

Meio ambiente e Saúde Pública: potenciais riscos à saúde humana por altas concentrações de arsênio na água em Portugal

Environment and Public Health: potential risks to human health due to high concentrations of arsenic in water in Portugal

Medio ambiente y salud pública: riesgos potenciales para la salud humana debido a las altas concentraciones de arsénico en el agua en Portugal

Recebido: 05/11/2020 | Revisado: 14/11/2020 | Aceito: 09/12/2020 | Publicado: 11/12/2020

Vitória Aguiar Barbosa

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0381-5865>

Universidade do Porto, Portugal

E-mail: vbarbosa.cdp@gmail.com

Mirleide Chaar Bahia

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7168-2019>

Universidade Federal do Pará, Brasil

E-mail: mirleidebahia@gmail.com

Keulle Oliveira da Souza

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3127-0380>

Universidade Federal do Pará, Brasil

E-mail: profakeulle@gmail.com

Euzébio de Oliveira

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8059-5902>

Universidade Federal do Pará, Brasil

E-mail: euzebiodeoliveira21@ufpa.br

Resumo

O Arsênio é considerado um metaloide, amplamente distribuído pelo globo terrestre, encontrado naturalmente no meio ambiente. Geralmente se apresenta em forma de sulfeto e em uma variedade enorme de minerais, apresentando características muito tóxicas, mesmo em pouca quantidade. O arsênio também pode causar a contaminação dos solos, das águas e dos alimentos e, conseqüentemente, possíveis intoxicações ao ser humano. Sendo assim, o presente

artigo tem como objetivo avaliar o risco para a saúde humana pela ingestão de água contaminada por arsênio (foco principal) e também no alimento (através do uso da água no cozimento do arroz) em regiões de Portugal. A abordagem deste estudo foi quantitativa, por meio uma metodologia de avaliação de risco, através da elaboração de cenários, em que foram utilizados, a partir de revisão de estudos anteriormente realizados, buscando investigar os valores das concentrações de arsênio nas águas, bem como nos alimentos, com a finalidade de se conhecer melhor e se ter uma percepção dos possíveis agravos à saúde humana provocadas por este metaloide. Os principais resultados mostraram que se durante 70 anos o consumo de água for de 3 litros por dia (por habitante), com concentração de arsênio que em média é equivalente a 0,800 mg/L de água, pode acarretar em um perigo altamente potencial para a saúde humana. Do mesmo modo, o consumo de arroz (70g) durante 5 dias por semana por 50 anos, faz com que o indivíduo consuma os mesmos 0,800 mg/L de arsênio. Essa união de ingestão pode ser altamente prejudicial à saúde, acarretando inúmeras doenças, incluindo o câncer.

Palavras-chave: Arsênio; Saúde; Meio ambiente; Portugal; Contaminação.

Abstract

Arsenic is considered a metalloid, widely distributed across the globe, found naturally in the environment. It is usually presented in the form of sulfide and in a huge variety of minerals, presenting very toxic characteristics, even in small quantities. Arsenic can also cause contamination of soils, waters and food and, consequently, possible intoxications to humans. Therefore, the present article aims to assess the risk to human health by ingesting water contaminated by arsenic (main focus) and also in food (through the use of water in cooking rice) in regions of Portugal. The approach of this study was quantitative, through a risk assessment methodology, through the elaboration of scenarios, in which they were used, based on a review of studies previously carried out, seeking to investigate the values of arsenic concentrations in waters, as well as in food, in order to get to know each other better and have a perception of possible harm to human health caused by this metalloid. The main results showed that if the consumption of water for 3 years is 3 liters per day (per inhabitant), with an arsenic concentration that on average is equivalent to 0.800 mg / L of water, it can cause a highly potential danger to human health. Likewise, consumption of rice (70g) for 5 days a week for 50 years, causes the individual to consume the same 0.800 mg / L of arsenic. This union of ingestion can be highly harmful to health, leading to numerous diseases, including cancer.

Keywords: Arsenic; Cheers; Environment; Portugal; Contamination.

Resumen

El arsénico se considera un metaloide, ampliamente distribuido en todo el mundo, que se encuentra naturalmente en el medio ambiente. Suele presentarse en forma de sulfuro y en una gran variedad de minerales, presentando características muy tóxicas, incluso en pequeñas cantidades. El arsénico también puede causar contaminación de suelos, aguas y alimentos y, en consecuencia, posibles intoxicaciones a los humanos. Por lo tanto, el presente artículo tiene como objetivo evaluar el riesgo para la salud humana por la ingestión de agua contaminada por arsénico (foco principal) y también en los alimentos (mediante el uso de agua para cocinar arroz) en regiones de Portugal. El abordaje de este estudio fue cuantitativo, mediante una metodología de evaluación de riesgos, mediante la elaboración de escenarios, en los cuales se utilizaron, con base en una revisión de estudios previamente realizados, buscando investigar los valores de concentraciones de arsénico en aguas, así como en alimentos, con el fin de conocerse mejor y tener una percepción de los posibles daños a la salud humana provocados por este metaloide. Los principales resultados mostraron que si el consumo de agua durante 3 años es de 3 litros por día (por habitante), con una concentración de arsénico que en promedio equivale a 0.800 mg / L de agua, puede generar un peligro de alto potencial para salud humana. Asimismo, el consumo de arroz (70g) durante 5 días a la semana durante 50 años, provoca que el individuo consuma los mismos 0.800 mg / L de arsénico. Esta unión de ingestión puede resultar muy perjudicial para la salud, dando lugar a numerosas enfermedades, entre ellas el cáncer.

Palabras clave: Arsénico; Salud; Medio ambiente; Portugal; Contaminación.

1. Introdução

É cada vez mais intensa as formas desordenadas de interferência antrópica no ambiente em que vive, isto é, tanto para suprir as suas necessidades diárias decorrentes do aumento da população mundial, quanto no uso irregular dos recursos naturais. Esse modo de vida, sem planejamento, de usufruir dos recursos naturais tem afetado de forma negativa o ambiente em que vivemos. Como consequência disso, temos por vezes impactos negativos no meio ambiente, tais como, a poluição do ar, através da emissão de gases poluentes; das águas por meio dos despejos de esgotos domésticos e rejeitos industriais irregulares e sem tratamento; dos solos decorrentes do seu mau uso ou uso de agrotóxicos em excesso, causando um sério desequilíbrio na fauna de insetos, inclusive, que são tão importantes para equilíbrio dos ecossistemas. “Pois o crescimento desordenado das cidades, invadindo os espaços rurais, bem como dos núcleos de

trabalhadores, nem sempre contava com as mais perfeitas condições de habitação, saneamento básico, tratamento adequado da água” (Carlos Neto, Dendasck & Oliveira, 2016).

Visto isso, torna-se fundamental a realização de uma avaliação dos riscos da concentração de arsênio no ambiente, visando evitar potenciais agravos ao meio ambiente, bem como à saúde da população humana. De acordo com o Decreto-lei n.º 254/2007, “o risco é denominado como sendo a probabilidade de ocorrência de um efeito específico dentro de um período determinado ou em circunstâncias determinadas” (Frias, 2013, p. 29).

De acordo com os estudos realizados pela Organização Mundial de Saúde (OMS), grande parte das doenças que se expandem pelo mundo e principalmente pelos países em desenvolvimento são oriundas da ingestão da água de má qualidade, e também pelo contato desta, como no caso da utilização na higienização humana e para o lazer. Temos ainda aquela água utilizada na indústria e na agricultura, além do consumo de alimentos contaminados (Ribeiro e Rooke, 2010).

É de conhecimento amplo, que em um corpo hídrico, certamente estão presentes acúmulos de substâncias necessárias para a manutenção da estabilidade do ecossistema, no entanto, caso ocorra a extrapolação dos valores aceitáveis destas substâncias pode ocorrer o início do desencadeamento da contaminação do meio em que está inserido este corpo hídrico. Por isso afirma-se que vários tipos de substâncias, como cádmio, chumbo, cobre e o arsênio, são capazes de contaminar as águas, atingindo integralmente o ecossistema localizado de uma determinada região, causando sérios danos ao meio ambiente, a saúde das pessoas e aos demais seres vivos que ali vivem (Maia & Marin, 2014; Souza et al., 2019).

O Arsênio (As) é uma dessas substâncias que quando lançadas ao meio ambiente pode provocar inúmeros impactos à saúde humana, através do consumo de alimentos e também por meio da ingestão de águas contaminadas. Por conseguinte, a presença deste composto nos organismos é capaz de provocar várias doenças ao ser humano, como doenças cutâneas e gastrointestinais (Rodrigues, 2008). Contudo fatores, tais como: o tempo de exposição, as características de cada organismo, as quantidades da substância, dentre outros, são imprescindíveis para tal diagnóstico.

Neste sentido, este estudo tem como objetivo avaliar o risco para a saúde humana decorrente da presença de arsênio na água (foco principal) e também no alimento (através do arroz cozido) em regiões de Portugal. Para tanto, em todos os parâmetros calculados, foram elaborados cenários que se adequam ao estilo de vida da população em questão.

2. Metodologia

Para mensurar os possíveis riscos para a saúde através da ingestão de água que contém certa quantidade de arsênio, a presente pesquisa utilizou dados referenciados de estudos realizados anteriormente nas águas e nos alimentos de Portugal, especificamente do arroz, por ter uma grande capacidade de acúmulo de arsênio e também por ser um alimento bastante consumido no país.

Para elaboração da presente pesquisa utilizou-se da metodologia quantitativa, que segundo Pereira *et al.*, (2018) também se dá por meio de medições de grandezas, estatísticas e probabilidades. Neste sentido, pôde-se mensurar os resultados, utilizando 7 cenários, nos quais 5 são referentes a águas subterrâneas e 2 ao arroz cozido.

Visto isso, a utilização de águas subterrâneas para consumo humano é a fonte mais usada pela população portuguesa que não tem acesso a água canalizada, então observou um valor médio de arsênio de 0,800 mg/L (Duarte et al., 2009), adotando a ingestão de 3L de água diariamente (Laginha, 2012), notadamente que este é um volume presumido de consumo de água para um adulto saudável. No intuito de comparar resultados, também foi proposto mais um cenário onde a ingestão de água seria igual a 1,5L, onde notou-se que os portugueses não ingerem diariamente o valor elevado de água, principalmente em estações mais frias.

Além disso, a fim de fazer uma comparação, utilizou-se 3 regiões que contém arsênio em suas águas subterrâneas, que apresentaram as seguintes concentrações: 0,540 mg/L (Vila Flor), 0,330 mg/L (Benlhevai) e 0,760 mg/L (Ponte de Sôr) (Alegre, 2012).

Em se tratando do caso do arroz português cozido, fez-se uso de uma quantidade de 0,428 mg/kg para 70g/dia (Simões, 2014).

Por meio das concentrações de referência pode-se obter a dose resposta para a ingestão dessas quantidades, pelo meio da determinação da dose média diária (*average daily dose – ADD*), o índice de perigo, a dose média diária ao longo da vida (*lifetime average daily dose – LADD*) e a incidência de tumores ou risco de cancro (P). Estes dois últimos apenas são aplicados quando a substância em questão é cancerígena, como é o caso do arsênio.

Para determinar todos esses indicadores é necessário primeiramente obter a quantidade total (Qt), onde:

$$QT = \text{Concentração de arsênio} \times \text{Consumo diário de água/ arroz} \times \text{Frequência da exposição} \times \text{duração de exposição}$$

Então, temos que:

$$ADD = QT \text{ (mg) } \text{Peso do indivíduo (kg)} \times \text{Período de tempo da exposição (dias)}$$

Com a determinação da dose média diária é possível calcular o índice de perigo, através da fórmula:

$$\text{Índice de Perigo} = ADD / Rfd$$

Sendo que a Rfd é um valor determinado de segurança, onde não se espera que ocorra um efeito adverso, ou seja, é a dose de referência, e para esse estudo utilizou o valor tabelado para o arsênio de 0,0003.

Sendo assim, ao longo da vida a dose média diária (LADD) determina-se através da fórmula:

$$\text{Índice de Perigo} = LADD / Rfd$$

Por sua vez, a dose média diária ao longo da vida (LADD) determina-se através da fórmula:

$$LADD = QT \text{ (mg) } \text{Peso do indivíduo (kg)} \times \text{Esperança de vida do indivíduo (dias)}$$

E o risco de câncer determina-se através de $P = LADD \times SF$, em que SF é o factor de declive, equivalente a 1,5mg/kg/dia.

Como o trabalho se trata de um estudo em Portugal, na determinação dos parâmetros utilizou-se as características da população portuguesa, sendo assim, para os parâmetros ADD foi considerado o peso médio de 70 kg. Por sua vez, para o LADD considerou-se o peso médio dos indivíduos do género masculino da população portuguesa de 80 kg, com esperança de vida de 80 anos e para o género feminino de 70kg com esperança de vida de 85 anos. Acresce ainda referir que adoptou-se o valor de declive (SF) e o valor de Rfd divulgados na EPA (*Environmental Protection Agency*) para o arsénio inorgânico.

3. Resultados e Discussão

3.1 Arsênio

O Arsênio encontra-se distribuído na natureza sendo considerado o vigésimo elemento natural em maior quantidade existente na crosta terrestre. É considerado um metaloide com propriedades intermediárias, visto que apresenta características tanto dos metais como dos não-metais (Roy et al., 2015; Andrade et al., 2016).

De modo geral, o elemento pode ser encontrado nos solos, nas rochas, nas águas e nos organismos. Entretanto, a sua emissão ao meio é ocasionada de várias formas: a primeira sendo natural, como pelas atividades vulcânicas que liberam e a segunda de forma artificial, através das atividades mineiras e industriais, como é o caso da indústria metalúrgica, que emite através da fundição de metais não-ferrosos, e também pela forma irregular de despejo de produtos que contenham arsênio, atingindo diretamente o meio de contato com o produto. Além de outras atividades como a queima de combustível fóssil, que libera o contaminante para atmosfera, e também na utilização de alguns pesticidas com capacidade de contaminar o solo e afetar diretamente na qualidade dos produtos agrícolas (Silva, 2016).

Este metaloide está inserido no grupo 15 da Tabela Periódica e, em sua forma mais estável apresenta densidade de 5,93 g cm⁻³, o seu número atômico é 33 e possui massa molar de 74,922 g mol⁻¹. Embora seja um composto que existe em toda a crosta terrestre como já foi citado anteriormente, o arsênio elementar é raro, assim na maioria das vezes, encontra-se combinados como o oxigênio (O), o cloro (Cl) e enxofre (S), na forma inorgânica (Asi) ou ligado ao carbono (C) e o hidrogênio (H) (Simões, 2014).

Segundo Abonga (2012), existem diversas particularidades que contribuem com a mobilidade, a solubilidade e a toxicidade do arsênio, uma delas é a sua especiação, ou seja, a distribuição de um elemento em um sistema, considerando as suas diferentes espécies químicas. Outros fatores influenciadores são: o estado de oxidação e as condições de oxidação-redução que afetam, como por exemplo, o pH do meio, entretanto este fator está mais ligado com a característica de toxicidade.

Diferentemente das demais substâncias de seu grupo químico, o arsênio na sua forma inorgânica é que apresenta maior grau de toxicidade, como é o caso do composto AsIII que é mais tóxico que o composto AsV, sendo que a forma arsina (AsH₃) é a que apresenta a maior toxicidade, porém, devido a sua característica de volatilização, não se associa a concentrações capazes de contaminação (ATSDR, 2007).

Segundo a INTERNATIONAL AGENCY FOR RESEARCH ON CANCER (IARC, 2012) o uso do arsênio no cotidiano da vida humana está distribuído nos mais variados setores e processos. “Tem sido produzido e comercializado por séculos, desde a antiguidade, o arsênio vem sendo usado de diversas maneiras, pelos mais variados setores de produção, como no tratamento de madeira, já que é capaz de combater insetos, bactérias e fungos, etc.”, porém esta técnica foi abolida por conta da provável contaminação provocada pela liberação deste composto, ampliando consideravelmente o risco, principalmente de casos de combustão. Outras utilizações do arsênio que foram abolidas são: a aplicação em pesticidas, em pigmentos de tintas e nas rações para gado para estimular o crescimento e prevenção de doenças (Alegre, 2012).

3.2 Presença de Arsênio nas águas em Portugal

De acordo com Alegre (2012), há uma grande concentração de arsênio nas águas portuguesas, principalmente nas regiões mais ao norte, devido a suas características geológicas. Entretanto deve-se considerar que a presença de arsênio nas águas pode ser proveniente tanto de origens naturais, como é o caso do conselho de Bragança, como de origem artificial, como ocorre no sul do Porto, consequência mais especificamente das indústrias químicas em Estarreja presente nessa localidade.

Ainda em conformidade com Alegre (2012) a presença de arsênio nas águas portuguesas também pode ser considerada como uma situação preocupante, “por isso, a legislação europeia adotou o valor máximo permitido de 10 µg/L de As em água, considerando uma dose diária admissível (DDA) de consumo por uma pessoa de 0,0104 mg As/kg massa corporal/dia, proveniente tanto da água quanto de alimentos”.

Estima-se que haja uma média geral que nas águas superficiais o valor de Arsênio seja de 0,060 mg/L, já nas águas subterrâneas cerca de 0,800 mg/L, dando destaque para algumas regiões que apresentam este valor mais elevado que em outras, como: na região de Tras-os-Montes e Alto Douro, devido à presença expressiva de minerais de quartzo com enxofre, também na região do Minho, Beiras, Ribatejo e Alentejo. Além das zonas como Concelho de Pombal, na “Freguesia Vieira de Leiria, no Concelho de Vila Flor (540 µg/L), em Benlhevai (330 µg/L), em Ponte de Sôr (76 µg/L), Alpiarça, Évora, Vila Franca de Xira, Barcelos, Concelho de Baião, Distrito de Santarém, Concelho de Alandroal e Concelho de Ponte de Sôr” (Alegre, 2012, p.4).

A Entidade Reguladora dos Serviços de Águas e Resíduos (2018) emite todo ano relatórios de qualidade de água, usando como fonte as análises realizadas em algumas

localidades de Portugal, obtendo então dados que classificam a água como sendo de boa ou de má qualidade, através da comparação dos valores paramétricos com o real encontrado no lugar da coleta para cada substância contida na legislação reguladora.

Os cálculos utilizados, para assim se obter um bom resultado referente a qualidade da água, para assim classificá-la como segura é realizado através “do produto da percentagem de análises realizadas pela percentagem de análises em cumprimento do valor paramétrico fixado na legislação, tal como definido no Anexo II do Decreto-Lei n.º 306/2007, de 27 de agosto” (ERSAR, 2018, p. 33). Com objetivo de indicar a percentagem do índice de água segura, conforme demonstrado no Quadro 1.

Quadro 1. Indicação da qualidade da água (Decreto Lei nº 306/2007).

Condição	Análises realizadas (%)	Análises em cumprimento do valor paramétrico (%)	Água segura (%)
Sem risco	100 %	≥99%	≥99%
Risco moderado	<100% e ≥ 95%	<99% e ≥ 95%	<99% e ≥ 95%
Risco alto	<95%	< 95%	< 95%

Fonte: Adaptado da ERSAR (2018).

Em algumas regiões de Portugal apresentam uma maior concentração de contaminação nas águas pelo composto, devido principalmente por crimes ambientais, que se caracterizam por despejos indevidos de efluentes contendo substâncias perigosas no meio sem qualquer cuidado. Tendo como exemplo um caso das minas das Panasqueira, situada no Cabeço do Pião e Barroca Grande, no Concelho do Fundão, onde era realizado extração de volfrâmio, ocasionando no despejo de mais de 400 toneladas de arsênio pirita (FeAsS) por um determinado período, contaminando as águas da localidade (Rio Zêzere), e por consequência provocou um grande perigo para as pessoas que ali vivem. Além disso, o Rio Zêzere abastece a Albufeira de Castelo do Bode, e este fornece a água para os sistemas do Concelho de Abrantes e da Empresa Portuguesa das Águas Livres (EPAL), responsável por distribuir para 34 municípios de Lisboa (Alegre, 2012).

Contudo, é válido ressaltar que, ao longo dos anos, as políticas públicas referentes à distribuição de uma boa qualidade de água vêm crescendo. De acordo com a comparação realizada pela Entidade Reguladora dos Serviços de Água e Resíduos (2018), publicada no Relatório anual de 2018, em comparação com alguns anos atrás, o cenário português atingiu

uma melhora considerável, visto que em 1993 o parâmetro de potabilidade de abastecimento das residências dos cidadãos portugueses era de 50%. Em 2017, este percentual subiu para 99% como é apresentado.

3.3 Presença de arsênio nos alimentos

Apesar de se considerar que a ingestão de água contendo As é a que apresenta maior risco de contaminação, principalmente pelo fato de nela conter As na forma inorgânica (mais tóxico), a ingestão deste composto nos alimentos não pode ser desconsiderada, o predomínio de arsênio nos alimentos é na forma orgânica, como: a metilada, arsenobetaína ou arseno-açúcares, podendo também ser encontrados os compostos As(III) e As(V) (inorgânicos), contudo, a forma inorgânica também pode ser encontrada, mas em concentrações mais baixas (Alegre, 2012).

Dentre os alimentos que contêm arsênio, quer seja orgânico ou inorgânico, estão o leite e derivados, óleos e gorduras, frutos e vegetais, cereais e produtos de padaria, carne e miúdos, bivalves, cefalópodes e crustáceos, ovos, bebidas, adoçantes, sal e especiarias. O peixe é aquele que normalmente apresenta níveis mais elevados, variando consoante o seu habitat, comparativamente com os alimentos mencionados (Alegre, 2012, p. 24).

O arroz é considerado como o maior acumulador de arsênio nocivo à saúde, ressaltando que o arroz português pode conter uma quantidade mais significativa deste metaloide ao se comparar com outras origens de arrozes no mundo, isso se dá devido as características geográficas da região onde é realizada a produção do alimento (Simões, 2014). O acúmulo elevado de arsênio no arroz está diretamente associado com a área geográfica em que este é produzido, com a fonte de contaminação e com a capacidade da planta em absorver As (Zavala ET AL., 2008).

A produção do arroz é considerada como preocupante, pois o grão é proveniente da terra, e qualquer alteração feita nesta, afetará diretamente a sua produtividade e a composição do grão, tornando-o susceptível às contaminações do meio. Desse modo, caso haja uma forma de contaminação do solo ou da água de irrigação por arsênio, mesmo que este seja considerado um elemento não essencial, ainda é tóxico para as plantas, provocando alterações nas suas raízes. Essas alterações podem consistir na inibição da extensão e proliferação, interferindo no crescimento e dificultando a acumulação de biomassa que, conseqüentemente prejudica a capacidade reprodutiva da planta (Abedin & Meharg, 2002).

Além disso, há interações químicas e biológicas diferentes quando o arsênio está presente no meio. Tal situação ocorre em decorrência ao As reagir com variadas substâncias presentes na natureza, como o ferro que, ao ser oxidado, precipita e forma o hidróxido de ferro. Este fica acumulado nas raízes das plantas, facilitando a captura de arsênio do solo (Garnier et al., 2010).

Smith et al. (2008) afirmam que, na planta do arroz, há uma singularidade do tipo de arsênio sobre à sua forma como, por exemplo, a raiz, os caules e as folhas contêm em grande parte AsI, AsIII e AsV, enquanto o grão de arroz contem predominantemente a espécie orgânica DMA e AsIII. Este autor afirma que o contágio por arsênio no arroz pode acontecer de maneira direta por meio da ingestão do grão propriamente dito ou ainda de forma indireta através da inserção deste elemento na cadeia alimentar.

Adicionalmente, a toxicidade é intensificada após o processo de cozedura, visto que a elevada temperatura é capaz de alterar os processos químicos dos elementos e também porque a água usada para cozedura pode adicionar arsênio, se está estiver contaminada. Assim, quando se compara tanto o arroz cru, quanto o arroz cozido é perceptível que este último apresente uma maior concentração de arsênio (Rahman & Hasegawa, 2011).

Nesse sentido, é importante a realização de um estudo da concentração de As no arroz cozido, pois poderá fornecer informações reais sobre o grau de contaminação através dessa via de exposição (ingestão) e o quanto afeta os seres humanos.

3.4 Avaliação de risco: riscos de contaminação

A toxicidade do arsênio no organismo animal como um todo ocorre principalmente por vias de ingestão, ocasionada pela presença do composto nas águas e nos alimentos. Este é absorvido no trato digestivo, porém existem outras vias de contaminação, como: por inalação e contato direto pela pele. Como já foi dito anteriormente, o arsênio é um composto natural presente na terra e está em constante contato com os seres humanos, como apresenta o Quadro 2, porém a sua intoxicação dá-se pela exposição exagerada de quantidades de arsênio.

Quadro 2. Níveis de arsênio normalmente encontrado no ambiente.

Níveis de arsênio no ambiente			Níveis Normais de arsênio no homem
Ar	Solo	Água	
1-3 ng/m ³ em locais remotos 20-100 ng/m ³ em áreas urbanas	Varia entre 0,01 – 600 mg/kg; valor médio: 2- 20 mg/kg	A água potável contem média 2 µg/l de arsênio.	< 1 µg/l no sangue < 100 µg/l na urina ≤ 1 ppm nas unhas ≤ 1 ppm no cabelo

Fonte: IARC – *International Agency For Research On Cancer*.

A toxicidade é diferenciada em duas classes, sendo essas: aguda e crônica, a primeira acontece quando há uma exposição de grande quantidade de arsênio em um período curto de tempo, já a segunda quando o indivíduo está exposto a um período maior de tempo por quantidades menores (Rodrigues, 2010).

Segundo Rodrigues (2010), se uma pessoa absorver mais arsênio do que é capaz de seu metabolismo corpóreo é capaz de processar, inicia-se o processo de intoxicação que poderá ser aguda, na qual os sintomas aparecem de imediato, como: náusea, vômitos e diarreia, e no caso de uma ingestão superior a 2 g considera-se como letal ao ser humano.

De acordo com Rodrigues e Malafaia (2008), a ingestão de arsênio pela água é uma das causas mais preocupantes de intoxicação, justamente pelo fato de a água ser a base vital de todos os seres humanos e estar presente em todas as atividades e onde se encontra. As na forma inorgânica, a combinação desses fatores fez com que a contaminação por essa via se torne um fator alarmante à saúde pública.

Em decorrência dos agravos causados à saúde humana, o arsênio é classificado como muito perigoso, o que exige que sejam feitos estudos científicos desse elemento e, de acordo com a *Agency for Toxic Substances and Disease Registry (ATSDR)*, milhares de pessoas estão expostas a quantidades consideráveis desse elemento todos os dias (Rodrigues e Malafaia, 2008).

De acordo com Sakuma (2004), o arsênio pode ser encontrado na natureza, em uma gama de elementos, por exemplo: nos minérios de ouro (Au), prata (Ag), cobalto (Co), níquel (Ni), chumbo (Pb), cobre (Cu), manganês (Mn) e antimônio (Sb). No quadro 3 estão exemplificados os minerais de arsênio mais comuns na natureza.

Quadro 3. Minerais de arsênio mais comum na natureza.

Mineral	Fórmula química	% de arsênio
Arsenopirita	FeAsS	46
Lollingita	FeAs ₂	73
Orpimenta	As ₂ S ₃	61
Realgar	AsS	70
Arsênio nativo	As	90-100

Fonte: Revista Saúde, (2008).

As fontes naturais da introdução de arsênio no meio ambiente são rochas e minerais que contêm em sua estrutura química esse composto, além dos substratos e solos constituídos por essas rochas, bem como em decorrência dos eventos geotermiais e vulcânicos, podendo os seus compostos assumirem propriedades metálicas e não metálicas. O elemento é produzido pela atividade hidrotermal da intrusão de magmas graníticos e orogênese (formação de montanhas), e, por consequência a água entra em contato com essas estruturas e carregam consigo uma parcela de arsênio, que pode alcançar diferentes mananciais. As atividades relacionadas com ações antrópicas, incluem os processos industriais (vidro, lã, algodão) e mineiras (cobre, ouro, níquel, chumbo e zinco), da utilização de pesticidas e herbicidas, principalmente na agricultura, dos processos de preservação de madeira, despejo irregular e carreamento de resíduos perigosos, como os provenientes das centrais termoelétricas. É válido ressaltar que apesar das águas superficiais apresentarem um contato direto com o meio externo, é nas águas subterrâneas que ocorre uma maior concentração de arsênio, (Duarte *et al.*, 2009).

3.5 Exposição ao arsênio e Impacto na saúde humana

Há três tipos de exposição de arsênio ao ser humano: oral, por inalação ou dérmica, ou seja, a contaminação pode ocorrer por meio dos alimentos, da água (ingestão ou contato com a pele) ou pelo ar. A sua capacidade de intoxicação e o seu grau de perigo é relativo à vários fatores, tais como: forma física ou química do arsênio, via de exposição, concentração e duração da exposição, das doses diárias, susceptibilidade genética, saúde, de compostos secundários atuantes, da idade e do sexo da pessoa exposta. “Entretanto, a via de exposição mais preocupante é a via oral, pelo fato de estar ingerindo o arsênio inorgânico, considerado o mais perigoso, devido a sua característica cancerígena” (Noranha, 2011, p. 49).

Segundo Cunha e Duarte (2008), a presença de arsênio nas águas para consumo tem alertado para uma preocupação crescente com a saúde pública, visto que a contaminação das águas afeta diretamente a saúde humana, com aparição de inúmeras doenças, desde as mais leves, como lesões cutâneas, até as mais graves, como perturbações neurológicas. Segundo Cunha e Duarte (2008), o contato direto com água que apresenta valores extrapolados de arsênio vem afetando mais de 40 milhões de pessoas, e com o objetivo de reverter este cenário a OMS “recomendou que o valor máximo permitido de arsênio na água para consumo fosse mais restritivo, o que obrigou as entidades gestoras de água a tomar medidas mais rígidas para a diminuição e o controle da quantidade de arsênio na água”.

Devido a exigência da OMS para restabelecer alguns parâmetros limites para assegurar a qualidade da água de consumo, a legislação portuguesa estabeleceu o Decreto-Lei n.º 306/2007, de 27 de Agosto, a modificar o Decreto-Lei n.º 243/2001, de 5 de Setembro, alterando esses valores paramétricos, além de racionalizar o controlo dos pesticidas, e modificar a origem das análises de água, que passou ser diretamente das torneiras do consumidor.

Este decreto, publicado pelo Ministério do meio ambiente do Ordenamento do Território e do Desenvolvimento Regional (2001), afirma a necessidade do controle regular e frequente das análises de água para todos os meios de abastecimento, com a finalidade de assegurar a qualidade de água ao consumidor, levando em consideração todos os tipos de águas e todas as fontes de consumo, visto que cada um apresenta a sua particularidade, como é o caso de algumas regiões onde a água apresenta uma dureza mais elevada, ou o aparecimento de diferentes tipos de bactérias. Por esta razão é de extrema importância a realização de análises de parâmetros específicos.

Um ponto primordial do decreto foi a criação do Instituto Regulador de Águas e Resíduos (IRAR) com o intuito de juntar e concentrar em um só órgão atribuições que anteriormente estavam dispersas em várias entidades, dificultando a organização de dados, que resultava em uma baixa eficácia na administração e na fiscalização dos fatores essenciais à proteção da saúde humana.

Algumas substâncias, como o arsênio, estão classificadas como sendo um parâmetro conservativo, ou seja, o controle da presença destas substâncias e suas quantidades são obrigatórios para as entidades gestoras que são responsáveis por produzir água para consumo. Entretanto, quanto menor a quantidade de arsênio presente na água, haverá menos impacto negativo sobre a saúde humana, visto que a OMS afirma que o arsênio é uma substância acumulativa, o que significa que qualquer quantidade ingerida ficará armazenada no organismo humano, e a sua toxicidade independe da quantidade (Noronha, 2011).

3.6 Doenças relacionadas

De modo geral, a ocorrência de intoxicação aguda por arsênio é mínima, pois necessitaria a ingestão de mais 0,005 mg/kg.dia, o que normalmente não acontece, porém já houve casos de intoxicação em que uma pessoa bebeu água contendo 1,2 e 21,0 mg/L de arsênio e apresentou rapidamente sintomas como: dor abdominal, vômitos, diarreia, dores musculares e entre outros. No caso de ser uma toxicidade crônica, o indivíduo tem de ingerir uma quantidade superior a 0,0003 mg/kg.dia, assim poderá manifestar sintomas como lesões dérmica, alteração vasculares (mais especificamente doenças vasculares periféricas e isquêmica cardíaca), aumento na incidência de câncer, como o do pulmão, pele, bexiga, rins e fígado. A detecção de arsênio no organismo humano diferencia de acordo com o tempo de exposição, ou seja, como o tipo de intoxicação, e, no caso da crônica, é analisada pelos indicadores biológicos encontrado no cabelo e nas unhas, já a aguda é determinada pelas análises no sangue, e em alguns casos, quando a exposição ainda é recente realiza-se análises na urina do indivíduo (Noronha, 2011). O Quadro 4 foi elaborado com intuito de relacionar os 2 tipos de toxicidade com os seus respectivos sintomas.

Quadro 4. Relação da toxicidade do arsênio com os seus respectivos sintomas.

Toxicidade	Quantidade (mg/Kg.dia)	Sintomas
Aguda	Superior a 0,005 mg/Kg.dia	Dor abdominal, vômito, diarreia, vermelhidão da pele, dor muscular e fraqueza, seguidos algumas vezes por dormência e formigamento das extremidades, câibras e pápula eritematosa.
Crônica	Superior a 0,0003 mg/Kg.dia e inferior a 0,005 mg/Kg.dia	Lesões dérmicas*, como hiper e hipopigmentação, neuropatia periférica, câncer de pele, bexiga e pulmão, e doença vascular Periférica

*Lesões dérmicas são observadas em um período de exposição de mínimo 5 anos. Fonte: Adaptado de CETESB, (2017).

A Agência Internacional de Pesquisa em Câncer (IARC) classifica algumas substâncias em grupos, relacionados ao impacto na saúde humana: grupo 1 os que são carcinogênicos, grupo 2A os que tem probabilidade de ser carcinogênicos, grupo 2B possivelmente são carcinogênicos, grupo 3 são os não classificados como carcinogênicos e o grupo 4 que provavelmente não são carcinogênicos para o ser humano. Seguindo as pesquisas por essa

agência o As pertencente ao grupo 1 (IARC, 2012). Em razão disso este composto é extremamente perigoso, pois é considerado como “neurotóxico, nefrotóxico, genotóxico e cancerígeno, podendo originar, face a uma exposição prolongada, doenças cardiovasculares e neurológicas, diabetes tipo 2 e vários tipos de cancro” (Thorsen *et al.*, 2009, p. 1).

Já com relação à natureza cancerígena do As, estudos recentes desenvolvidos na Coreia demonstraram que em uma população exposta a solos e águas contaminadas por ele, o risco de câncer aumentou em mais de 10 vezes, quando comparado a uma população não exposta ao elemento (Revista Saúde, 2008).

O arsênio é considerado como uma substância altamente tóxica devido às suas propriedades que afetam a saúde humana como um todo, entretanto, alguns indivíduos estão mais suscetíveis à intoxicação, como é o caso das crianças, idosos, do feto e algumas pessoas que já apresentam uma suscetibilidade genética. No intuito de tornar esta afirmativa mais clara analisamos dois cenários, usando uma dose letal de arsênio estimada em cerca de 0,6 mg/kg/dia. O primeiro refere-se a um adulto de 70 kg e o segundo a uma criança de 10 kg. Para o adulto a dose considerada letal seria de 0,042 gramas e para a criança bastaria 0,006 gramas (Martin, 2008).

3.7 Avaliação de risco: cenários

A avaliação de risco é uma análise que possibilita determinar as probabilidades de ocorrência de um determinado evento, mensurando as consequências tanto no ambiente quanto na saúde humana. Por essa razão, este trabalho propõe a realização de 7 cenários, onde poderão ser observados a influência da ingestão de arsênio pela água e também pelo arroz cozido. Este foi adicionado no intuito de aproximar os cenários propostos com a realidade da população, já que a introdução deste composto pode acontecer de diversas maneiras e por diferentes agentes contaminadores. Os cenários avaliam a ingestão de arsênio pela água e pelo consumo do arroz, por consumo semanal, durante 70 anos (para água) e 50 anos (para o arroz).

Nas águas subterrâneas utilizou-se uma média geral de arsênio encontrado nesses corpos hídricos e mais 3 cenários analisando regiões onde também há uma pequena concentração de arsênio. Além de 2 cenários correspondentes à concentração no arroz cozido (o qual irá ser consumido, diferenciando apenas pela frequência, sendo um com consumo de 3 dias e outro de 5 dias na semana).

Estes cenários irão demonstrar mais especificamente se, diante da ingestão dessas quantidades de arsênio, a população poderá estar exposta ao perigo à saúde e também com possibilidade de obter câncer.

É válido ressaltar que os parâmetros comparativos para determinar se há ou não perigo à saúde é na obtenção do índice de perigo, onde:

- Índice de perigo < 1 ; equivale a não presença de perigo.
- Índice de perigo ≥ 1 ; equivale a presença de perigo.

Após a construção dos cenários propostos referente aos dados coletados em referências biográficas, juntamente com o desenvolvimento dos cálculos, foram obtidos os valores para os parâmetros necessários para a realização da análise de risco, apresentados nos quadros 5 (na água) e 7 (no arroz).

Quadro 5. Parâmetros para avaliação da dose resposta para os quatro cenários eferentes à concentração de arsênio nas águas subterrâneas.

	CENÁRIO O 1	CENÁRIO 2	CENÁRIO 3	CENÁRIO 4
QT	613,2 mg	413,91 mg	229,945mg	229,95 mg
ADD	$3,43^{-4}$	$2,31^{-4}$	$1,28^{-4}$	$1,28^{-4}$
índice de perigo	1,14	0,77	0,42	0,42
LADD Mulher	$2,80^{-4}$	$1,90^{-4}$	$1,00^{-4}$	$1,00^{-4}$
LADD Homem	$2,80^{-4}$	$1,70^{-4}$	$9,84^{-5}$	$9,84^{-5}$
Risco de Cancro (P) Mulher	$1,90^{-4}$	$1,27^{-4}$	$7,05^{-5}$	$7,05^{-5}$
Risco de Cancro (P) Homem	$1,80^{-4}$	$1,18^{-4}$	$6,56^{-5}$	$6,56^{-5}$

Cenário 1: 7 dias por semana por 70 anos (Portugal como um todo), com consumação de 3L de água diária.

Cenário 2: Vila Flor 7 dias por semana por 70 anos.

Cenário 3: Benlhevai 7 dias por semana por 70 anos.

Cenário 4: Ponte de Sôr 7 dias por semana por 70 anos.

Fonte: Autores.

Quadro 6. Parâmetros para avaliação da dose resposta para o cenário referente à comparação da quantidade de ingestão de água com concentração de arsênio.

	CENÁRIO 5
QT	3066 mg
ADD	1119090
índice de perigo	$3,73^{-9}$
LADD Mulher	$1,41^{-3}$
LADD Homem	$1,31^{-3}$
Risco de Cancro (P) Mulher	$9,41^{-4}$
Risco de Cancro (P) Homem	$8,75^{-4}$

Cenário 5: 7 dias por semana por 70 anos (Portugal como um todo), com consumação de 1,5L de água diária.

Fonte: Autores.

O cenário 5 funciona como um parâmetro comparativo na finalidade de mostrar que ao se ingerir menores volumes de água contendo concentração de arsênio de 0,800 mg/L não acarretará risco de câncer para a saúde humana, diferente de quando se consome um valor de 3L de água, mostrado no cenário 1. Entretanto, é válido ressaltar que a diminuição da ingestão de água por dia não é a solução mais adequada para evitar risco.

Em observação ao Quadro 6, nota-se que no Cenário 1 que corresponde a ingestão de água através de fontes de captação subterrânea é evidenciado um perigo potencial para saúde humana, uma vez que o valor do índice de perigo é superior a 1. E por isso, é possível realizar o cálculo para estimar os possíveis casos de cancro neste cenário, já nos outros cenários que não indicam risco de câncer superior a 1 não é necessário realizar a estimativa.

Em relação ao risco de câncer, podemos ainda estimar o número de câncer que pode surgir consoante a população em causa. Assim, segundo o Instituto Nacional de Estatística (INE, 2016), em 2016 residiam em Portugal 10 309 573 indivíduos, dos quais 4 882 456 são do gênero masculino e 5 427 117 do gênero feminino, estima-se que 1021,57 mulheres e 854,42 homens apresentam risco a adquirir câncer.

Da mesma forma foi elaborado os cenários para avaliar os parâmetros de arsênio no arroz cozido, visto que o seu consumo contribui para o possível risco à saúde. Levando em consideração o consumo tanto da água, quanto o arroz, ocasionando no aumento da probabilidade do perigo, como pode ser visto no Quadro 7.

Quadro 7. Parâmetros para avaliação da dose resposta para os dois Cenários referentes a concentração de arsênio no arroz.

	CENÁRIO 1	CENÁRIO 2
QT	234,33 mg	390,55
ADD	$1,83^{-4}$	$3,06^{-4}$
índice de perigo	0,61	1,02
LADD Mulher	$1,08^{-4}$	$1,80^{-4}$
LADD Homem	$1,00^{-4}$	$1,67^{-4}$
Risco de Cancro (P) Mulher	$7,19^{-5}$	$1,20^{-4}$
Risco de Cancro (P) Homem	$6,69^{-5}$	$1,11^{-4}$

Cenário 1: 3 dias por semana por 50 anos (70 g de arroz cozido).

Cenário 2: 5 dias por semana por 50 anos (70 g de arroz cozido)

Fonte: Autores.

Tendo em vista que o consumo de arroz em Portugal é classificado elevado, o cenário 2, referente ao consumo de 70g de arroz, em 5 dias na semana durante 50 anos, apresenta um valor considerado como perigoso à saúde (acima de 1), diferente do cenário 1, que não apresentou perigo.

Então, para o cenário do arroz também foi estimado o risco de números de câncer da população portuguesa, apresentando 650,65 mulheres e 544,19 homens com probabilidade de obter a doença em questão.

Estes quadros mostram que, dentre os cenários propostos, os que apresentam mais risco estão o cenário 1 da água, e o cenário 2 do arroz. Desse modo comparado por gênero da população portuguesa, inferiu-se que a estimativa de ocorrência de casos de câncer para o gênero feminino é de 1021,57 e 650,65, e do gênero masculino é de 854,42 e 544,19, para água e para o arroz respectivamente.

4. Considerações Finais

Sabendo-se da importância de se conhecer o estilo de vida da população portuguesa, para aplicar corretamente os cálculos de acordo com os hábitos alimentares, o estudo mostrou a necessidade de uma avaliação de risco para compreender a existência de um risco potencial

para a saúde humana da população de Portugal, devido à ingestão, principalmente de água de captação subterrânea sem análise e/ou tratamento, além da adição do consumo de arroz.

Assim sendo, o trabalho inferiu que o consumo de 3 litros de água por dia durante 70 anos, com concentração de arsênio equivalente a 0,800 mg/L, pode acarretar um perigo potencial para a saúde. Da mesma forma que o consumo de arroz (70g) durante 5 dias por semana por 50 anos. Entretanto, como esse consumo não é uma regra geral, deve-se considerar que algumas pessoas podem consumir menos ou mais do que essas quantidades estipuladas. Acrescenta-se também que a ingestão deste composto pode advir de outros alimentos ingerido diariamente.

Essa união de ingestão pode ser altamente prejudicial à saúde, acarretando inúmeras doenças, incluindo o câncer. Tendo em vista que este trabalho teve como base referências de estudos e análises anteriores, pode-se observar que ainda existe pouca informação sobre as quantidades de arsênio presentes tanto nas águas, quanto em alimentos, e, conseqüentemente, há escassez de esclarecimentos também para a população em questão. Ressalta-se a importância de haver uma disseminação de conhecimento sobre o assunto para que seja impulsionado o cuidado com saúde, com a finalidade de poder procurar alternativas de mudanças de hábitos de vida, a fim de evitar danos à saúde.

É válido ressaltar que este trabalho também teve como intuito servir como base para possíveis estudos futuros, visto que atualmente ainda é escassa as informações referentes a essa contaminação, por consequência é necessária a continuação de pesquisas na área. Além de contribuir para a necessidade de firmar o valor paramétrico já existente de arsênio nos corpos hídricos de consumo.

Referências

Andrade, D. F., & Rocha, M. S. (2016). A toxicidade do arsênio e sua natureza. *Revista Acadêmica Oswaldo Cruz. Ano, 3*, 102-111

Abedin, J., Cresser, M. S., Meharg, A. A. & Feldmann, J. Cotter-Howells, J. (2002) *Arsenic accumulation and metabolism in rice (Oryza sativa L.)*. Environ. Sci. Technol.

Abonga, M. (2012). *Arsenic bioaccessibility under variable physiological conditions of the human gut*. Dissertação de Mestrado. Ghent University, Bélgica.

Alegre, A. F. N. L.(2012) – *Saccharomyces cerevisiae* como biossensor de arsénio na água: caso de estudo da Ribeira do Bodelhão e do Rio Zêzere. Dissertação de Mestrado em Tecnologia e Segurança Ambiental, apresentada à Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa, 45 p.

Agency For Toxic Substances And Disease Registry (ATSDR) (2019). Toxicological Profile for Arsenic, Atlanta, USA. 2007. Recuperado de < <https://www.atsdr.cdc.gov/toxprofiles/tp.asp?id=22&tid=3>>

Carlos neto, D, Dendasck, C, Oliveira, E. (2016). A evolução histórica da Saúde Pública – *Revista Científica Multidisciplinar Núcleo do Conhecimento*. 01(01), 52-67. DOI: 10.32749/nucleodoconhecimento.com.br/saude/a-evolucao-historica-da-saude-publica.

Companhia Ambiental Do Estado De São Paulo (CETESB) (2017). *Ficha de informação toxicológica- Arsênio*. Companhia Ambiental do Estado de São Paulo, Brasil. 2017.

Cunha, P., Duarte, A. (2008). *Remoção de arsénio em águas para consumo humano*. Universidade do Minho. Portugal. 2008.

Duarte, A., Cardoso, S., Alçada, A. (2009). *Remoção de arsênio em sistemas de abastecimento de água. Estudo de caso*. Universidade do Minho, Portugal.

Environmental Protection Agency. (2019). Arsenic, inorganic, CASRN 7440-38-2. *Integrated Risk Information System (IRIS)*. USA. Recuperado de https://cfpub.epa.gov/ncea/iris2/chemicalLanding.cfm?substance_nmbr=278

Entidade Reguladora Dos Serviços De Águas E Resíduos (ERSAR) (2018), Controlo da qualidade da água para consumo humano. Relatório Anual dos Serviços de Águas e Resíduos em Portugal. ERSAR, 2. Portugal.

Frias, R. M. A. C.(2013). Prevenção e análise de riscos naturais - A articulação entre os Planos Directores Municipais e os Planos Municipais de Emergência. *Dissertação de Mestrado*. Lisboa.

Garnier, J., *et al.*(2010). Temporal variations in arsenic uptake by the rice plants in Bangladesh: The role of iron plaques in paddy fields irrigated with groundwater. *Science of the Total Environment*.

International Agency For Research On Cancer (2012). Arsenic and arsenic compounds. Estados Unidos, Monographs. 2012.

Instituto Nacional De Estatística (INE) (2016). *Portugal em Números e em Figura*. Lisboa. Instituto Nacional de Estatística.

Laginha, M. L.(2012) Caracterização do padrão de consumo de água de uma população saudável. Dissertação de mestrado integrado em ciências farmacêuticas. Universidade Lusófona de Humanidade e Tecnologias, Lisboa.

Maia, R., Marin, R. A. (2014). A arte da resistência de comunidades tradicionais em Barcarena (Pará) face à ordem e progresso. *Papers do 38º Encontro da ANPOCS, GT07 – Conflitos ambientais, Estado e ideologia do desenvolvimento: mediação e luta por direitos*. Minas gerais, out.

Martin, R. O. (2008). Arsênio afeta a saúde humana. *Revista Alerta Paracatu*, (17). Recuperado de <<http://alertaparacatu.blogspot.com/2008/01/o-arsnio-afeta-sade-humana.html>>

Ministério Da Saúde.(2011). *Portaria nº 2.914. Procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade*. 2011

Noronha, V (2011). Água destinada ao consumo humano. Risco para a saúde humana resultante da exposição de arsênio. *Administração Regional de Saúde*. Departamento de Saúde Pública. Portugal.

Pereira, A. S., *et al.* (2018). *Metodologia da pesquisa científica [e-book]* (UAB/NTE/UFSM, Ed.) Recuperado de https://repositorio.ufsm.br/bitstream/handle/1/15824/Lic_Computacao_Metodologia-Pesquisa-Cientifica.pdf?sequence=1.

Rahman, M. A. Hasegawa, H. (2011). High levels of inorganic arsenic in rice in areas where arsenic-contaminated water is used for irrigation and cooking. *Science of the Total Environment*.

Ribeiro, J. W., & Rooke, J. M. S. (2010). *Saneamento básico e sua relação com o meio ambiente e a saúde pública*. Especialização em análise ambiental. Universidade Federal de Juiz de Fora. Minas Gerais, 36 folhas.

Rodrigues, A. S. L, Malafaia, G (2008). Efeitos da exposição ao arsênio na saúde humana. *Revista Ciência e Saúde. Brasil*.

Roy, M., Giri, A. K., Dutta, S., Mukherjee, P. (2015) Integrated phytobial remediation for sustainable management of arsenic in soil and water. *Environ Int* 75, 180–198. doi:10.1016/j.envint.2014.11.010

Sakuma A. M. A (2004). *Avaliação da exposição humana ao arsênio no Alto Vale do Ribeira, Brasil*. Tese de doutorado: Faculdade de Ciências Médicas, Universidade Estadual de Campinas, São Paulo.

Silva. A.(2016). Arsênio, impacto sobre o meio ambiente e saúde humana. Fundação CECIERJ. *Revista Educação Pública. Brasil*. 2016. Recuperado de < <https://educacaopublica.cecierj.edu.br/artigos/16/17/arsnio-impacto-sobre-o-meio-ambiente-e-a-sade-humana>>

Simões, A. *Avaliação da presença de arsênio em arroz e produtos derivados de arroz*. Dissertação de Mestrado. Universidade de Lisboa. Portugal. 2014. Recuperado de <http://oasisbr.ibict.br/vufind/Record/RCAP_ceb3cfd1ba212c695f4e17f95333ff41>

Smith, E., Juhasz, A. L., Weber, J. & Naidu, R. (2008) Arsenic uptake and speciation in rice plants grown under greenhouse conditions with arsenic contaminated irrigation water. *Science of the Total Environment*.

Smith, A. H., Lingas, E. O., Rahman, M. (2000). Contamination of Drinking-Water by Arsenic in Bangladesh: A Public Health Emergency. *Bulletin of World Health Organization*, 78(9). 2000.

Souza, K. O. et al. (2019). Alterações socioambientais e na saúde decorrentes da implantação de projetos de mineração em Barcarena-PA: O desenvolvimento e suas contradições na Amazônia, Brasil. *Revista Científica Multidisciplinar Núcleo do Conhecimento*. 12(08), 29-39. DOI: 10.32749/nucleodoconhecimento.com.br/meio-ambiente/alteracoes-socioambientais

Thorsen, M., et al. Genetic basis of arsenite and cadmium tolerance in *Saccharomyces cerevisiae*. (2009) *BMC Genomics*, v.10. 2009. Recuperado de < <https://bmcgenomics.biomedcentral.com/articles/10.1186/1471-2164-10-105>>

UNICEF E WHO. *Progress on Drinking Water and Sanitation*. Estados Unidos. 2012. Disponível em: <<https://www.unicef.org/media/files/JMPReport2012.pdf>>

Zavala, Y. J., & Duxbury, J. M. *Arsenic in Rice I: Estimating Normal Levels of Total Arsenic in Rice Grain*. Environmental Science & Technology. 2008.

Porcentagem de contribuição de cada autor no manuscrito

Vitória Aguiar Barbosa – 30%

Mirleide Chaar Bahia – 30%

Keulle Oliveira da Souza -20%

Euzébio de Oliveira -20%