mg/dia (WHO, 2011), não representando riscos claros, ao se basear nisso.

Contudo, um trabalho de revisão de Ferreira e colaboradores (2008) indica que 68% dos trabalhos encontrados na literatura correlacionam o alumínio com a doença de Alzheimer (DA), comprovando e descrevendo os mecanismos pelos quais o Al afeta o sistema nervoso. É difícil definir uma concentração a partir da qual já se pode aumentar o risco de desenvolvimento de DA, mas Rondeau e colaboradores (2000), em um estudo com cerca de três mil participantes, encontraram um risco relativo (IC 95%) de 2,33 (1,42–3,82), associando águas contendo alumínio com concentrações maiores que 0,1 mg/L contra menores que 0,1 mg/L, para a incidência de demências e doenças neurodegenerativas, especialmente DA. Não obstante, pelo fato das doenças neurodegenerativas serem multifatoriais, a JECFA concluiu, após avaliação, que alguns estudos confirmam esta associação com o Al, enquanto outros não demonstram esta correlação, mas todos carecem de informações para garantir uma definição exata (FAO/WHO, 2007). De qualquer forma, é importante continuar o monitoramento dos níveis de alumínio na água, e tomar as providências necessárias para no mínimo reduzir as concentrações aqui encontradas para o VMP pela Portaria 2914/2011 (BRASIL, 2011).

O níquel, por apresentar um valor de TDI de 0,84 mg/dia para uma pessoa de 70 kg (WHO, 2011), percebe-se que não representa riscos prováveis à saúde, no

que se refere apenas à ingestão diária tolerável, mesmo para a residência, ponto coletado onde estava elevado pelo critério de potabilidade. Novamente não podendo descartar o risco de uma intoxicação por exposição crônica, devendo encontrar a fonte de tal aumento para tratá-lo, pois o aparecimento de danos depende de outros fatores individuais, como idade, nível de absorção, quantidade de água ingerida e outros alimentos contaminados.

O urânio, cujo valor de TDI para um indivíduo de 70 kg é 0,042 mg (WHO, 2011), se mostrou com contribuição elevada nos 2L de água em ao menos 3 pontos de coleta, não só na residência, onde demonstrou claro aumento sobre a potabilidade, podendo chegar a 200%, mas também na rodoviária e SAAE, como já apresentava uma alteração. O risco de danos é maior ainda ao lembrar que determinada pessoa pode ingerir uma quantidade maior de água ou estar mais exposta a alimentos também contaminados.

Estudo de Zamora e colaboradores (2009), corroborando com estudos anteriores do mesmo grupo, forneceu suporte para mostrar a falta de ameaça da radioatividade do urânio natural, indicando que essas concentrações encontradas na água em Governador Valadares, mesmo em 2L, não indica riscos prováveis de surgimento de cânceres. Mas o que é afetado primeiro em intoxicações por U são os rins. Um estudo com 324 pessoas expostas a água de poço para beber com concentrações de U na faixa das encontradas neste trabalho, de até 0,7 mg/L, não encontrou evidências da relação entre doença renal ou queixa sintomática e exposição ao urânio; entretanto, apresentou uma relação com o aumento da excreção de beta-2-microglobulina, um marcador de dano renal, assim como microalbuminúria (MOSS, 1985; WHO, 2012). Outro estudo com concentrações até maiores, chegando a 0,142 mg/L, não encontrou relações claras entre a exposição ao U e danos renais, sequer aumento significativo dos biomarcadores (O'HERLIHY et al., 2005). No entanto, embora não seja algo bem elucidado, deve-se manter o monitoramento e o cuidado com este elemento, a fim de evitar riscos à população.

O selênio, que já havia se mostrado bastante elevado para a potabilidade, aqui passou facilmente da IDR definida pela RDC 269/2005, 0,035 mg, em todos os locais de coleta, chegando a mais de 1500% no hospital, local onde já existem pessoas vulneráveis no quesito saúde, representando um potencial risco ainda maior, mesmo ele sendo um metal essencial. Claro que não só naquele local; deve-se ter uma precaução com toda a população. No entanto, a ingestão dietética

máxima que está associada com a selenose é a partir de 0,9 mg/dia (ATSDR, 2013), em média o dobro das quantidades ingeridas nestes 2L de água, não podendo esquecer de que determinado indivíduo pode consumir mais água, por praticar atividades físicas, polidipsia, ou pode ingerir outros alimentos também contaminados, fazendo com que a ingestão diária alcance este patamar. Sinais mais claros de selenose aparecem geralmente com concentrações maiores, entre 3 e 6 mg/dia (YANG et al., 1983). Vale ressaltar que um interessante trabalho de Lemire e colaboradores (2011) obteve por resultado que sua população estudada, moradores da amazônia brasileira, mesmo com elevados níveis séricos ou plasmáticos de Se, não produziram efeitos de selenose; ao contrário, observou-se até que pode levar a efeitos benéficos visuais e motores, além de possivelmente compensar efeitos tóxicos induzidos pelo mercúrio (Hg), possuindo papel protetor, então.

Análises mais recentes avaliadas pela Central de Apoio Técnico do Ministério Público de Minas Gerais confirmaram a elevação dos níveis de alumínio na água de abastecimento de GV ao comparar com a Portaria vigente, demonstrando risco à saúde e alterações nas características organolépticas da água, aspecto e gosto. Todavia, os outros elementos, inclusive o selênio, não apresentaram alterações, demonstrando que o tratamento conseguiu removê-las ou simplesmente as substâncias não se tornaram mais tão biodisponíveis na água (MPMG, 2016).

5.2 Elementos encontrados em concentrações na faixa de normalidade

Por outro lado, os metais arsênio, bário, cromo, ferro e manganês se apresentaram com concentrações normais, ou seja, valores médios menores que o VMP em todos os locais coletados, conforme apresentado na figura 4.

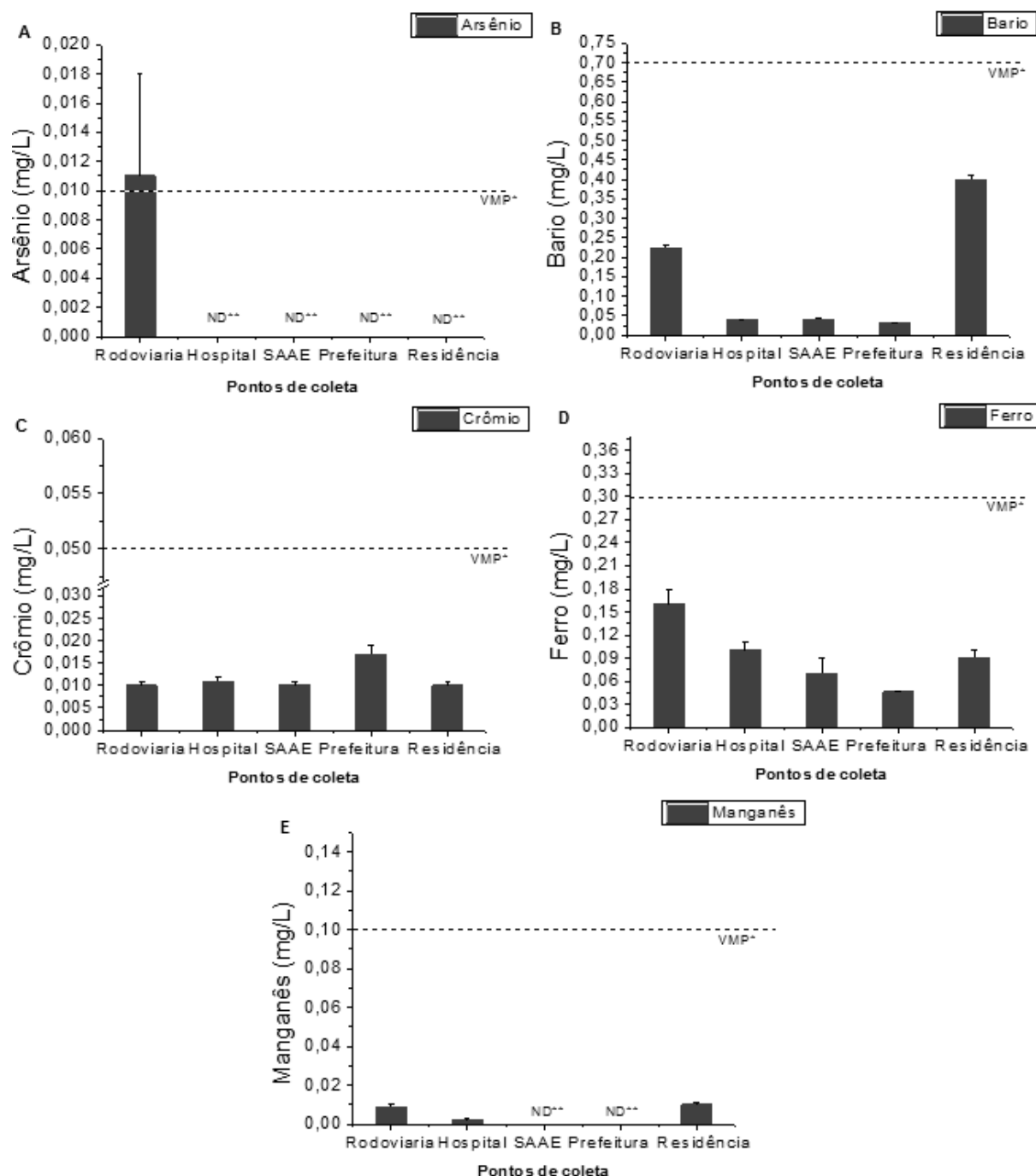


Figura 4. (A) Concentração de arsênio na água dos pontos coletados. (B) Concentração de bário na água dos pontos coletados. (C) Concentração de crômio na água dos pontos coletados. (D) Concentração de ferro na água dos pontos coletados. (E) Concentração de manganês na água dos pontos coletados.

Ainda de acordo com a Portaria 2.914/2011, os valores máximos permitidos na água para estes metais são: 0,01 mg/L (As); 0,7 mg/L (Ba); 0,05 mg/L (Cr); 0,3 mg/L (Fe) e 0,1 mg/L (Mn). Com isso, observa-se que estes elementos, nos pontos coletados, apresentaram concentrações com valores menores que o máximo

permitido, estando dentro do padrão. No entanto, o arsênio, na rodoviária, demonstrou uma tendência para alcançar e até mesmo ultrapassar esse limite (resultado médio de 0,011 mg/L), mas novamente não pode ser dado como algo concreto, pois o desvio padrão mostra uma dispersão na ordem de 0,07 mg/L, tanto para cima quanto para baixo, permitindo um valor abaixo do VMP.

É importante ressaltar que os metais Fe e Mn, aqui normalizados, estavam aumentados em análises anteriores realizadas no Rio Doce, classificando-o, inclusive, como impróprio para a destinação ao consumo humano (GIAIA, 2015); demonstrando, então, a eficácia do tratamento da água em retirar o excesso desses elementos.

5.2.1 Ingestão diária de arsênio, bário, cromo, ferro e manganês e a contribuição para a PTDI, IDM ou IDR.

Tomando como referência um indivíduo de 70 kg de massa corporal, o valor PTDI do arsênio é aproximadamente 0,150 mg/dia (WHO, 2011), o de ingestão diária máxima do bário é 14 mg (USEPA, 2005), e para a RDC 269/2005, os valores de ingestão diária recomendada (IDR) suficientes para a maioria dos adultos é, para o cromo, 0,035 mg, 14 mg para o ferro e 2,3 mg para o manganês. Sendo assim, a ingestão de 2 litros de água em qualquer um dos pontos não chegou a apresentar contribuição acima de 100% para basicamente nenhum destes metais, nem mesmo para o arsênio na rodoviária, onde demonstrava certa tendência à alteração no padrão de potabilidade relacionado a ele; possuindo, então, uma contribuição baixa para o PTDI.

Tabela 3. Ingestão diária estimada levando em consideração o consumo de dois litros (2L) de água e sua contribuição para o PTDI, IDM e IDR.

Arsênio			Bário	
Ponto de Coleta	Ingestão diária* (mg/dia)	Contribuição para PTDI ^a (%)	Ingestão diária* (mg/dia)	Contribuição para IDM ^b (%)
Rodoviária	0,022±0,014	14,7	0,448±0,010	3,20
Hospital	-	-	0,078±0,002	0,56
SAAE	-	-	0,082±0,002	0,59
Prefeitura	-	-	0,064±0,002	0,46
Residência	-	-	0,080±0,020	0,57
Crômio			Ferro	
Ponto de Coleta	Ingestão diária* (mg/dia)	Contribuição para IDR ^c (%)	Ingestão diária* (mg/dia)	Contribuição para IDR ^c (%)
Rodoviária	0,020±0,002	57,1	0,320±0,040	2,29
Hospital	0,022±0,002	62,9	0,200±0,020	1,43
SAAE	0,020±0,002	57,1	0,140±0,040	1,00
Prefeitura	0,034±0,004	97,1	0,092±0,002	0,66
Residência	0,020±0,002	57,1	0,180±0,020	1,29
Manganês				
Ponto de Coleta	Ingestão diária* (mg/dia)		Contribuição para IDR ^c (%)	
Rodoviária	0,018±0,002		0,78	
Hospital	0,004±0,002		0,17	
SAAE	-		-	
Prefeitura	-		-	
Residência	0,020±0,002		0,87	

*Ingestão diária estimada

(^a) Valor provisório de ingestão diária tolerável, considerando uma pessoa de 70 kg

(^b) Valor de ingestão diária máxima, considerando uma pessoa de 70 kg

(^c) Valor de ingestão diária recomendada para adultos, conforme RDC 269/2005

Entretanto, o elemento crômio, embora com concentrações baixas em relação à legislação de potabilidade, apresentou uma contribuição relativamente próxima ao total recomendado, especialmente na prefeitura, com 97,1%, mas nos outros locais variando, aproximando de 60%, o que é digno de observação, dado o fato de que o Cr pode ser também ingerido ao consumir outros alimentos, como cereais e bebidas, podendo ultrapassar esse valor recomendado, ainda mais lembrando que o Cr possui uma estreita faixa para concentrações seguras. O interessante é que o valor máximo permitido na água pela Portaria 2914/2011 é 0,05 mg/L, maior que a própria IDR, talvez seja algo que deva ser revisto pela futura legislação. Mas em contrapartida, Anderson e Koslovsky (1985) e trabalhos baseados trabalharam com a indicação de que o consumo adequado e seguro de Cr pode chegar a 0,2 mg/dia. Assim, de forma geral, o crômio realmente não chega a representar um risco tão provável para uma exposição oral por meio dessa água.

5.3 Elementos sem VMP estabelecidos pela Portaria

Os metais ouro, platina e cobalto foram analisados, com seus resultados apresentados na figura 5; entretanto, estes não possuem VMP na água designado pela Portaria 2.914/2011, dificultando, assim, relacionar os resultados encontrados com a qualidade de potabilidade no que tange à concentração destes metais, no contexto nacional.

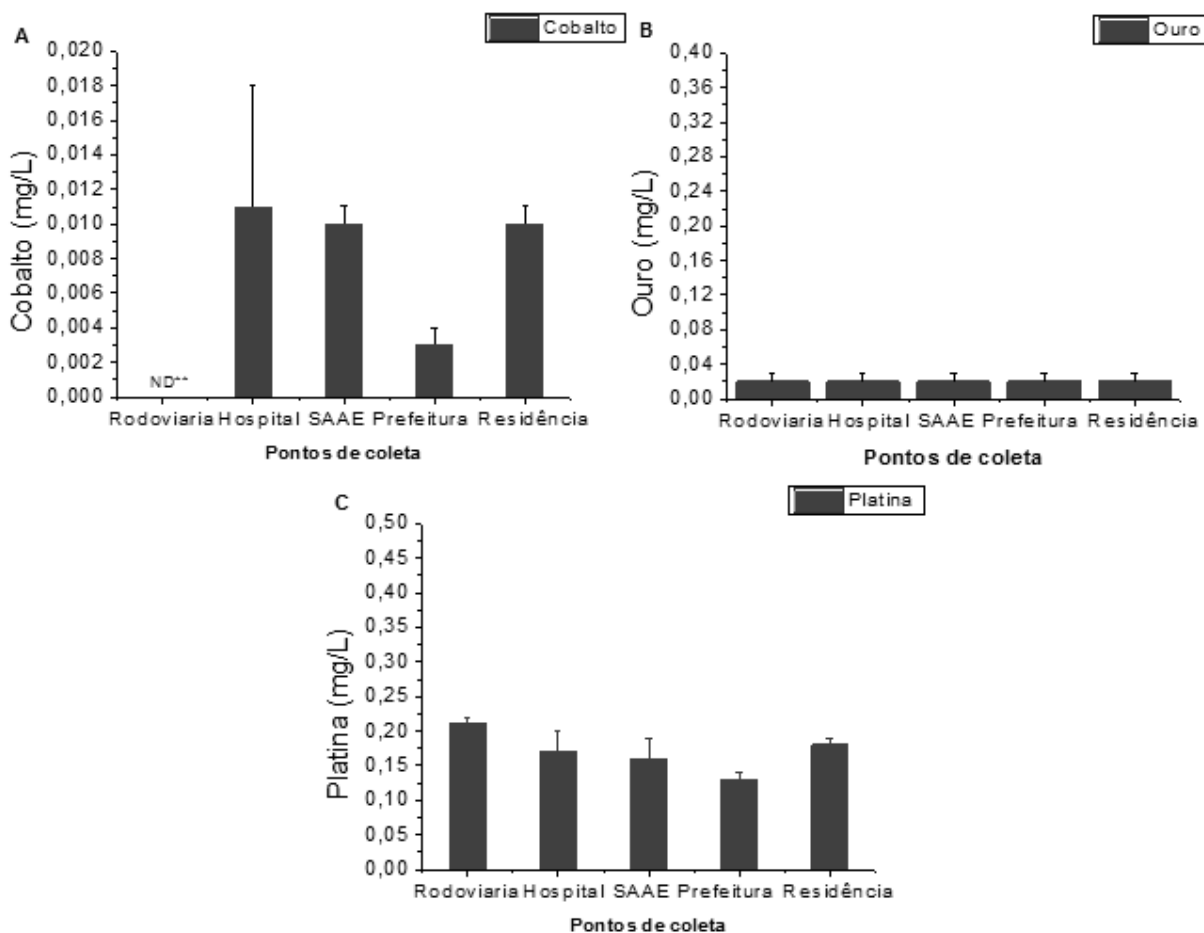


Figura 5. (A) Concentração de ouro na água dos pontos coletados. (B) Concentração de platina na água dos pontos coletados. (C) Concentração de cobalto na água dos pontos coletados.

No entanto, a Resolução CONAMA nº 357, de 2005, estabelece para o cobalto a concentração máxima de 0,05 mg/L de água doce destinada para o consumo humano após tratamento simplificado ou convencional. Se comparada a esse limite, a concentração encontrada está adequada. De qualquer forma, a literatura reporta que a ingestão diária normal varia de região em região, a partir da faixa de 0,003 mg/dia, mas efeitos tóxicos ocorrem em ingestões maiores que 30 mg/dia, e humanos, após ingerir 150 mg/dia de Co por 22 dias, apresentaram policitemia e aumento da hemoglobina. Em quantidades ainda maiores, apresentaram cardiomiopatias (HOKIN, 2004; WHO, 2006). Todas essas concentrações são bem menores que as ingeridas ao consumir 2L da água analisada, indicando que toxicidade por Co não é um risco que esta venha a trazer.

Já para os metais ouro e platina, sabe-se que é normal em baixas quantidades na água, mas sem padrão de legislação comparativa estabelecido, nem

dados epidemiológicos claros de casos de toxicidade em determinadas concentrações. Mas são elementos que na forma metálica não trazem grandes riscos, por serem pouco absorvidos. O ouro, por exemplo, é até mesmo usado como decorativo em alimentos.

5.4 Elementos não detectados

O chumbo não foi detectado em nenhuma das amostras de nenhum ponto coletado. Outros metais não foram detectados em alguns pontos específicos, são eles: arsênio, no hospital, SAAE, prefeitura e residência; cobalto, na rodoviária, e manganês, no SAAE e prefeitura.

Vale ressaltar que a não detecção é diferente de afirmar que não possui tal elemento na água analisada, pois, na verdade, significa que o método utilizado não foi capaz de detectá-lo, seja pelas linhas espectrais monitoradas, complexações, ou quaisquer outros motivos convencionais ou não. Ou seja, pode ser que exista uma quantidade relativamente baixa a ponto de não ser possível a detecção pelo equipamento, que, embora bastante sensível e específico, ainda é passível de apresentar este evento.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Tendo em vista a extensa relação entre o ser humano e a água, torna-se imprescindível a análise da sua qualidade, a fim de evitar riscos à saúde. Alguns elementos químicos, como os metais, podem estar presentes na água, mas em doses adequadas, pois até mesmo os ditos essenciais à vida podem se tornar tóxicos, a depender da dose.

Com o rompimento da barragem de rejeitos da mineradora Samarco, as águas do rio Doce apresentaram mudanças na cor e aspectos físico-químicos, como aumento na quantidade de diversos elementos. Assim, após análise da água potável disponibilizada para consumo em Governador Valadares – MG, município cuja água advém do rio Doce, este trabalho encontrou que os elementos alumínio, selênio e antimônio estão elevados, segundo parâmetros da Portaria 2.914/2011, nas amostras de todos os pontos coletados. Já o urânio e o níquel estão claramente elevados apenas na residência. O arsênio, bário, cromo, ferro e manganês estão dentro do padrão estabelecido, enquanto o cobalto, o ouro e a platina não possuem padrão de potabilidade comparativo e o chumbo não foi detectado pelo método.

Os elementos analisados representam pouca ou média contribuição para os valores padronizados diários, IDR, PTDI, IDM e TDI, ao ingerir 2L por dia da água analisada, com exceção do selênio e urânio, com contribuição superior aos valores de IDR e TDI, respectivamente, o que é digno de uma observação mais próxima, para minimizar as chances de problemas deletérios à saúde da população, como selenose e problemas renais. O alumínio, embora tenha apresentado contribuição baixa para o PTDI, deve ser bem controlado para diminuir seus níveis com urgência, pois estudos já demonstraram grande associação deste metal com doenças neurodegenerativas. Além disso, os elementos citados com valores elevados podem não só trazer riscos à saúde, mas também alterar características da água, como gosto e aspecto, afetando, de qualquer forma, a potabilidade.

Portanto, torna-se necessário o monitoramento periódico da água de abastecimento do município, juntamente com medidas para adequar os valores ao padrão de potabilidade, pois, caso contrário, os moradores correm o risco de cronicamente desenvolverem doenças que além da saúde pública afetarão as questões econômicas da região. Ainda, são necessários mais estudos para verificar o papel de tais elementos no processo saúde-doença e efeitos dose-dependentes.

7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGENCY FOR TOXIC SUBSTANCES AND DISEASE REGISTRY (ATSDR). **Toxicological profile for manganese**. United States Department of Health and Human Services, Public Health Service. Atlanta, GA, 2000.

AGENCY FOR TOXIC SUBSTANCES AND DISEASE REGISTRY (ATSDR). **Toxicological profile for nickel**. United States Department of Health and Human Services, Public Health Service. Atlanta, GA, 2005.

AGENCY FOR TOXIC SUBSTANCES AND DISEASE REGISTRY (ATSDR). **Toxicological profile for arsenic**. Atlanta, GA, 2005.

AGENCY FOR TOXIC SUBSTANCES AND DISEASE REGISTRY (ATSDR). **Toxicological profile for chromium**. Syracuse: United States Department of Health and Human Services, 2000.

AGENCY FOR TOXIC SUBSTANCES AND DISEASE REGISTRY (ATSDR). **Toxicological profile for Uranium**. United States Department of Health and Human Services, Public Health Service. Atlanta, GA, 2013.

AGENCY FOR TOXIC SUBSTANCES AND DISEASE REGISTRY (ATSDR). **Toxicological profile for selenium**. United States Department of Health and Human Services, Public Health Service. Atlanta, GA, 2003.

ALVES, A. N. L.; DELLA ROSA, H. Exposição ocupacional ao cobalto: aspectos toxicológicos. **Rev. Bras. Ciênc. Farmacêuticas**, v. 39, n. 2, p. 129-139, 2003.

ANDERSON, R. A.; KOZLOVSKY, A. S.; Chromium intake, absorption and excretion of subjects consuming self-selected diets. **Am J Clin Nutr**, v. 41, p. 1177–83, 1985.

Aremu, D. A.; Meshitsuka, S. Some aspects of astroglial functions and aluminum implications for neurodegeneration. **Brain Research Reviews**, v. 52, n. 1, p. 193-200, mar., 2006.

BARRETO, M. L. **Mineração e Desenvolvimento Sustentável: desafios para o Brasil**. Rio de Janeiro: CETEM/MCT, 2001, 215 p.

BRASIL. Ministério da Saúde. Portaria nº 2914, de 12/2011. Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil, Poder Executivo, Brasília, DF, 12 dez. 2011. Seção 1, p. 39-46.

CHANG, L.; MAGOS, L.; SUZUKI, T. **Toxicology of Metals**. Boca Raton. New York: CRC Press, 1996.

COELHO, A. L. N. **Alterações Hidrogeomorfológicas no Médio-Baixo Rio Doce/ES**. 227 f. Tese (Doutorado) - Universidade Federal Fluminense, Instituto de Geociências, Departamento de Geografia, Niterói, 2007.

COMINETTI, C.; COZZOLINO, S. M. F.; Funções plenamente reconhecidas de nutrientes, selênio. **International Life Sciences Institute**, v. 8, p. 3-16, 2009.

COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL (CETESB). **Antimônio**. Ficha de Informação Toxicológica. São Paulo, 2016.

COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL (CETESB). **Relatório de qualidade de águas subterrâneas no Estado de São Paulo 2004-2006**. São Paulo, 2007.

COSTA, A. T. **Geoquímica das águas e dos sedimentos da bacia do Rio Gualaxo do Norte, Leste-Sudeste do quadrilátero ferrífero (MG): Estudo de uma área afetada por atividades de extração mineral**. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-Graduação em Evolução Crustal e Recursos Naturais. Universidade Federal de Ouro Preto, 2001.

DE JESUS, I. M. et al. Avaliação dos impactos ambientais no rio Murucupi em decorrência do transbordo de efluentes de uma bacia de resíduos sólidos no município de Barcarena-Pará", In: **Congresso da Associação Brasileira de Química**, Fortaleza, Ceará, Brasil, 2004.

DEVECCHI, G. C. R.; FERREIRA, P. C.; ABREU, K. A.; TREVILATO, T. M. B.; SEGURA-MUÑOZ, S. I. Níveis de alumínio e zinco em água coletada em dois municípios que possuem diferentes fontes de captação e tratamento no estado de São Paulo. **O Mundo da Saúde**, v. 30, p. 619-627, 2006.

DIAZ, R. E. **Análise de riscos toxicológicos e ambientais na exposição ocupacional aos resíduos de armas de fogo (GSR/ firing ranges)**: Uma proposta de normalização. 102 f. Tese (Doutorado) - Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2015.

EISLER R. **Selenium hazards to fish, wildlife and invertebrates**: a synoptic review. U.S. Fish and Wildlife Service Biological Report, v. 85, n. 1.5, p. 1985. 41 p.

FARIAS, J. S.; MILANII, M. R.; NIENCHESKIII, L. R .H.; PAIVAI, M. L. Especificação química de arsênio inorgânico no estuário da Laguna dos Patos (RS, Brasil). **Quím. Nova**, São Paulo, v. 35, n. 7, p. 1401-1406, 2012.

FERREIRA, P. C.; PIAI, K. A.; TAKAYANAGUI, A. M. M.; SEGURA-MUÑOZ, S. I. Aluminum as a risk factor for Alzheimer's Disease. **Revista Latino-Americana de Enfermagem**, Ribeirão Preto, v. 16, n. 1, p. 151 - 157, jan., 2008.

FFUP. Faculdade de Farmácia da Universidade do Porto. Ouro: Metal Nobre e o Paradoxo da sua Toxicologia, 2006. Disponível em: <http://www.ff.up.pt/monografias_toxicologia/monografias/ano0607/ouro/html/Index.html>, acesso em 08 ago. 2016.

FREITAS, V. P. S.; BRIGIDO, B. M.; BADOLATO, M. I. C.; ALABURDA, J. Padrão físico-químico da água de abastecimento público da região de campinas. **Rev. Inst. Adolfo Lutz**, v. 61, n. 1, p. 51-58, 2002.

GANONG, W. F. **Fisiologia médica**, 14. ed. Rio de Janeiro: Prentice Hall do Brasil, 1993. p. 342-3.

GONZALEZ, K. R.; Toxicologia do Níquel. **Revista Intertox de Toxicologia Risco Ambiental e Sociedade**, v. 9, n. 2, p. 30-54, jun., 2016.

HANSLMEIER, A. **Water in the universe**. New York: Springer, 2011. 246 p. 368 v. (in: Astrophysics and Space Science Library).

HAZARDOUS SUBSTANCE BATA BANK. Iron. In: TOMES CPS tm SYSTEM. Toxicology, Occupational Medicine and Environmental Series. Englewood: Micromedex; 2000. CD-ROM.

HE, Z. L.; YANG, X. E.; STOFFELLA, P.J. Trace elements in agroecosystems and impacts on the environment. **J Trace Elem Med Biol**, v. 19, n. 2-3, p.125-140, 2005.

HOKIN, B.; ADOMI, M.; ASHTON, J.; LOUIE, H. Analysis of the cobalt contents of Australian foods. **Asia Pacific J. Clin. Nutr.**, v. 13, n. 3, p. 284-288, 2004.

IBAMA. **Laudo Técnico Preliminar**: Impactos ambientais decorrentes do desastre envolvendo o rompimento da barragem de Fundão, em Mariana, Minas Gerais. 2015.

INSTITUTE OF MEDICINE (IOM). National Academies Press. **Dietary reference intakes for vitamin C, vitamin E, selenium, and carotenoids**. Washington: National Academy Press, 2000. Disponível em: <<http://books.nap.edu/catalog/9810.html>>. Acesso em: 27 jul. 2016.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). Governador Valadares, 2015. Disponível em: <<http://cidades.ibge.gov.br/xtras/perfil.php?lang=&codmun=312770&search=minas-gerais|governador-valadares>>, acesso em 31 jul. 2016.

International Agency for Research on Cancer (IARC) - Summaries & Evaluations. **Antimony Trioxide and Antimony Trisulfide**; Lyon, France: 1998. Disponível em: <<http://www.inchem.org/documents/iarc/vol47/47-11.html>>, Acesso em: 18 out. 2016

JONES, B. T.; HOU, X. **Inductively Coupled Plasma Optical Emission Spectrometry**. In: in Encyclopedia of Analytical Chemistry John Wiley: Chichester, 2000. p. 9468 – 9485.

KLAASSEN, C.; WATKINS, B.J. **Fundamentos em Toxicologia de Casarett e Doull (Lange)**. 2ª ed, Porto Alegre: AMGH, 2012, 460 p.

LEMIRE, M.; PHILIBERT, A.; FILLION M.; PASSOS, C. J.; GUIMARÃES, J. R.; BARBOSA, F. JR.; MERGLER, D. No evidence of selenosis from a selenium-rich diet in the Brazilian Amazon. **Environ Int**, v. 40, p. 128-36, apr., 2012.

MERCHANT, B. Gold, the Nobel metal and the paradoxes of its toxicology. **The International Association of Biological Standardization**, v. 26, n. 1, p. 49-59, mar., 1998.

MICHALKE, B. Manganese speciation using capillary electrophoresis– ICP mass spectrometry. **Journal of Chromatography A**, v. 1050, p. 69, 2004.

MINISTÉRIO PÚBLICO DO ESTADO DE MINAS GERAIS (MPMG). MPMG divulga novas informações sobre a qualidade da água em Governador Valadares. Disponível em: <http://www.mpmg.mp.br/areas-de-atuacao/defesa-do-cidadao/consumidor/noticias/mpmg-divulga-novas-informacoes-sobre-a-qualidade-da-agua-em-governador-valadares.htm#.V_MvK_SyGfl>. Acesso em 06 out. 2016.

MOSS, M. A. Chronic Low Level Uranium Exposure via Drinking Water—Clinical Investigations in Nova Scotia. Dissertação (M.Sc. Thesis) - Dalhousie University, Halifax, 1985.

NASRREDINE, L.; PARENT-MASSIN, D. Food contamination by metals and pesticides in the European Union. Should we worry? **Toxicology Letters**, v. 127, p. 29-41, 2002.

NELSON, D. L.; COX, M. M. **Lehninger: Princípios de Bioquímica**. 3. ed. São Paulo: Sarvier, 2002.

NORDBERG, G. F.; FOWLER, B. A.; NORDBERG, M.; FRIBERG, L. (Eds.) **Handbook on the Toxicology of Metals**, 3. Ed., Elsevier ISBN, 2007.

O'HERLIHY, B. et al. Uranium in drinking water: the Baltinglass Study. **Epidemiology**, v. 16, n. 5, p. 68-69, set., 2005.

OLSON, K. Manual de toxicologia clínica. 6 ed. Porto Alegre: Artmed, 2013. 832 p.
PASCALICCHIO, A. E. **Contaminação por Metais Pesados: Saúde Pública e Medicina Ortomolecular**. 10 ed. São Paulo: Annablume, 2002. 132 p.

PASSARELLI, M. M. **Determinação de urânio e trítio em urina de trabalhadores.** Dissertação (Mestrado) - Departamento de Análises Clínicas e Toxicológicas da Faculdade de Ciências Farmacêuticas, Universidade de São Paulo. São Paulo, SP, 1977.

PINTO, A. G. N.; HORBE, A. M. C.; SILVA, M. S. R.; MIRANDA, S. A. F.; PASCOALOTO, D.; SANTOS, H. M. C. Efeitos da ação antrópica sobre a hidrogeoquímica do rio Negro na orla de Manaus/AM. **Acta Amazonica**, v. 39, n. 3, p. 627-38, 2009.

PREFEITURA MUNICIPAL DE GOVERNADOR VALADARES – PMGV. **PLANO MUNICIPAL DE SANEAMENTO BÁSICO – PMSB**, 2015, 95 p.

QUINN, M. J.; SHERLOCK, J. C. The correspondence between U.K. 'action levels' for lead in blood and in water. **Food additives and contaminants**, v. 7, n. 3, p. 387-424, 1990.

QUITÉRIO, S. L. et al. Uso da poeira e do ar como indicadores de contaminação ambiental em áreas circunvizinhas a uma fonte de emissão estacionária de chumbo. **Cad. Saúde Pública**, v. 3, p. 501- 508, 2001.

RAYMAN, M. P. The importance of selenium to human health. **Lancet**, v. 356, n. 9225, p. 233-41, jul., 2000.

REESE, K. M.; CUNDIFF, W. H. In Aluminum production the first stage is Alumina. **Industrial and Engineering Chemistry**, v. 47. n. 9, p. 1672-1680, 1955.

RONDEAU, V.; COMMENGES, D.; JACQMIN-GADDA, H.; DARTIGUES, J. F. Relation between aluminum concentrations in drinking water and Alzheimer's disease: an 8-year follow-up study. **Am J Epidemiol.**, v. 152, n. 1, p. 59-66, jul., 2000.

SAMARCO. A empresa. Disponível em: <<http://www.samarco.com/institucional/a-empresa/>>. acesso em 31 jul. 2016.

SANTOS, D. B. **Avaliação dos efeitos de compostos orgânicos de selênio e de telúrio sobre a integridade estrutural e funcional de células sanguíneas humanas.** Dissertação (Mestrado) – Bioquímica Toxicológica. Universidade Federal de Santa Maria. Santa Maria, RS, 2009.

SCURACCHIO, P. A.; FARACHE, F. A. Qualidade da água para consumo em escolas e creches no município de São Carlos – SP. **Alim. Nutr**, v. 22, n. 4, p.641-47, out./dez., 2011.

SEIXAS, T. G.; KEHRIG, H. A. O selênio no meio ambiente. **Oecol. Bras**, v. 11, n. 2, p. 264-276, 2007.

Silva Filho, E. B.; Alves , M. C. M.; Da Motta, M. Lama vermelha da indústria de beneficiamento de alumina: produção, características, disposição e aplicações alternativas. **Revista Matéria**, v. 12, n. 2, p. 322 – 338, 2007.

SILVEIRA, A. L. L. **Ciclo hidrológico e bacia hidrográfica.** In: TUCCI, C.E.M. (Org.). Hidrologia: ciência e aplicação. São Paulo: EDUSP, 2001. p 35-51.

SKOOG, D. A.; WEST, D. M.; HOLLER, F. J.; CROUCH, S. R. **Fundamentos de Química Analítica.** Tradução 8. ed. Editora Thomson, 2006.

TOMINAGA, M. Y.; MIDIO, A. F. Exposição humana a trihalometanos presentes em água tratada. **Rev. Saúde Pública**, v. 33, n. 4, p. 413-21, ago., 1999.

TSALEV, D. L.; ZAPRIANOV, Z. K. **Atomic absorption spectrometry in occupational and environmental health practice.** Boca Raton: CRC Press, 1983. p.117-121. v.1.

UNITED NATIONS ENVIRONMENT PROGRAMME (UNEP) / WORLD HEALTH ORGANIZATION (WHO). **Water quality monitoring:** A practical guide to the design and implementation of freshwater quality studies and monitoring programmes. London, 1996.

UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY (USEPA). **Toxicological review of barium and compounds.** Washington, 2005. 76 p.

WORLD HEALTH ORGANIZATION (WHO). **Arsenic**. Environmental Health Criteria. Geneva, 1981.

WORLD HEALTH ORGANIZATION (WHO). **Barium in Drinking-water**: Background document for development of WHO Guidelines for Drinking-water Quality. Geneva, p.13, 2004.

WORLD HEALTH ORGANIZATION (WHO). **Chromium in Drinking-water**. Background document for development of WHO Guidelines for Drinking-water Quality. Geneva, p. 7, 2003.

WORLD HEALTH ORGANIZATION (WHO). **Cobalt and inorganic cobalt compounds**. Concise International Chemical Assessment Document 69. Geneva, p.85, 2006.

World Health Organization (WHO). **Guidelines for drinking-water quality**. First addendum to third edition. Recommendations. Geneva, v. 1, 2006.

WORLD HEALTH ORGANIZATION (WHO). **Guidelines for drinking-water quality**. 4. ed. Geneva, 2011. 541 p.

WORLD HEALTH ORGANIZATION (WHO). **Iron in drinking-water**. Background document for preparation of WHO Guidelines for drinking-water quality. Geneva, 2003.

WORLD HEALTH ORGANIZATION (WHO). **Platinum**. Environmental Health Criteria, n.125. Geneva, 1991.

WORLD HEALTH ORGANIZATION (WHO). **Trace Elements in Human Nutrition and Health**. Environmental Health Criteria. Geneva, 1996.

WORLD HEALTH ORGANIZATION (WHO). **Uranium in Drinking-water**. Background document for development of WHO Guidelines for Drinking-water Quality. Geneva, p. 29, 2012.

WORLD HEALTH ORGANIZATION (WHO)/FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS (FAO). **Evaluation of certain food additives and contaminants.** Sixty-seventh report of the Joint FAO/WHO Expert Committee on Food Additives. WHO Technical Report Series, n. 940, Geneva, p. 33–44.

YABE, M. J. S.; OLIVEIRA, E. Metais pesados em águas superficiais como estratégia de caracterização de bacias hidrográficas. **Química Nova**, v. 21, n. 5, p. 551-56, jan.,1998.

YANG, G. Q. et al. Endemic selenium intoxication of humans in China. **American Journal of Clinical Nutrition**, v. 37, p. 872–881, 1983.

ZAMORA, M. L. et al. Uranium in drinking water: renal effects of long-term ingestion by an Aboriginal community. **Archives of Environmental and Occupational Health**, v. 64, n. 4, p. 228–241, 2009.