UNIVERSIDADE EDUARDO MONDLANE
FACULDADE DE CIÊNCIAS
DEPARTAMENTO DE QUÍMICA

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO QUÍMICA E PROCESSAMENTO DE RECURSOS LOCAIS

AVALIAÇÃO DO TEOR DE METAIS PESADOS EM ÁGUAS ENGARRAFADAS COMERCIALIZADAS NAS CIDADES DE MAPUTO E MATOLA

Autora: Bina Aurora Simião Laquene

Maputo, Dezembro de 2025

UNIVERSIDADE EDUARDO MONDLANE
FACULDADE DE CIÊNCIAS
DEPARTAMENTO DE QUÍMICA

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO QUÍMICA E PROCESSAMENTO DE RECURSOS LOCAIS

AVALIAÇÃO DO TEOR DE METAIS PESADOS EM ÁGUAS ENGARRAFADAS COMERCIALIZADAS NAS CIDADES DE MAPUTO E MATOLA

Autora: Bina Aurora Simião Laquene
Supervisor: Prof. Doutor Arão Manhique
Co-Supervisor: Prof. Doutor Eutilério Chaúque

Maputo, Dezembro de 2025

Agradecimentos

O meu percurso no mestrado foi uma longa jornada, repleta de desafios, tristezas e alegrias. Gostaria de expressar o meu agradecimento a Deus e a todo o corpo docente pelo ensinamento académico, pois foi fundamental para a concretização desta etapa, dedicando-lhes a minha sincera gratidão.

Em especial, quero agradecer ao meu supervisor, o Prof. Doutor Arão Manhique, pelo seu apoio, motivação, paciência e orientação exemplar marcada por elevado rigor científico.

Também expresso o meu agradecimento ao meu co-supervisor Prof. Doutor Eutilério Chaúque, por toda a ajuda valiosa, dedicação, orientação e partilha de conhecimento.

À Lic. Nelda Calbe, agradeço pela disponibilidade imediata e dedicação na parte experimental do trabalho. À Profª. Maida Khan, ao Dr. Jonas Valente Matsinhe, à Dra. Aida Massango e à minha colega e amiga Benedita Paula Custódio Bila, agradeço pela motivação, apoio e por sempre terem acreditado em mim e depositado a vossa confiança, sou profundamente grata.

Aos meus pais, Simião Laquene e Eugenia Paulo Jamo Laquene, agradeço pela confiança e incentivo para prosseguir com os estudos académicos.

E não menos importante, os meus agradecimentos estende-se ao meu esposo, Hilário Samuel Daniel, e aos meus filhos, Daniel Nàsson Daniel e Joshua William Daniel pela alegria, companheirismo e felicidade que contribuíram para que chegasse ao fim deste percurso.

Por fim, o meu profundo e sentido agradecimento a todas as pessoas que contribuíram para a concretização desta dissertação, estimulando-me intelectual e emocionalmente.

Dedicatória

Aos meus pais, por toda uma vida de amor, apoio e ensinamentos inestimáveis. Vocês me mostraram que a sabedoria esta nos livros, que através deles podemos encontrar respostas e inspiração. Obrigada por cultivarem em mim o amor pelo conhecimento.

A Profª. Maida, pelo encorajamento, sua força motivadora e pela confiança que depositou em mim. Sua orientação foi fundamental para que eu pudesse alcançar este momento tão significativo. Obrigada por ser uma fonte constante de inspiração e apoio ao longo desta jornada.

Esta Dissertação é dedicada a vocês com profunda gratidão e carinho.

Bina

Declaração sob Palavra de Honra

Declaro, por minha honra, que o presente trabalho académico não foi submetido para avaliação em qualquer outra entidade ou instituição, sendo resultado da minha própria investigação. Ao longo do texto e no capítulo de referências bibliográficas, estão devidamente indicadas todas as fontes que consultei.

Maputo, Dezembro de 2025

_____

(Bina Aurora Simião Laquene)

Resumo

Em Moçambique, o consumo de água engarrafada tem crescido nas zonas urbanas devido a factores como a disponibilidade de água potável, exiguidade de infraestruturas de tratamento de água e baixos índices de confiança da qualidade da água da rede de distribuição locais. A água engarrafada é consumida como fonte de água para hidratação e contem minerais essenciais dissolvidos cuja concentração varia de acordo com a origem e o tratamento da água. No entanto, em excesso, alguns minerais podem comprometer a qualidade da água e ser prejudicial à saúde. Por isso, o presente estudo tem como objectivo avaliar a concentração de metais pesados em águas engarrafadas comercializadas nas cidades de Maputo e Matola e verificar a sua conformidade com os limites estabelecidos no regulamento nacional de controlo de qualidade de água potável (Diploma Ministerial 180/2004), pelas normas da Organização Mundial de Saúde (OMS) e da Agência de Protecção Ambiental dos Estados Unidos (EPA).

Foram colectadas 12 marcas diferentes (dez nacionais e duas internacionais) e analisadas as concentrações dos seguintes metais pesados: arsénio (As), cadmio (Cd), chumbo (Pb), níquel (Ni), tálio (Tl) e urânio (U) recorrendo ao método de Espectrometria de Emissão Óptica com Plasma Indutivamente Acoplado (ICP-OES).

Os resultados revelam ausência de metais pesados em 3 marcas, enquanto que em 9 marcas foram encontradas concentrações de arsénio, cádmio, níquel, chumbo, tálio e urânio acima do limite máximo estabelecido pela legislação. Contudo, a avaliação de risco indicou que essas concentrações não constituem risco significativo para a saúde humana. Assim, estas águas consideradas seguras para o consumo humano.

Palavras-chaves: Água engarrafada, Metais pesados, Qualidade da água.

Abstract

In Mozambique, the consumption of bottled water has been increasing in urban areas due to factors such as the availability of safe drinking water, water treatment infrastructure, and trust in the quality of tap water. These bottled waters are known for their purity and the presence of essential dissolved minerals that offer health benefits. However, when consumed excessively, some minerals can compromise water quality and be harmful to health.

The present study aimed to evaluate the concentration of heavy metals in bottled waters sold in the cities of Maputo and Matola and compare them with the limits established by the Mozambican water quality regulation (Diploma Ministerial 180/2004), World Health Organization (WHO) and the United States Environmental Protection Agency (EPA) standards.

Twelve different brands were collected (ten national and two international), and the concentrations of the following heavy metals were analysed: arsenic (As), cadmium (Cd), lead (Pb), nickel (Ni), thallium (Tl), and uranium (U) using the Inductively Coupled Plasma Optical Emission Spectrometry (ICP-OES) method.

The results showed the absence of heavy metals in 3 brands, while 9 brands had concentrations of arsenic, cadmium, nickel, lead, thallium, and uranium above the maximum limits established by regulations.

However, the risk assessment indicated that these concentrations do not pose a significant risk to human health. Thus, these waters are considered safe for human consumption.

Keywords: Bottled water, Heavy metals, Water quality.

ÍNDICE

Resumo iv
Abstract v
Índice de figuras viii
Índice de tabelas viii
Lista de Abreviaturas e Acrónimos ix
1. INTRODUÇÃO 1
1.1. Objectivos 2
1.1.1. Objectivo geral 2
1.1.2. Objectivos Específicos 3
1.2. Justificativa 3
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA 4
2.1. Origem da Água Engarrafada 4
2.2. Classificação das Águas Engarrafadas 7
2.2.1. Quanto à fonte 7
2.2.2. Quanto ao tratamento 9
2.2.3. Quanto á composição química 10
2.3. Contaminação da água por metais pesados 11
2.4. Caracterização e toxicidade dos metais pesados 13
a) Arsénio 13
b) Cádmio 13
c) Níquel 14
d) Chumbo 15
e) Tálio 15
f) Urânio 15
2.5. Métodos de Tratamento da água para remoção de metais pesados 16
a) Precipitação Química 16
b) Osmose Reversa: 17
c) Troca iónica 17
d) Adsorção 17
e) Electrocoagulação: 17
f) Precipitação por Sulfeto: 17
g) Biolixiviação 17
2.6. Métodos avançados de análise de metais pesados na água engarrafada 19
2.7. Espectrometria de Emissão Óptica com Plasma Acoplado Indutivamente 20
2.8. Avaliação do índice de poluição por metais pesados 21

2.9 Avaliação do risco a saúde 23
2.10 Avaliação do risco carcinogénico 24
3. PARTE EXPERIMENTAL 25
3.1. Descrição da área de Estudo 25
3.1.1. Cidade de Maputo 25
3.1.2 Cidade da Matola 26
3.2 Amostragem 28
3.3 Materiais, reagentes e equipamentos 29
3.4 Preparação da amostra e padrões 29
3.5 Condições instrumentais 30
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO DAS ANÁLISES 31
4.1 Avaliação da precisão e exactidão do método 31
4.2 Metais pesados 32
4.3 Índice de poluição da água por metais pesados 37
4.4 Avaliação do risco a saúde humana 39
4. CONCLUSÕES 41
REFERENCIA BIBLIOGRAFICA 42
ANEXOS ..... a

Índice de figuras

Figura 1. Distribuição da água no planeta. 5
Figura 2. Localização geográfica da cidade de Maputo. 26
Figura 3. Localização geográfica da cidade da Matola. 27
Figura 4. Teor do arsênio e cádmio nas amostras de água engarrafada. 33
Figura 5. Teor do níquel e chumbo nas amostras de água engarrafada. 34
Figura 6. Teor do tálio e urânio nas amostras de água engarrafada. 35

Índice de tabelas

Tabela 1. Classificação quanto á composição química da água engarrafada. 10
Tabela 2: Vantagens, desvantagens e MP removidos pelos diferentes métodos. 18
Tabela 3. Marcas de águas engarrafadas analisadas. 28
Tabela 4. Materiais, reagentes e equipamentos. 29
Tabela 5: Condições de análise no ICP-OES 30
Tabela 6. Resultados obtidos na validação do método ICP-OES. 31
Tabela 7. Concentração de MP em amostras de água engarrafada. 36
Tabela 8. Resultados do C_d, HPI e HEI das amostras de água em estudo. 37
Tabela 9. Resultados do índice de risco e de câncer das amostras de água em estudo 40

Lista de Abreviaturas e Acrónimos

OMS - Organização Mundial de Saúde *(Word Health Organization)*

EPA - *Environmental Public Agency* (Agência de Protecção Ambiental dos Estados Unidos)

APHA - *American Public Health Association* (Associação Americana de Saúde Pública)

ICP-OES - *Inductively Coupled Plasma Optical Emission Spectroscopy* (Espectrometria de Emissão Óptica com Plasma Acoplado Indutivamente)

λ - Cumprimento de onda

LMA - Limite máximo admissível

LC - Limite de Confiança

ND - Não detectado

MP - Metal pesado

W_i - Peso etário

Q_i - Sub-índice do indicador

S_i - Valores permitidos para água de consumo

I_i - Valor ideal para o parâmetro

MAC - Concentração máxima admissível

RfD - Valor de referência

C_d - Índice de contaminação

HEI - Índice de avaliação de metais

HPI - Índice de poluição por metais pesados

C_f - Factor de contaminação

HC - Concentração

M_i - Concentração real,

I_i - Concentração ideal

SI - Sem informação

HQ - Quociente de risco

HI - Índice de risco,

IDC - Ingestão diária crónica

DDR - Dose diária de referência

CDA - Consumo diário

TE - Tempo de exposição

DE - Duração da exposição

PC - Peso corporal

TME - Tempo médio de exposição

RC - Risco de câncer

FC - Factor de câncer

RCC – Efeito cumulativo do risco

C - Concentração do indicador

NF – Não fornecido

1. INTRODUÇÃO

A água é um bem-essencial à vida de qualquer ser humano, pois representa uma parcela significativa no organismo e participa activamente em quase todos os processos fisiológicos necessários à sobrevivência. A crescente preocupação com a qualidade da água, resultante da poluição crescente das fontes hídricas leva grande parte da população global a optar pelo consumo de água engarrafada (Leclerc & Moreau, 2002).

A água engarrafada é comercializada com a promessa de ser uma fonte segura e pura para hidratação. Apesar dos benefícios da água engarrafada, vários estudos têm constatado concentrações de metais pesados (MP) acima do limite máximo admissível (LMA), gerando preocupações em relação aos padrões estabelecidos pela legislação e colocando em risco a saúde dos consumidores (Olowoyo *et al*., 2022).

Um dos factores humanos que tem um impacto negativo na qualidade da água é a actividade das empresas mineiras, que em escala industrial ou artesanal, promovem a contaminação da água por metais pesados. Outro factor é o contacto da água com rochas, solos e materiais de embalagem que pode resultar na dissolução de elementos como arsénio, cádmio, chumbo e mercúrio na água. Além disso, práticas industriais, poluição atmosférica e influências ambientais também podem introduzir esses elementos na água (Olowoyo *et al*., 2022). Também, a corrosão pode ocorrer ao longo do tempo, levando à liberação de elementos tóxicos na água quando há contacto entre a água e o revestimento metálico das tubulações, de acordo com Amalina *et al*., (2022).

A qualidade e pureza da água engarrafada é essencial para garantir a saúde pública e a segurança dos consumidores. Metais pesados são um grupo de elementos químicos que apresentam massa específica elevada, maior ou igual a $3,5\ g/cm^3$ (Lima & Merçon, 2011). Contudo, outros autores já colocam esse valor de referência em 5 g/mL e, até mesmo, em 7 g/mL, Eles não se decompõem facilmente no meio ambiente e apresentam a propriedade de acumulação biológica no corpo, podendo causar efeitos tóxicos mesmo em níveis baixos (Dórea, 2008; OE & OS, 2017).

Entre os metais pesados mais comuns encontrados na água engarrafada, o chumbo é um dos mais preocupantes devido à sua toxicidade. A exposição crónica ao chumbo tem sido associada a danos neurológicos, impactos no desenvolvimento infantil e distúrbios no sistema

cardiovascular. Os principais efeitos no sistema nervoso, por exposição crônica, são as encefalopatias que resultam em irritabilidade, cefaleia, tremor muscular, alucinações, perda da memória e da capacidade de concentração. Esses sintomas podem progredir e causar delírios, convulsões, paralisias e coma (Capellini *et al*., 2008).

A presença de outros metais pesados na água, como o cadmio, constitui igualmente uma preocupação para a saúde publica, em virtude da sua toxicidade e dos potenciais efeitos adversos decorrentes da exposição.

O cádmio não é considerado um elemento essencial para o ser humano. A exposição a grandes quantidades de cádmio pode causar danos nos sistemas nervoso central e imunológico, além de distúrbios de fertilidade e ocorrência de diferentes tipos de câncer (Bakirdere *et al.*, 2013).

A utilização de água engarrafada que não represente riscos para a saúde do consumidor é assegurada pela legislação. Assim, o controlo da qualidade química, como um dos parâmetros mais importantes na produção e consumo de água engarrafada, é crucial (WHO, 2017). No entanto, é fundamental garantir a boa qualidade da água através de verificações e monitorização contínua dos parâmetros físico-químicos e biológicos.

Os laboratórios de controlo de qualidade das indústrias processadoras de água engarrafada geralmente se preocupam com poucos parâmetros físico-químicos e biológicos como pode ser atestado pela informação dos rótulos. Por isso, o objectivo do presente estudo foi avaliar as concentrações dos metais pesados em amostras de água engarrafada de diferentes marcas comercializadas nas cidades de Maputo e Matola utilizando o método de espectroscopia de emissão óptica com plasma acoplado indutivamente e comparar os resultados obtidos com os valores estabelecidos na legislação local e internacional assim como avaliar o risco a saúde pública associado ao seu consumo desenfreado.

1.1. Objectivos

1.1.1. Objectivo geral

Avaliar o teor de metais pesados em amostras de águas engarrafadas comercializadas nas cidades de Maputo e Matola, utilizando o método de espectrometria de emissão óptica com plasma acoplado indutivamente (ICP-OES).

1.1.2. Objectivos Específicos

- Determinar as concentrações dos metais pesados nas amostras de água engarrafada comercializadas nas cidades de Maputo e Matola;
- Comparar os resultados das concentrações /teores obtidos nas amostras com os limites máximos admissíveis estabelecidos na legislação (Diploma Ministerial 180/2004), OMS e EPA) de qualidade da água engarrafada;
- Avaliar os níveis de poluição por metais pesados na água engarrafada usando o índice de poluição por metais pesados;
- Avaliar o risco a saúde resultante do consumo das águas engarrafadas em estudo.

1.2. Justificativa

Nas últimas duas décadas, têm sido registados diversos casos de contaminação química em água potável, resultantes da formação de compostos orgânicos halogenados durante o tratamento da água, bem como de problemas associados a tubagens antigas. Isto tem levado alguns consumidores a recorrer a águas engarrafadas como alternativa a água de abastecimento público (Carvalho, 2015). Contudo, o facto de a água ser engarrafada não significa que esteja isenta de contaminantes, como chumbo, cadmio, arsénio entre outros metais, cuja presença pode estar relacionada com as características da fonte, as condições de captação e ou o processo de armazenamento.

Assim, torna-se importante avaliar a qualidade da água engarrafada quanto a presença de metais pesados, de modo a verificar se as concentrações encontradas estão dentro dos limites estabelecidos pela legislação e, consequentemente, contribuir para a proteção da saúde dos consumidores.

É fundamental saber o que está consumir para garantir a segurança dos consumidores, cumprir as normas de qualidade e promover a transparência na indústria de água engarrafada. Por outro lado, o consumo de água engarrafada tem aumentado nas grandes cidades, e por ser um produto essencial, espera-se que o crescimento neste mercado continue. Neste contexto, podem surgir produtos de qualidade duvidosa, representando riscos para a saúde dos consumidores.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1. Origem da água engarrafada

As águas engarrafadas, minerais naturais e de nascente de origem subterrânea, provêm de aquíferos bem protegidos. Estes aquíferos são reservatórios de águas subterrâneas que funcionam devido ao ciclo hidrológico.

A circulação da água na superfície e no interior do planeta terra está bem expressa no chamado ciclo ou circuito hidrológico. Neste ciclo a água passa da terra para a atmosfera, por efeito da evaporação e da respiração e transpiração de plantas e animais. Da atmosfera volta para terra, por efeito da precipitação sob a forma de chuva, neve e granizo. O ciclo da água é comandado pela energia solar e pela gravidade. Estima-se que cerca de 435 000 km^3/ano de água se evaporem dos oceanos e que da água evaporada a chuva faça retornar directamente aos oceanos cerca de 390 000 km^3/ano. Cerca de 45000 m^3/ano são transferidos pelo vento como vapor de água dos oceanos para os continentes, valor que representa o valor total de água renovável, e expressa a diferença líquida entre a evapotranspiração continental (65000 km^3/ano) e a precipitação (110000 km^3/ano), acabam por fluir através dos rios e aquíferos subterrâneos para os mares e oceanos. E, só cerca de 10% do valor referido, isto é, 4500 m^3/ano, faz a recarga dos aquíferos subterrâneos (Gomes, 2023).

Naturalmente, o ritmo de extracção de água dos aquíferos deve ter em conta a velocidade de recarga dos mesmos para evitar o esgotamento. Se do volume total de água renovável e disponível fosse dividido igualitariamente por todos os habitantes da terra, cerca de 6000 m^3 caberiam a cada um, valor que é 10 vezes superior ao actual consumo (Gomes, 2023).

A distribuição da água no planeta terra é crucial para entender a disponibilidade desse recurso vital. A maior parte da água, aproximadamente 97,5%, está nos oceanos e mares, sendo salgada e inadequada para consumo directo, conforme a Figura 1. Apenas cerca de 2,5% da água do planeta é doce. Dentro desse pequeno percentual de água doce, a maior parte, cerca de 68,7%, está congelada nas calotas polares, geleiras e neves permanentes. Outra parcela significativa, aproximadamente 30,1%, está armazenada em aquíferos subterrâneos, enquanto os lagos, rios e pântanos compõem apenas cerca de 0,3% dessa água doce (Stelhato, 2017).

Essa distribuição destaca a importância de gerir e preservar os recursos hídricos, pois a porção acessível para consumo directo é relativamente limitada. As mudanças climáticas e actividades

humanas podem impactar essa distribuição, ressaltando a necessidade de práticas sustentáveis para garantir a disponibilidade de água potável para as futuras gerações.

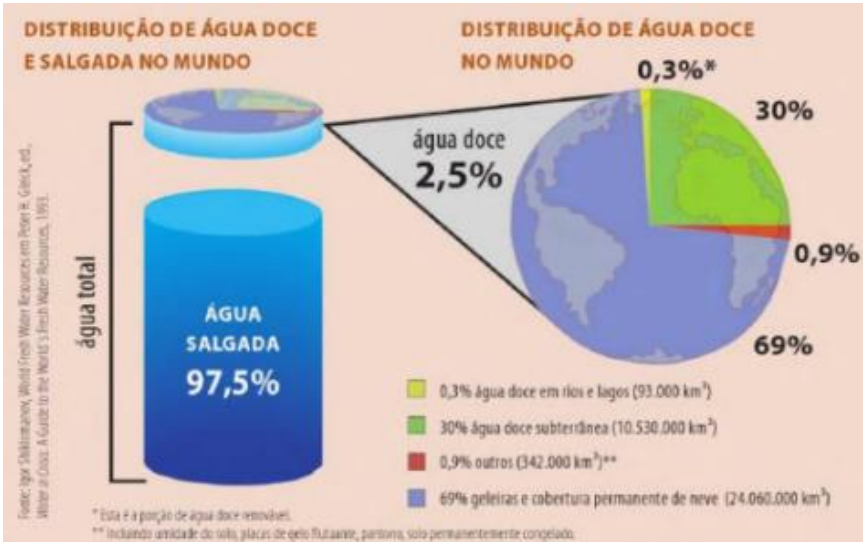


Figura 1. Distribuição da água no planeta.
Fonte: Webgeo.net (2022) (http://www.webgeo.net.br)

A origem da água engarrafada é um factor fundamental que determina sua composição mineral e qualidade. Diferentes fontes naturais contribuem para a diversidade das águas engarrafadas disponíveis no mercado. Nas cidades, o consumo de água engarrafada tem registrado aumentos consecutivos a cada ano, talvez devido a má qualidade da água de abastecimento em algumas regiões ou à percepção de que o consumo de água mineral esteja associado a hábitos saudáveis de vida.

Existem 2 teorias clássicas sobre a origem das águas minerais (Reis, 2011):

a) Águas Meteóricas: compõem a maioria das águas subterrâneas e sua composição química é influenciada pela interacção com os minerais das formações aquíferas por onde a água percola.
b) Águas Juvenis: São menos comuns e parcialmente endógenas, com características físico-químicas distintas, incluindo alta temperatura, grande quantidade de CO_2 e presença de elementos específicos. As águas juvenis têm quatro origens principais:

- *Origem Vulcânica*: Associada ao fim da actividade vulcânica, exalando vapor de água acompanhado de CO_2, N_2, H_2S, HCl, HF e SO_2;
- *Origem Magmática*: Formada durante a cristalização dos magmas, contendo constituintes voláteis como flúor, cloro, enxofre, carbono, fósforo, boro e outros. A

concentração de sais e a temperatura são relativamente constantes, sendo do tipo hipertermal;

- *Origem Mista*: Resultado da combinação de águas juvenis e meteóricas provenientes de uma corrente hidrotermal ou outro evento magmático;
- *Reacções Químicas*: Formada por reacções químicas que ocorrem na crosta terrestre.

As águas minerais naturais distinguem-se da água de beber normal pela sua pureza na origem ou fonte, e pelo teor constante dos minerais que contém; as águas de nascente são preferencialmente utilizadas no consumo humano, no seu estado natural e, para o efeito são engarrafadas na origem ou fonte (Gomes, 2023).

As águas minerais são aquelas que alcançaram maiores profundidades e enriqueceram-se em sais, adquirindo novas características físico-químicas. Elas principalmente provêm de aquíferos intermediários situados aproximadamente a 300 metros de profundidade, separados dos aquíferos superficiais por camadas limitantes. Nessas áreas, a água mineral fica retida em um local bem definido e protegido, com composição química, temperatura e taxa de fluxo geralmente estáveis (Fernandes *et al*., 2017).

A presença de metais pesados em água engarrafada pode ter origens diversas, que incluem processos naturais, actividades humanas e contaminação ambiental. Esses metais podem ser introduzidos na água durante as etapas de captação, tratamento e armazenamento, representando uma preocupação significativa para a qualidade da água engarrafada (Moreira & Moreira, 2004).

A colecta deve ser realizada sob condições que preservem as características originais da água no poço ou fonte, mantendo-a estável dentro dos limites de flutuação, sem influência directa de águas superficiais. Além da implementação de medidas de higiene durante a captura e embalagem da água como a sanitização dos equipamentos e precauções no armazenamento e transporte do produto final, é crucial proteger o produto e sua embalagem da deterioração (Carvalho, 2015).

2.2. Classificação das Águas Engarrafadas

As águas engarrafadas são classificadas de acordo com suas características físicas e químicas, que são influenciadas pela fonte de origem, pelo processo de tratamento e pelas características geográficas da região. Essa classificação é fundamental para ajudar os consumidores a tomar decisões informadas e garantir que as águas engarrafadas cumpram os padrões regulatórios de qualidade.

2.2.1. Quanto à fonte

Destina-se ao consumo humano toda a água no seu estado original ou após tratamento, destinada a ser bebida, a cozinhar, a preparar alimentos ou para outros fins domésticos, independentemente da sua origem e de ser fornecida a partir de um sistema de abastecimento de água com ou sem fins comerciais (Diploma Ministerial 180/2004).

Água engarrafada consiste na água contida em recipientes hermeticamente selados de várias formas, capacidades e composições destinadas ao consumo humano e que se distinguem da água de beber comum pela sua pureza original e pelas suas características minerais, oligoelementos e/outros constituintes (Diploma Ministerial n.° 38/2006).

A água engarrafada é destinada ao consumo humano e as suas características estão relacionadas, entre outros aspetos, com a sua origem e composição. A água engarrafada, que ganhou popularidade como alternativa à água da torneira, provém de diversas fontes naturais e é submetida a processos de tratamento antes de ser comercializada.

As águas minerais engarrafadas são distintas da água pura, quimicamente constituída apenas por oxigénio e hidrogénio, porque, para além destes dois elementos químicos fundamentais, elas contêm muitos outros elementos e compostos químicos adquiridos por dissolução química dos minerais das rochas, sedimentos e solos, materiais geológicos através dos quais elas circulam (ANJOS, 2003).

As fontes de água engarrafada podem incluir aquíferos subterrâneos, nascentes, lagos e fontes termais. Cada uma dessas fontes confere características únicas à água, incluindo a presença de minerais, metais pesados e oligoelementos dissolvidos. Por exemplo, águas provenientes de nascentes em áreas montanhosas frequentemente apresentam uma composição mineral distinta daquelas provenientes de aquíferos subterrâneos em regiões mais planas (Sezinando, 2013).

As águas engarrafadas quanto as fontes são classificadas em águas de nascente, águas minerais, águas artesanais e água de poço.

As *nascentes,* por exemplo, são consideradas fontes de água engarrafada de alta qualidade devido à sua pureza natural. A água de nascentes muitas vezes passa por filtração natural através das camadas de solo e rocha, o que pode contribuir para sua mineralização e qualidade microbiológica (WHO, 2017).

Água Mineral tem origem subterrânea, proveniente de aquíferos cativos, brotando através de nascente ou emergências naturais e artificialmente captadas, que possua propriedades físico-químicas distintas das águas provenientes do sistema de abastecimento de água, contendo minerais ou outros elementos químicos em proporções relativamente constantes sem, contudo, sofrer nenhum tratamento nem adição de minerais de modo a manter a sua composição química original (Diploma Ministerial n.° 38/2006).

A *água artesiana* é aquela que provém de um poço ou furo que aproveita um aquífero fechado, com pressão suficiente para fazer a água subir naturalmente até a superfície, ou a um nível mais alto. A água artesiana é valorizada por sua pureza e características mineralógicas distintivas.

A *água do poço* é aquela que brota de uma abertura ou de uma perfuração no terreno para ter acesso a água dum aquífero. Frequentemente, requer uma bomba para extração, especialmente se a pressão natural não for suficiente para trazer a água à superfície. É comum em áreas rurais e agrícolas. A água de poço é frequentemente utilizada para abastecimento de residências e sistemas de irrigação.

A escolha da fonte de água para engarrafamento é influenciada por diversos factores, incluindo a disponibilidade, a localização geográfica e as características geológicas da região. Além disso, os processos de tratamento a que a água é submetida após a colecta também desempenham um papel crucial na garantia da segurança e qualidade da água engarrafada.

O consumo da água engarrafada é considerado uma opção saudável somente quando a qualidade microbiológica e a ausência de contaminantes químicos são devidamente ponderadas, ou seja, quando não há presença de substâncias químicas na água acima dos limites aceitáveis.

2.2.2. Quanto ao tratamento

O tratamento aplicado à água engarrafada constitui um dos aspetos importantes para a sua classificação e para a garantia da qualidade da água destinada ao consumo humano. Dependendo da sua origem, composição e características físico-químicas, a água pode ser submetida a diferentes processos de tratamento, com o objetivo de melhorar a sua qualidade, remover determinadas substâncias ou ajustar a sua composição antes do consumo. Assim, a legislação moçambicana estabelece diferentes categorias de água engarrafada de acordo com o tipo de tratamento a que esta é submetida.

A classificação da água engarrafada quanto ao seu tratamento pode variar dependendo da origem e do processo de tratamento aplicado (Diploma Ministerial n.° 38/2006).

Água potável de Mesa – a que provém de uma fonte natural ou de fontes artificialmente captadas, preenchendo uma composição normal e condições de potabilidade, sujeita ou não a um tratamento ou adição de sais minerais em substituição ou enriquecimento dos inicialmente existentes.

Água de mesa mineralizada - aquela que é preparada com a adição de minerais.

Água purificada – sujeita a um tratamento por destilação, desionização, osmose reversa ou adição de sais minerais de uso permitido em substituição ou enriquecimento inicialmente existente.

Água esterilizada - que foi substancialmente alterada através de um processo de esterilização.

Água preparada para o consumo - aquelas que foram substancialmente alteradas, fazendo com que a sua composição já não seja a da sua origem (águas aromatizadas e/ou com adição de sabores e aditivos).

A diversidade dos tratamentos aplicados demonstra que as águas engarrafadas podem apresentar diferentes características de composição. Assim, a presença das concentrações dos metais pesados pode estar relacionadas com a origem da água, as características da fonte e, em determinados casos, com os processos aos quais a água é submetida antes do seu engarrafamento e comercialização.

2.2.3. Quanto à composição química

A composição química das águas engarrafadas varia amplamente de acordo com a fonte, as características geológicas da região e os processos de tratamento utilizados. A presença de minerais dissolvidos e compostos químicos influencia directamente o sabor, a textura e as propriedades terapêuticas percebidas da água engarrafada.

Águas engarrafadas são frequentemente valorizadas por sua contribuição mineral, fornecendo elementos como cálcio, magnésio, potássio e sódio. Esses minerais podem estar naturalmente presentes na água, oriundos da interacção da água com rochas e solos. A concentração desses minerais pode variar, influenciando o perfil de sabor e as propriedades sensoriais da água (U.S. Environmental Protection Agency (EPA), 2011).

As águas engarrafadas apresentam diferenças entre si, sendo que cada uma possui uma composição específica de sais minerais. O regulamento relativo à Qualidade das Águas Engarrafadas destinadas ao consumo humano estabelece uma classificação química para os vários tipos de água existentes. São apresentados alguns parâmetros químicos e os valores máximos permitidos de metais pesados para a qualidade das águas engarrafadas, de acordo com a Tabela 1 (Diploma Ministerial 180/2004).

Tabela 1. Classificação quanto à composição química da água engarrafada.

Parâmetro	Limite máximo admissível
Arsénio	0,01 mg/L
Bário	0,7 mg/L
Cádmio	0,003 mg/L
Chumbo	0,01 mg/L
Cobre	1,0 mg/L
Crómio	0,05 mg/L
Manganês	0,1 mg/L
Mercúrio	0,001 mg/L
Níquel	0,02 mg/L
Selénio	0,01 mg/L
Tálio	0,002 mg/L
Urânio	0,03 mg/L
Zinco	3,0 mg/L

Fonte: Adaptado de (Diploma Ministerial 180/2004; U.S. Environmental Protection Agency, 2011).

Os metais pesados não podem ser destruídos e são altamente reactivos do ponto de vista químico. Geralmente, ocorrem em baixas concentrações, ligados a outros elementos químicos, formando minerais em rochas. Também podem originar-se de fontes antropogénicas, das quais se destacam a indústria química e metalúrgica, a mineração, alguns pesticidas agrícolas e os esgotos domésticos (Anjos, 2003).

A preservação das características da água engarrafada, desde a sua captação na fonte até chegar ao consumidor final é responsabilidade da indústria, que utiliza a rotulagem como ferramenta informativa para o consumidor. Desta forma, a qualidade e os parâmetros da água engarrafada são expressos através das características físico-químicas presentes no rótulo. Essas informações são essenciais, pois auxiliam o consumidor a fazer a melhor escolha de um produto que atende as suas necessidades.

2.3. Contaminação da água por metais pesados

Os metais têm contribuído de forma significativa para a poluição do ar, da água e do solo, interferindo temporária ou permanentemente na manutenção da biota terrestre e aquática, incluindo a própria espécie humana tanto de forma directa quanto indirecta. Assim, tem-se verificado, no decorrer da história das civilizações, o reflexo da expansão acelerada dos núcleos urbanos, do desenvolvimento industrial e agrícola, os quais, apesar dos inúmeros benefícios ao homem, impõem novas e futuras restrições ao uso dos recursos naturais.

A intervenção humana pode ser considerada como o maior responsável pela magnitude e frequência da disposição dos metais, uma vez que a sua geração e utilização como subproduto nas actividades industriais ocorre em escala exponencial, gerando diversos impactos em níveis local e global, levando a um estresse contínuo da natureza e, consequentemente, a efeitos agudos ou crónicos à saúde dos ecossistemas e do homem (Aguiar *et al.*, 2002).

O intemperismo e a lixiviação do solo são exemplos de processos naturais que geram o aparecimento de metais pesados na água e no solo. Embora os metais pesados estejam presentes naturalmente no meio ambiente, o aumento em sua concentração pode ocorrer tanto por processos naturais quanto por atividades humanas (Muniz & Oliveira-Filho, 2006).

A diferença entre ambos reside na magnitude do impacto, na frequência (ocasional, contínua ou intermitente) e na duração (horas, meses e anos) em que ocorre a distribuição e contaminação pelos metais, ocasionando impactos consideráveis na estrutura e funcionamento dos ecossistemas (Olowoyo *et al*., 2022). Além disso, deve-se considerar, que a contaminação por metais pode ocorrer por fontes difusas, como aquelas originadas pela atmosfera, deposições sólidas e lixiviação do solo, particularmente em áreas agrícolas e fontes pontuais, caracterizadas principalmente pelas emissões de efluentes industriais, esgotos domésticos, depósitos de lixo e despejos de mineração.

Entre os dois processos, os naturais, dependendo da sua magnitude e frequência, são mais assimiláveis pelos ecossistemas, pois ocorrem de forma gradual. Enquanto os antropogénicos frequentemente ocorrem em concentrações e durações que não permitem a assimilação dos ecossistemas, sendo, como os naturais, cumulativos no sistema ambiental (Muniz & Oliveira-Filho, 2006).

A composição física e química da água, influencia significativamente o transporte de metais, afetando-os de diferentes formas, como partículas sólidas, coloides, iões dissolvidos e formas complexadas dissolvidas. Além disso, o material em suspensão desempenha um papel crucial no transporte e no ciclo geoquímico de metais em sistemas aquáticos.

As características físicas e geoquímicas desse material afetam sua capacidade de se ligar aos metais, o que, por sua vez, auxilia na autodepuração dos corpos de água (Garcia & Passos, 2021).

Apesar de alguns dos metais pesados serem essenciais aos seres vivos, como magnésio, ferro, zinco, manganês, cobre, cobalto, molibdénio e boro (actuando em diversos processos fisiológicos em baixas concentrações), em concentrações superiores as necessárias ao organismo podem ser tóxicos (OE & OS, 2017). A toxicidade desses elementos depende, entre outros fatores, da concentração, da forma química, da duração da exposição e da capacidade do organismo de os absorver e metabolizar.

2.4. Caracterização e toxicidade dos metais pesados

O interesse pelas características e toxicidade dos metais tem crescido nos últimos anos, como consequência das exposições ocupacionais e ambientais a esses elementos bem como dos distúrbios de saúde que eles causam, como a insuficiência renal (Moreira & Moreira, 2004).

A água desempenha um papel fundamental como principal veículo de transporte de metais pesados na litosfera. Essa acção ocorre nos sólidos presentes nos solos, nas águas superficiais e subterrâneas, e pode resultar no transporte de quantidades significativas de metais tóxicos possibilitando a interação com vários ciclos hídricos e processos biogeoquímicos (Bourg & Loch, 1995).

a) **Arsénio -** este metaloide tóxico apresenta-se em duas formas inorgânicas principais: arseniato (AsO_4^{3-}) e arsenito, AsO_2^-. Sua fonte comum são os sulfetos. O arsénio é um elemento químico versátil e capaz de formar uma variedade de compostos. Pode ser encontrado em águas subterrâneas e em alguns alimentos, principalmente em mariscos. Tem sido utilizado em várias aplicações industriais, como na fabricação de ligas metálicas, vidros, pesticidas e produtos farmacêuticos. A forma trivalente, As (III), é a mais tóxica, seguida pela forma pentavalente, As (V), e posteriormente pelas formas orgânicas (Gomes, 2023).

   A exposição aguda pode causar sintomas como náuseas, vómitos, diarreia, dor abdominal intensa e, em casos graves, insuficiência cardíaca e respiratória. Também pode causar danos ao sistema nervoso, cardiovascular e respiratório, para além de problemas de pele e perturbações metabólicas (J.-L. Huang *et al.*, 2024).

   No organismo, o arsénio é absorvido pelo fígado, rins e pulmões. Apresenta efeitos carcinogénico, mutagénico e teratogénico, com a possibilidade de cólica intensa, salivação, diarreia com presença de sangue, e ranger de dentes (Li *et al*., 2017).

b) **Cádmio** é um metal prateado, maleável e macio. A sua principal fonte é o $CdSO_4$ associado ao $ZnSO_4$. Obtém-se por extracção em minérios de zinco, através da sua precipitação a partir dum metal mais electropositivo na série electroquímica.

   Quando queimado ou aquecido, produz o óxido de cádmio sob a forma de pó branco e amorfo, ou então forma cristais de cor vermelha. No entanto, tanto o cádmio como o óxido de cádmio são insolúveis em água. A sua toxicidade deve-se à forte afinidade de

seus catiões pelo enxofre, que está comummente presente nas enzimas responsáveis por monitorar a cinética das reacções metabólicas, substituindo ou bloqueando a acção dos hormônios do corpo, por meio de mecanismos fisiológicos, além de interferir na quantidade, afectando as funções endócrinas (Albuquerque, 2020).

É utilizado na produção de baterias, plásticos, tintas, revestimentos anticorrosivos e em componentes electrónicos. Esses revestimentos são utilizados em diversos segmentos industriais, por exemplo, em parafusos usados em automóveis. Também é usado em componentes electrónicos, reactores nucleares, indústria aeronáutica e até em plataformas de petróleo no mar (Oliveira *et al.*, 2011).

A exposição crónica ao cádmio é mais preocupante. Ele é bioacumulativo, ou seja, pode acumular-se nos tecidos do corpo ao longo do tempo. O cádmio é particularmente tóxico para os rins, podendo causar danos renais graves. Além disso, afecta o metabolismo do cálcio e do fósforo, prejudicando a saúde dos ossos. Pode levar ao desenvolvimento de osteoporose, osteomalacia (amolecimento dos ossos) e outros distúrbios ósseos (Muniz & Oliveira-Filho, 2006).

O cádmio está associado a um maior risco de câncer de pulmão e próstata. Sua acção tóxica não difere dos demais metais tóxicos, ou seja, ocorre devido à afinidade por grupos sulfídricos (–SH), bloqueando as enzimas (Garcia *et al*., 2021).

c) Níquel é um metal maleável, dúctil e de cor branco-metálico. Os sulfetos são os minérios com elevado grau comercial. A sua principal fonte é a pentlandite $(Fe,Ni)_9S_8$, geralmente associada a FeS (pirrotite). Os estados de oxidação são +2 e +4, sendo o primeiro o mais estável.

O níquel é resistente a corrosão e oxidação. É frequentemente utilizado em sua forma pura, sendo empregado como protector em alguns tipos de ferramentas metálicas, moedas e equipamento militar. Também é aplicado na fabricação de diversos tipos de aços e na construção civil. Sua resistência à oxidação e corrosão faz com que seja amplamente empregado no sector siderúrgico (Silva, 2001).

É um metal cancerígeno e pode causar dermatite de contacto, gengivites, erupções na pele, estomatite, tonturas, dores articulares, osteoporose e fadiga crónica (Chaves, 2008).

d) **Chumbo -** é um metal macio, maleável e de cor cinza-azulada, o que torna útil para moldagem em várias formas e aplicações. Tem um baixo ponto de fusão, o que o torna adequado para uso em soldagem e fundição. A sua principal fonte é a galena (PbS). Os seus estados de oxidação são +2 e +4. Obtém-se por aquecimento na presença de ar e, posterior redução (Chaves, 2008).

   O chumbo já foi amplamente utilizado em tintas, gasolina, baterias, cabos eléctricos e soldaduras. No entanto, devido à sua toxicidade, muitos desses usos foram restringidos ou eliminados. Acumula-se no sangue e nos tecidos, deposita-se também nos ossos, o que pode causar anemia e degeneração das hemácias, além de problemas renais, neurites e cólicas abdominais. Isto ocorre porque a maior parte do Pb^{2+} que entra no organismo humano, inicialmente vai para o sangue, bioacumulando-se nas células e penetrando nos tecidos moles (órgãos), incluindo o cérebro. Com o tempo o Pb^{2+} se deposita nos ossos, substituindo o Ca^{2+}. Esse acumulo pode provocar lesões nos sistemas reprodutivo, nervoso, imunológico e urinário (Albuquerque, 2020).

   O chumbo não apresenta nenhuma função essencial conhecida no corpo humano. É extremamente danoso quando absorvido pelo organismo através da alimentação, do ar ou da água (Grigoletto *et al*., 2012). O principal risco em crianças é a interferência no desenvolvimento normal do cérebro. Isto causa efeitos prejudiciais sobre o comportamento e a capacidade de atenção (Hosseini *et al.*, 2015).

e) **Tálio** é um metal branco-prateado que pode adquirir um brilho metálico quando exposto ao ar. Ele é relativamente macio e maleável. É um metal reactivo que reage com o oxigénio e forma uma camada de óxido na superfície quando exposto ao ar. Devido à sua toxicidade, o tálio tem poucas aplicações industriais. Foi usado no passado em dispositivos electrónicos, ligas metálicas e produtos químicos, mas seu uso foi reduzido. O tálio é notório pela sua toxicidade, mesmo em pequenas quantidades. A ingestão de uma quantidade relativamente pequena de compostos de tálio pode causar efeitos graves, incluindo sintomas gastrointestinais, danos ao sistema nervoso, problemas cardíacos e, em casos extremos, pode ser fatal (Insley *et al.*, 1986).

f) **Urânio** é um metal pesado que é prateado-branco quando puro, porém pode oxidar e escurecer ao entrar em contacto com o ar. A característica mais conhecida do urânio é sua radioactividade.

O urânio tem diversas aplicações, sendo a mais notável a geração de energia em usinas nucleares. Além disso, é utilizado na produção de materiais radioactivos para aplicações médicas e científicas, assim como na fabricação de armamentos nucleares (Melo & Burkart, 2019).

A exposição a partículas radioactivas emitidas pelo urânio pode danificar as células do corpo e aumentar o risco de câncer nos pulmões e nos ossos, além de causar problemas renais e doenças pulmonares (Melo & Burkart, 2019).

A água está envolvida em diversas funções corporais, sendo responsável pelo transporte de nutrientes e outras substâncias no sistema circulatório. Além disso, actua como veículo para excreção de metabólitos, eliminação de toxinas, lubrificação e suporte estrutural aos tecidos e articulações. No entanto, não existe um mecanismo eficiente para o corpo armazenar água, daí a necessidade de fornecimento constante de fluidos para manter o conteúdo hídrico estável.

2.5. Métodos de Tratamento da água para remoção de metais pesados

Enquanto nos Estados Unidos, a WHO, 2017 estabelece padrões para a água potável e especifica limites máximos para a concentração de metais pesados, permitindo a utilização de diversos métodos de tratamento, como filtração por carbono ativado, troca iônica e osmose reversa, para remover contaminantes.

Em Moçambique e em Portugal, o Diploma Ministerial n.° 38/2006 estabelece que as águas engarrafadas destinadas ao consumo humano devem ser potáveis desde o ponto de captação. Na União Europeia, no Canadá, e na Austrália, a semelhança dos Estados Unidos também são estabelecidas directrizes para a remoção de metais pesados, incentivando o uso de vários métodos de tratamento, como osmose reversa e adsorção.

O tratamento de água contaminada com metais pesados pode envolver várias técnicas, dependendo da natureza e concentração dos metais presentes. Alguns métodos comuns para tratar água contaminada com metais pesados são:

a) **Precipitação Química**: Este método envolve a adição de reagentes químicos, como sulfato de cálcio ou sulfeto de sódio, à água contaminada. Isso leva à formação de precipitados sólidos dos metais, que podem ser separados da água (J. Reis *et al*., 2022)

b) **Osmose Reversa:** A filtração por membrana, como a osmose reversa e a nanofiltração, pode ser usada para separar eficazmente iões metálicos da água, retendo os metais enquanto permite que a água limpa passe através de membranas semipermeáveis. Pode remover substâncias com tamanho inferior a 0.001 μm, sendo posterior aos processos de micro, ultra e nanofiltração. A água é forçada, sob pressão, contra uma membrana semipermeável, por onde a água passa e as substâncias em questão ficam retidas (Pertile, 2013).

c) **Troca iónica:** A desionização, desmineralização ou troca iónica é um processo que visa a remoção de iões pela passagem da água por pequenas esferas de resina electricamente carregadas, permitindo a troca selectiva de iões dissolvidos – são trocados iões hidrogénio (H^+) pelos contaminantes catiónicos presentes, bem como iões hidroxilo (OH^-) pelos contaminantes aniónicos presentes (Aguiar *et al*., 2002).

d) **Adsorção:** Materiais adsorventes, como carvão activado e zeólitas, podem ser usados para atrair e prender iões metálicos da água, removendo-os do fluxo de água (Carvalho, 2015).

e) **Electrocoagulação:** Este método usa corrente eléctrica para desestabilizar e coagular partículas de metal, permitindo sua remoção mais fácil por sedimentação ou filtração.

f) **Precipitação por Sulfeto:** Adicionando sulfeto de hidrogénio ou um agente precipitante semelhante à água contaminada, os metais pesados formam sulfetos ou outros sais insolúveis que podem ser removidos (J. Reis *et al*., 2022).

g) **Biolixiviação**: É uma tecnologia que consiste na solubilização de metais e posteriormente na sua reciclagem. O método ocorre a partir da acção de microorganismos oxidantes para extração de metais com Fe e S. (J. M. dos Reis *et al.*, 2022).

A Tabela 2 apresenta as principais vantagens e desvantagens entre os diferentes métodos para a remoção de MP.

Tabela 2: Vantagens, desvantagens e MP removidos pelos diferentes métodos.

Método	Vantagens	Desvantagens	Metais Removidos
Precipitação Química	Operação de tratamento simples	Custo com deposição de lodo, grande quantidade de produtos químicos	Cu, Zn, Cr, Pb, Cd (II), Mn (II) e Hg
Osmose Reversa	Custos operacionais médios, alta remoção de metal, sem adição de produtos químicos, equipamento simples	A membrana pode sofrer ataque químico	Cu, Ni, Zn e Cr
Troca iónica	Alta eficiência	Custos operacionais, produção de resíduos químicos	Cd, Pb, Hg, Ni, Cu e Zn
Oxidação ultravioleta	Degradação eficaz de contaminantes e produção de resíduos sólidos	Custos operacionais, tratamentos adicionais aos subprodutos	Cd, Pb, Hg, Ni, Cu e Zn
Adsorção	Operação e projecto simples, alta eficiência	Adsorventes possuem alto custo	Cr, Pb, Ni, Cd, Cu e Zn
Electrocoa-gulação	Operação de tratamento simples	Custo com deposição de lodo, grande quantidade de produtos químicos	Cu, Zn, Cr, Pb, Cd, Mn e Hg
Precipitação por Sulfeto	Baixa solubilidade dos sulfetos metálicos na solução, remoção seletiva de metais	Dificuldade em controlar a concentração de sulfeto, toxicidade dos microrganismos e corrosão	Cu, Pb, Cd, Zn e Ni
Biolixiviação	Menos malefícios ao meio ambiente, processo econômico, alta eficiência	Elevado tempo de operação, depende de condições atmosféricas	Cu, Zn, Pb, Ni, Mn, Cd, Fe, Nd e Co

Fonte: (J. M. dos Reis *et al*., 2022).

Os métodos acima variam em complexidade e eficácia, dependendo das características específicas da água contaminada e dos metais presentes.

A escolha do método mais adequado é influenciada por fatores como a concentração dos metais, o tipo de metal, e as propriedades físicas e químicas da água. Além disso, a eficiência de cada método pode ser afetada pela presença de outros contaminantes e pela necessidade de tratamento subsequente.

Portanto, é fundamental realizar uma análise detalhada da água para determinar o processo mais eficaz e econômico para a remoção dos metais pesados.

2.6. Métodos avançados de análise de metais pesados na água engarrafada

A composição química das águas engarrafadas resulta da interacção complexa entre a água, o ambiente geológico e as actividades humanas na região de captação. A análise detalhada dos metais pesados presentes na água é realizada por meio de técnicas analíticas avançadas, tais como espectroscopia de fluorescência de raios X por energia dispersiva (EDXRF), espectroscopia óptica com plasma acoplado indutivamente (ICP-OES) e a espectrometria de massa com plasma acoplado indutivamente (ICP-MS).

a) **Espectroscopia de Fluorescência de Raios X por Energia Dispersiva (EDXRF):** a técnica é altamente sensível e pode detectar elementos em concentrações muito baixas, oferecendo resultados rápidos e precisos. É uma técnica não destrutiva que envolve a exposição da amostra a raios X, resultando na emissão de fluorescência característica dos elementos presentes. Isso permite a análise de metais pesados em amostras sólidas ou líquidas sem a necessidade de preparação complexa da amostra (Santos *et al.*, 2013).

b) **Espectrometria de Emissão Óptica com Plasma Indutivamente Acoplado (ICP-OES)**: é uma técnica valiosa para a análise de metais pesados. Ela utiliza um plasma de alta temperatura para excitar os átomos dos metais, emitindo radiação que é característica de cada elemento. A detecção da radiação é usada para identificar e quantificar os metais presentes. O ICP-OES é apreciada pela sua precisão e capacidade de análise multe elementar, o que significa que pode simultaneamente medir concentrações de diversos elementos em uma única análise, economizando tempo e recursos enquanto fornece dados abrangentes e detalhados (Sri *et al*., 2023).

c) **Espectrometria de Massas com Plasma Acoplado por Indução (ICP-MS)**: é uma técnica de alta sensibilidade que permite a análise simultânea de uma ampla gama de metais pesados. Ela se baseia na ionização dos analitos em um plasma de alta temperatura, seguido pela sua separação e detecção precisa por espectrometria de massas. A ICP-MS é amplamente utilizada em laboratórios de análise ambiental devido à sua capacidade de detecção em níveis de traço, oferecendo resultados rápidos e confiáveis mesmo para elementos em baixíssimas concentrações.

2.7. Espectrometria de Emissão Óptica com Plasma Acoplado Indutivamente

No presente trabalho, foi utilizada a técnica de Espectrometria de Emissão Óptica com Plasma Acoplado Indutivamente (ICP-OES) para a determinação dos metais em estudo.

O ICP-OES é um método analítico utilizado para determinar a composição dos elementos em amostras. Esta técnica é altamente sensível, possui uma vasta gama de detecção, é capaz de analisar vários elementos simultaneamente e é adequada tanto para traços como para concentrações mais elevadas de elementos. No processo de análise por ICP-OES, a amostra é introduzida no sistema por meio de um nebulizador de alta pressão produzido por uma bomba, transformando a amostra em um aerossol. Entre o nebulizador e a tocha, é colocada uma câmara de pulverização que remove o excesso de gotas do aerossol por meio de um dreno, permitindo que uma parte da amostra passe pela tocha (Diniz, 2018). Na tocha, a amostra é energizada pelo plasma externo e os seus átomos são excitados. O plasma é gerado pela passagem de gás árgon através da bobina da tocha e uma corrente eléctrica de alta frequência na ponta do tubo da tocha. Isto cria um campo electromagnético que provoca a ionização do árgon e a formação do plasma. Este plasma é caracterizado por uma temperatura elevada, de cerca de 8000 K, e uma densidade electrónica elevada, características que favorecem a atomização e a excitação dos elementos presentes na amostra (Sri *et al*., 2023). Quando os átomos ou iões excitados retornam ao seu estado fundamental eles emitem radiação espectral em comprimento de onda característicos, correspondentes a energia dos fotões emitidos. A energia do fotão esta relacionada ao comprimento de onda da radiação (Skoog *et al.,* 2017). Essa radiação é captada por detectores ópticos que identificam os comprimentos de onda (Ribeiro, 2015). A identificação de um elemento químico é realizada com base na posição do comprimento de onda emitido, enquanto a quantidade do elemento é determinada pela intensidade da radiação. Um computador actua como unidade de processamento de sinais, analisando os dados e apresentando os resultados ao pesquisador de forma sistematizada (Sri *et al*., 2023).

Sua versatilidade permite que seja utilizada em diversas aplicações, como no monitoramento ambiental para detectar poluentes, na indústria para controle de qualidade de produtos e na área de saúde para análises clínicas. A combinação de alta sensibilidade, precisão e a capacidade de análise multe elementar torna o ICP-OES uma ferramenta indispensável em muitos campos científicos e industriais, facilitando a obtenção de dados críticos para a tomada de decisões informadas.

2.8. Avaliação do índice de poluição por metais pesados

A água pode representar uma significativa fonte de contaminação humana por metais pesados, um problema corrente e vários estudos têm se dedicado a este, principalmente em países em desenvolvimento, onde pouco, ou nenhum conhecimento existe sobre a qualidade de suas fontes de água (Ghaderpoori *et al*., 2018; Mirzaei *et al.*, 2023). Este problema envolve águas engarrafadas, canalizadas assim como águas subterrâneas e superficiais consumidas em comunidades urbanas e rurais.

A presença de metais pesados pode ser resultado de uma contaminação acidental da fonte ou resultante de uma exposição prolongada a concentrações baixas desses metais nas águas consumidas. O conhecimento da qualidade das águas de consumo e a monitorização desses metais e outros contaminantes são essenciais para proteger a saúde das comunidades (Mirzaei *et al*., 2023).

A avaliação do nível de contaminação por metais pesados pode ser realizado por meio do Índice de Contaminação (C_d), o Índice de Avaliação de Metais (HEI) e o Índice de Poluição por Metais Pesados (HPI) (Backman *et al*., 1998; Dippong *et al*., 2020; Edet & Offiong, 2002).

O C_d é calculado para cada amostra de água analisada como a soma dos factores de contaminação dos componentes individuais que ultrapassam o limite permissível (C_f). Este indicador, C_d, combina os efeitos individuais dos vários parâmetros de qualidade da água. O C_d pode ser obtido pela Equação 1:

$$C_d = \sum_{i=0}^{n} C_f \qquad \text{Eq. 1}$$

O factor de contaminação (C_f) é calculado a partir da Equação 2 (Biswas *et al*., 2017):

$$C_f = \frac{C_A}{C_N} - 1 \qquad \text{Eq. 2}$$

O C_d classifica a água em altamente poluída ($C_d > 3$), medianamente poluída (C_d entre 1 a 3) e com baixa poluição ($C_d < 1$) (Bhuiyan *et al*., 2010; Biswas *et al.*, 2017).

O índice de avaliação de metais pesados (HEI) determina o grau de qualidade da água com base no conteúdo de metais pesados nela existente e pode ser obtido pela Equação 3 (Dippong *et al*., 2020; Edet & Offiong, 2002):

$$HEI = \sum_{i=0}^{n} \frac{H_C}{H_{MAC}} \qquad \text{Eq. 3}$$

Onde H_C é a concentração obtida (lida) e H_{MAC} é a concentração máxima permitida para o metal em estudo. HEI indica que a água é fracamente poluída se HEI < 40, mediamente se HEI está entre 40 e 80, ou altamente poluída se HEI > 80.

O HPI representa um indicador global que classifica a água em estudo em relação aos metais pesados seleccionados. HPI é baseado em uma média aritmética ponderada desenvolvida em duas etapas. Primeiro, é estabelecida uma escala de hierarquização para cada um dos parâmetros selecionados, atribuindo um peso a cada um deles. A segunda etapa consiste em seleccionar os parâmetros nos quais o índice será baseado. A atribuição dos índices é baseada na importância de cada um dos parâmetros individuais em comparação com os outros parâmetros considerandos no estudo. Esta escala de hierarquização consiste na atribuição de um valor entre 0 e 1, podendo ser seleccionado em ordem inversa aos valores recomendados para o dado parâmetro e é calculado a partir da Equação 4 (Bose, 2001; Mohan & Nithila, 2008):

$$HPI = \frac{\sum_{i=1}^{n} W_i * Q_i}{\sum_{i=1}^{n} W_i} \qquad \text{Eq. 4}$$

Sendo

$$Q_i = \sum_{i=0}^{n} \frac{M_i}{S_i} * 100 \qquad \text{Eq. 5}$$

Onde,

W_i – Pesos de hierarquização obtidos como inverso de S_i ($1/S_i$);

S_i – Valores máximo permitidos para água de consumo;

Q_i – Sub-índece do i-ésimo indicador;

M_i – Concentração real.

Compreender os níveis de contaminação por metais pesados não apenas ajuda na proteção da saúde pública, mas também é vital para a conservação do meio ambiente. A implementação de programas de monitoramento regular e a educação das comunidades sobre a importância da qualidade da água são fundamentais para mitigar os riscos associados à exposição a esses contaminantes.

2.9 Avaliação do risco a saúde

É o processo de estimar a probabilidade de ocorrência de efeitos adversos à saúde como resultado da exposição a poluentes químicos, sejam cancerígenos ou não-cancerígenos (Ayantobo *et al.*, 2014; Obiri *et al.*, 2010). Para avaliar a toxicidade das águas, podem ser usados dois indicadores: o quociente de risco (HQ) e o índice de risco (HI). O primeiro é usado para avaliar o risco não cancerígeno e é obtido pela Equação 6 (Mirzaei *et al.*, 2023):

$$HQ = \frac{IDC}{DDR} \qquad \text{Eq. 6}$$

Onde,

IDC – Ingestão diária cronica em mg/kg/dia;

DDR – Dose diária de referência.

Representa menor risco quando HQ < 1 e o contrário, existe um potencial risco de causar efeitos adversos a saúde das pessoas expostas, caracterizando um risco não carcinogénico (Rezvani Ghalhari *et al*., 2021; Shokri *et al*., 2022).

O IDC é obtido a partir da Equação 7.

$$IDC = \frac{C * CDA * TE * DE}{PC * TME * 365} \qquad \text{Eq. 7}$$

C – Concentração do metal (mg/L);

CDA – Consumo diário de água por dia (L/dia);

TE – Tempo de exposição (dias/ano);

DE – Duração da exposição (ano);

PC – Peso corporal (Kg);

TME – Tempo medio de exposição, esperança de vida (60 anos).

O índice de risco é obtido pela soma dos HQ calculados e permite obter o efeito não cancerígeno dos metais pesados na água.

$$HI = \sum_{i=0}^{n} \text{HQ} = HQ_{As} + HQ_{Cd} + HQ_{Ni} + HQ_{Pb} + HQ_{Tl} + HQ_{U} \qquad \text{Eq. 8}$$

2.10 Avaliação do risco carcinogénico

O risco cancerígeno (RC) é uma medida utilizada para avaliar o potencial de uma substância química causar câncer em seres humanos quando expostos a ela por um determinado período de tempo e em uma certa quantidade. Essa medida é de extrema importância na análise da qualidade da água, já que a presença de MP, mesmo em pequenas concentrações, pode representar um risco significativo para a saúde pública.

O RC é calculado com base na concentração de substâncias carcinogénicas na água e na taxa de ingestão diária dessa água por diferentes grupos populacionais, como crianças e adultos. Valores de RC mais altos indicam um maior risco de desenvolvimento de câncer em indivíduos expostos à água contaminada.

O efeito carcinogénico dos metais pesados é avaliado pelo risco (RC), Equação 9:

$$RC = IDC * FC \qquad \text{Eq. } 9$$

FC é o factor de câncer oral em $mg.kg^{-1}.dai^{-1}$. O valor obtido da Equação 9 deve ser comparado com os limites máximos de risco admissível.

O efeito cumulativo do risco (RCC) resultante da exposição múltipla a vários elementos com potencial de causar câncer, por consumo de água pode ser obtido pela equação 10:

$$RCC = \sum_{i=0}^{n} \mathrm{RC}_i = RC_{As} + RC_{Cd} + RC_{Ni} + RC_{Pb} + RC_{Tl} + RC_U \qquad \text{Eq. } 10$$

3. PARTE EXPERIMENTAL

3.1. Descrição da área de Estudo

3.1.1. Cidade de Maputo

A cidade de Maputo (Figura 2) é a maior cidade de Moçambique, onde se encontra o centro administrativo, financeiro e mercantil do país. Localizada na parte sudeste, a 120 km da fronteira com a África do Sul e 80 km da fronteira com a Suazilândia (Pimentel, 2013).

A cidade está a oeste da baía de Maputo, onde desaguam os rios Tembe, Umbeluzi, Matola e Infulene, a uma altitude média de 47 metros. Seus limites correspondem às latitudes 25º 49' 09" S (extremo norte) e 26º 05' 23" S (extremo sul) e às longitudes 33° 00' 00" E (extremo leste - considerada a ilha de Inhaca) e 32° 26' 15" E (extremo oeste). Ao norte, faz fronteira com o distrito de Marracuene, ao noroeste e oeste com o Município da Matola, a oeste com o distrito de Boane e a sul com o distrito de Matutuíne, todos pertencentes à província de Maputo (Cumbane, 2015).

Maputo, a capital detém o estatuto de província desde 1980, ocupando uma área de 346.77 Km^2 e uma população de 1 120 867, apresentando um aumento de 4% em uma década (INE, 2019).

A cidade é banhada ao sul pelo Estuário do Espírito Santo, onde os rios Tembe, Umbeluzi, Matola e Infulene desaguam, e à nascente pela baía de Maputo. Desenvolve-se sobre uma morfologia diversificada, composta por arriba costeira, encosta, vale e planície litoral. O clima de Maputo é tropical seco, com o período mais quente do ano entre Novembro a Abril, e o mais frio de Maio a Outubro. A maior precipitação ocorre nos meses mais quentes, entre Novembro e Março (Pimentel, 2013).

Maputo é responsável por parcela expressiva do PIB nacional. A cidade abriga infraestruturas essenciais à organização e gerenciamento das demandas nacionais, como o Porto de Maputo – um dos principais portos da África e o aeroporto internacional, que atende aproximadamente 900 mil passageiros anualmente. As periferias são tomadas por habitações muito precárias, relegadas à completa ausência de serviços básicos (Stacciarini *et al.*, 2022).

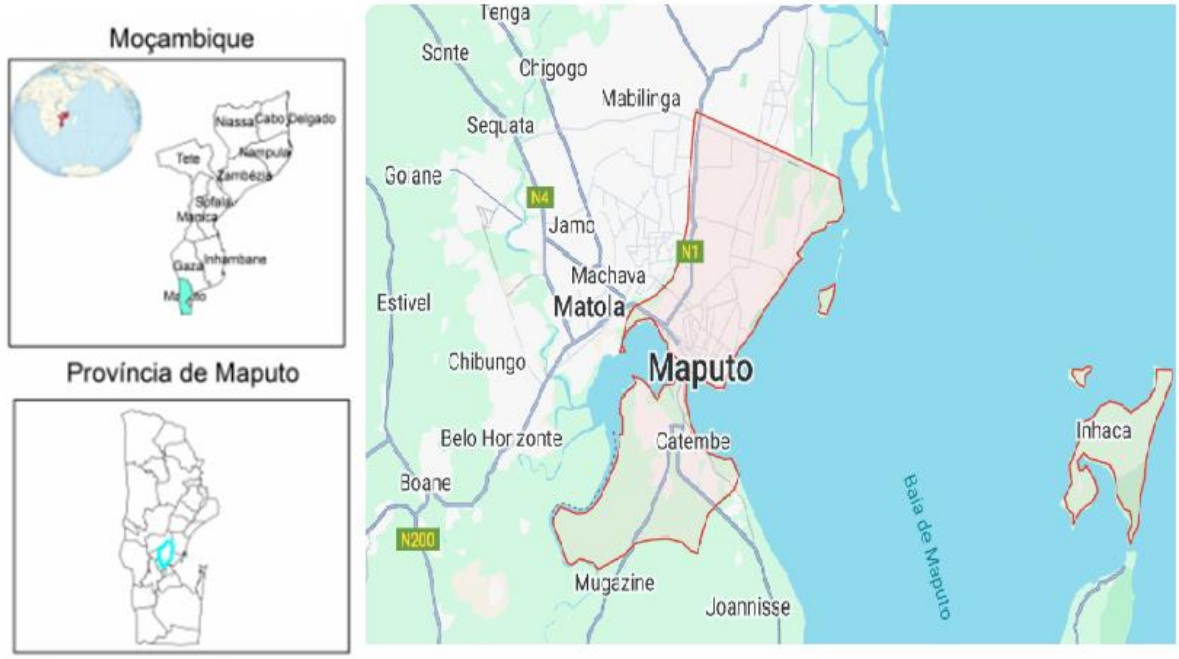


Figura 2. Localização geográfica da cidade de Maputo.
Adaptado por Autora

3.1.2 Cidade da Matola

O Município da Matola (Figura 3), situado no sul de Moçambique e, é a capital administrativa da Província de Maputo, localiza-se entre os paralelos 25˚ 40' Sul e 25˚ 59'Sul de Latitude e entre os Meridianos 32˚ 34' Este e 32˚ 46 Este de Longitude. Limita-se a Nordeste e Norte com o distrito de Moamba, a Noroeste com o distrito de Marracuene, a Oeste e Sudoeste com o distrito de Boane; ao Sul com a localidade de Catembe (cidade de Maputo) e a Este com a cidade de Maputo. Seu perímetro ocupa uma área de cerca de 375 km^2 (Cuna, 2004).

O Posto da Matola foi criado em 17 de Novembro de 1945, tornando-se a terceira cidade mais populosa do país, com aproximadamente 806 179 habitantes, sendo também a mais industrializada. Desde 02 de outubro de 2007 é classificada como cidade de nível "B" (Matule, 2016).

A cobertura vegetal nativa é do tipo Savana, embora tenha sido fortemente modificada. Segundo a classificação de Koppen, o clima do Município da Matola é do tipo, tropical de savana com duas estações: um quente e chuvosa (Outubro a Março) e outra fria e seca (Abril a Setembro). As temperaturas médias anuais variam entre 22 e 24 ºC, com uma precipitação média de 600 a 1000 mm por ano (Matule *et al.*, 2017).

A expansão urbana nas cidades de Maputo e Matola tem sido significante nas últimas décadas, atribuída em grande escala às crescentes migrações campo-cidade da população, às secas e cheias cíclicas, aos preços relativamente baixos das terras ao longo das áreas de expansão, bem como ao reassentamento de população retirada de áreas consideradas impróprias para habitação ou sujeitas às intervenções planejadas.

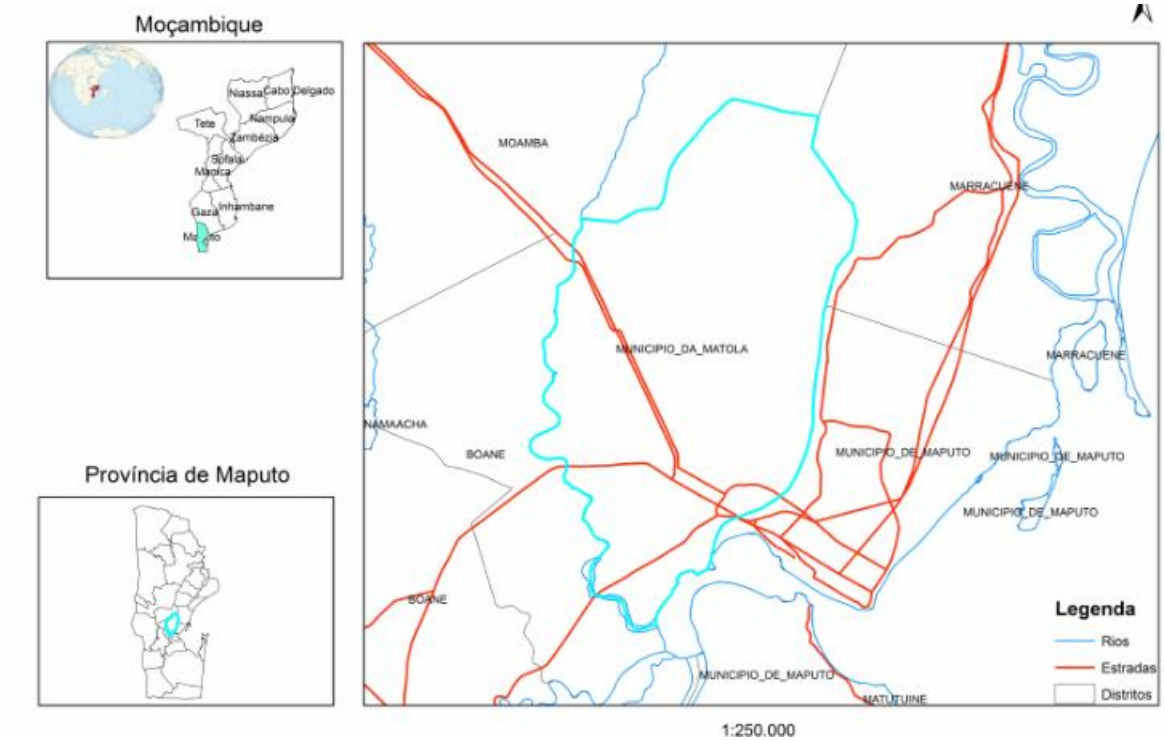


Figura 3. Localização geográfica da cidade da Matola.
Adaptado de (Matule *et al.*, 2017)

3.2 Amostragem

As amostras de água engarrafada foram adquiridas aleatoriamente nos supermercados das cidades de Maputo e Matola, totalizando 10 marcas nacionais e 2 internacionais, em garrafas plásticas de 500, 600 e 1500 mL, dependendo da disponibilidade, no período de Outubro a Novembro de 2022. As garrafas de água foram rotuladas com letras de A a L. As informações da embalagem referentes a marca, ao código (número de lote) e a data de validade do produto, se fornecidas, foram registadas antes da abertura dos frascos para amostragem, Tabela 4.

Os tubos de ensaio previamente adquiridos para o presente estudo foram primeiro, lavados com HNO_3 20% (v/v) e depois com água desionizada milli-Q. Foram obtidas quatro amostras de cada marca perfazendo um total de 48 amostras. A cada garrafa foi adicionado 1.5 mL HNO_3 concentrado para cada 1000 mL de amostra para preservar as amostras ou seja reduzir interferências baixando o pH para o valor igual ou inferior a 2, segundo metodologia descrita em (Baird *et al*., 2017). Para tal, foram adicionados 750 µL, 900 µL e 2250 µL de ácido nítrico nas amostras de 500, 600 e 1500 mL, respectivamente.

As amostras acidificadas foram mantidas no laboratório, sob refrigeração a 4 ºC, durante 48 horas, antes das análises por ICP-OES. As amostras de água engarrafada investigadas encontram-se na Tabela 3 a seguir:

Tabela 3. Marcas de águas engarrafadas analisadas.

#	***Marca***	***Validade***
1	A	09/2022 a 09/2023
2	B	2022/10/13 a 2023/10/12
3	C	02/2024
4	D	30/08/22
5	E	18/08/2022 a 18/08/2024
6	F	23/08/22 a 23/09/23
7	G	17/09/2022 a 17/09/2023
8	H	01/09/22 a 01/09/23
9	I	18/08/22 a 18/08/23
10	J	10/09/22 a 09/09/23
11	K	06/06/2022 a 06/06/2023
12	L	11/10/2022 a 10/10/2023

3.3 Materiais, reagentes e equipamentos

A Tabela 4 mostra os materiais, reagentes e equipamentos usados durante as experiências.

Tabela 4. Materiais, reagentes e equipamentos**.**

Materiais	**Reagentes**	**Equipamentos**
Balões volumétricos (50 mL e 100 mL) Micropipeta (200 µL e 1000 µL), pipetas (1, 2, 5 e 10 mL) Backeres (25 mL, 50 mL, 100 mL e 400 mL), tubos Falcon de 15 mL, suportes e colman.	Água milli-Q, água destilada, amostras de água engarrafada, detergente líquido Maq, product code: Water QC refererence Material; Catalog number: QCP- MTL; Lot number: J2-MTL01067, Matrix: 5% (v/v) HNO_3, solução de HNO_3 65 – 70% (v/v) densidade 1.42 kg/L (Glassworld), HCl 37% (v/v) densidade 1.19 kg/L (Rochelle Chemicals), água de referência (500mL; densidade 0.998 g/mL; lote: G2-MIN01124); solução padrão 0.1; 0.2; 0.4; 0.6; 0.8 e 1.0 mg/L;	Destilador de água WS 8000, ICPE-9820 Shimadzu, Shimadzu ASC – 9800 autosampler e geleira.

3.4 Preparação da amostra e padrões

Nas garrafas de água engarrafada de 500, 600 e 1500 mL, previamente preparadas para garantir que os metais pesados estivessem completamente dissolvidos, transferiu-se 15 mL de cada solução amostra para tubos de ensaio. Estes tubos de ensaio foram então analisados para determinar a presença e concentrações de metais pesados através do espectrofotómetro de emissão óptica com plasma acoplado indutivamente (ICP-OES, ICPE-9820 Shimadzu, Japão).

A partir da diluição de uma solução padrão multe elementar de 100 mg/L (*Custom Made Multi-Element Standard; Matrix 5% HNO_3, 500ml; Lot SHIM022-10-20us; Certified Aqueous Reference Material; Spesctroscopic Solutions de Bruyn; Chemists; Ultraspec; Sanas*) foram preparadas soluções padrão de estudo nas concentrações de 0.1; 0.2; 0.4; 0.6; 0.8 e 1.0 mg/L. A estas soluções padrão foram adicionadas 75 µL de HNO_3 a 65% e água mili-Q até perfazer o volume de 50 mL e transferiu-se 15 mL de cada solução para tubos de ensaio para a leitura.

3.5 Condições instrumentais

Para a determinação das concentrações dos metais pesados, utilizou-se o ICP-OES. A Tabela 5 apresenta detalhes abrangentes sobre as condições de operação necessária para a leitura das amostras, das soluções padrão e do material de referência.

As condições óptimas para determinação multe elementar envolvem vários parâmetros ajustados para optimizar o desempenho do instrumento. Estas condições foram estabelecidas de acordo com as recomendações do fabricante.

Tabela 5: Condições de análise no ICP-OES

Parâmetro	**Valor**
Modo de ignição	Normal (água)
Instrumentos acoplados	Mini tocha
Força da rádio frequência	1.20kW
Gás auxiliar	0.60 L/min
Gás plasma	10.00 L/min
Gás carregador	0.70 L/min
Purga do Árgon	Baixa
Tempo de exposição	30 segundos
Direcção de visualização	Axial
Condição	Intervalo amplo
Posição	Baixa
Temperatura de espectrofotómetro	38.04 ^{o}C
Pressão do gás Árgon	477.80 kPa

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO DAS ANÁLISES

4.1 Avaliação da precisão e exactidão do método

Os resultados obtidos na validação do método são apresentados na Tabela 6. A exactidão e a precisão do método foram avaliados por meio da recuperação e do coeficiente de variação (RSD), respectivamente. De salientar que o certificado de análise abrange dados referentes a quatro metais pesados, os quais foram objecto de estudo neste trabalho.

Tabela 6. Resultados obtidos na validação do método ICP-OES.

M	Valor certificado (µg/L)	Resultado experimental (µg/L)	Test - *t* (95%)	Erro relativo (%)	%RSD	Recuperação (%)
As	155 ± 1,0	155 ± 4,0	0,76	0,43	0,98	100
Cd	50 ± 0,3	49,8± 0,2	3,46	0,40	0,20	99,6
Pb	200 ± 0,5	199 ± 1,3	2,92	0,43	0,26	99,6
Ni	240 ± 2,0	240 ± 4,0	0,38	0,14	0,63	99,9

Conforme apresentado na Tabela 6, os resultados obtidos indicam um desempenho satisfatório do método para os quatro metais avaliados. As recuperações variaram entre 99,6% e 100%. Estes valores encontram-se muito próximos de 100%, indicando uma elevada concordância entre as concentrações determinadas experimentalmente e os respectivos valores certificados e, consequentemente, uma boa exatidão do método. A precisão do método, avaliada pelo coeficiente de variação (%RSD), apresentou valores inferiores a 1% para todos os metais analisados, variando entre 0,20% para o Cd e 0,98% para o As. Estes resultados indicam baixa dispersão entre as determinações e elevada precisão do método.

O erro relativo apresentou valores reduzidos, variando entre 0,14% para o Ni e 0,43% para o As e Pb, o que reforça a proximidade entre os resultados experimentais e os valores certificados. Além disso, o teste t, que compara os resultados experimentais aos valores certificados, demonstra que não há diferença estatisticamente significativa entre eles, reforçando a validação do método.

Para todos os metais analisados, os valores experimentais estão em estreita proximidade com os valores certificados, indicando que o método ICP-OES é tanto preciso quanto exato.

Os resultados obtidos sugerem que o método ICP-OES é altamente confiável para a determinação de metais pesados, com precisão e exatidão adequadas, sendo uma ferramenta valiosa para análises ambientais e de qualidade da água.

4.2 Metais pesados

A Figura 4 apresenta os resultados da avaliação do teor de arsénio e cádmio nas 12 amostras em estudo. O arsénio foi detectado em 4 amostras, todas com teores superiores ao limite permitido de 0,01 mg/L (Diploma Ministerial 180/2004). A semelhança do que tem sido reportado em países como Argentina e México, onde foram encontradas concentrações elevadas de arsénio na água, variando de 0,05 mg/L a 0,2 mg/L, as amostras A e E apresentaram concentrações relativamente elevadas de As, de 0,229 ± 0,082 mg/L e 0,519 ± 0,019 mg/L respectivamente. Estes resultados evidenciam a ocorrência de concentrações de arsénio superiores as normalmente esperadas para águas destinadas ao consumo humano, sendo particularmente elevada a concentração observada na amostra E. Estas concentrações são resultado de processos naturais, como a erosão de minerais ricos em arsénio nos aquíferos locais e de actividades agrícolas. A ocorrência de As em água pode ter origem tanto em actividades antropogénicas quanto a fontes naturais (Muhammad *et al.*, 2010).

A presença de concentrações elevadas de As em águas de consumo está associada a doenças como a melanose, lesões cutâneas, hiperceratose e câncer (Muhammad *et al.*, 2010; Rahman *et al*., 2009).

O cádmio foi detectado em apenas uma amostra (Figura 4, amostra E), com teor de 0,064 ± 0,004 mg/L, superior ao valor admissível para águas destinadas ao consumo humano, que é de 0,003 mg/L (Diploma Ministerial 180/2004). Estudos realizados por Jafarzadeh *et al*. (2022) reportaram uma concentração media de 0,43 mg/L, o que indica uma grave contaminação, pois o cadmio é um metal pesado altamente tóxico.

As actividades industriais e o uso de fertilizantes contendo cadmio podem levar à contaminação do solo e, consequentemente, à contaminação da água que flui para as fontes de hídricas.

O cádmio é bioacumulativo, ou seja, pode acumular-se nos tecidos do corpo ao longo do tempo. É particularmente tóxico para os rins, interfere no metabolismo do cálcio e fosforo, podendo causar a osteoporose (Bi *et al*., 2021; López *et al*., 2003; Schaefer *et al*., 2023). Também é considerado um possível causador de cancro de pulmão e próstata, problemas cerebrais, pulmonares e hepáticos devido ao bloquear da acção de enzimas

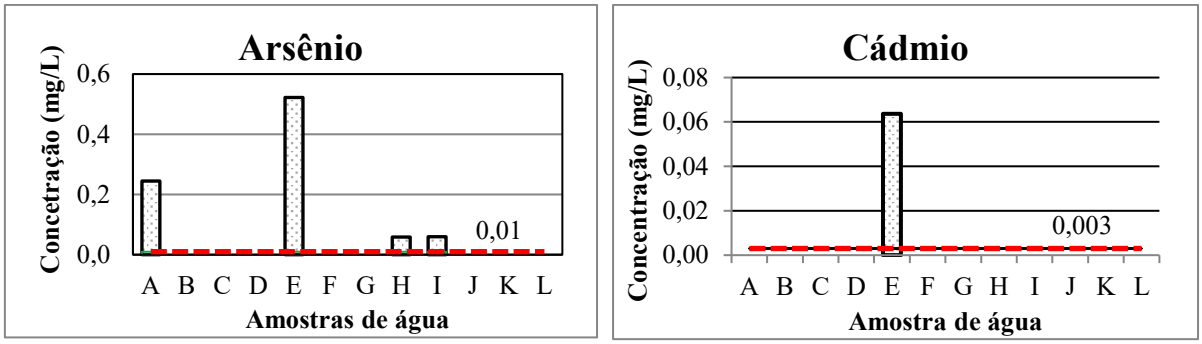


Figura 4. Teor do arsênio e cádmio nas amostras de água engarrafada.

O níquel esteve presente em 6 amostras (A, C, E, F, G e H). Em todas as amostras, os teores desse metal estive acima do valor recomendado, 0,020 mg/L (Diploma Ministerial 180/2004) variando de 0,097 ± 0,004 mg/L a 0,621 ± 0,045 mg/L. Destaca-se a amostra A, que apresenta um teor de Ni aproximadamente 9 vezes superior ao valor recomendado (0,621 ± 0,045 mg/L).

Os resultados obtidos neste estudo apresentam uma tendência semelhante à reportada por de Olowoyo *et al*. (2022), de Sullivan & Leavey (2011), que obtiveram em seus estudos valores do níquel acima do limite máximo recomendado, variando de 0,097 ± 0,004 mg/L a 0,621 ± 0,045 mg/L.

A contaminação da água por níquel, especialmente de fontes subterrâneas, pode ocorrer como resultado da exposição direta e prolongada aos minerais da água subterrânea. Com o tempo, o níquel do solo subterrâneo pode se misturar com a água, aumentando assim sua concentração nas águas subterrâneas. O níquel também pode entrar no meio ambiente através de combustíveis fósseis em usinas, minas e refinarias (Ghobadi & Amin, 2017).

Somente uma amostra apresentou a presença de chumbo em sua composição, a amostras E, com teor que ultrapassa largamente o limite estabelecido de 0,01 mg/L (Diploma Ministerial 180/2004). Esta amostra apresenta teores cerca de 22 vezes acima deste limite (0,218 ± 0,019 mg/L).

A amostra E, proveniente do mesmo país onde foram realizados os estudos de Olowoyo *et al*. (2022), apresentou um resultado semelhante ao reportado por esses autores.

Das 12 amostras analisadas, apenas uma apresentou uma concentração de chumbo de 0,218 ± 0,019 mg/L, um valor muito acima do recomendado. De forma semelhante ao presente estudo,

a concentração de chumbo na água engarrafada pode dever-se à fonte de água ou a possíveis fontes de contaminação, como antigas tubagens de água ou pintura à base de chumbo.

Existe uma grande preocupação com o controlo do chumbo nos alimentos e água pelos danos que provoca quando absorvido pelo organismo por estas vias.

Um dos principais problemas da contaminação por chumbo é a interferência no desenvolvimento normal do cérebro em crianças, afectando o comportamento e a capacidade de concentração, reduzindo consequentemente o seu quociente de inteligência. Em adultos, o chumbo está associado a mortes por doenças cardiovasculares (Huang *et al*., 2021; Larsen & Sanchez-Triana, 2023; Raj & Das, 2023).

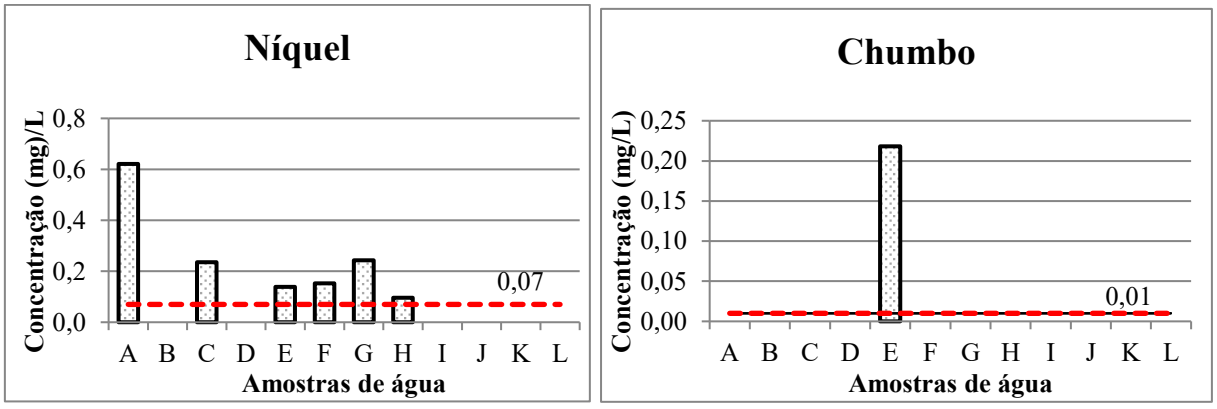


Figura 5. Teor do níquel e chumbo nas amostras de água engarrafada.

Nove amostras (A, B, C, D, E, F, G, H e I) mostraram a presença de tálio (Figura 7). As outras amostras apresentam teores acima do limite, sendo a amostra E com teores 1350 vezes superior. O tálio é conhecido por sua toxicidade, mesmo em pequenas quantidades. A ingestão de uma quantidade relativamente pequena de compostos de tálio pode causar efeitos graves, incluindo sintomas gastrointestinais, danos ao sistema nervoso, problemas cardíacos e, em casos extremos, pode ser fatal (Blain, 2021; Insley *et al*., 1986; Viraraghavan & Srinivasan, 2019).

No Canadá, estudos indicam que, perto de locais industriais, a água pode exceder os limites seguros de tálio em ate 14 a 15 vezes. Concentrações elevadas também foram encontrados em países como China, Reino Unido e Polonia.

A Figura 6 apresenta os resultados da avaliação de urânio nas amostras de águas engarrafadas em estudo. Este metal foi detectado em 5 amostras (A, C, E, H e I), sendo que as amostras A,

E, H e I apresentando teores acima do valor limite estabelecido, que é de 0,03 mg/L. A amostra C tem o teor de urânio dentro do limite recomendado, 0,026 mg/L. A contaminação por urânio pode ocorrer devido a atividades industriais, como mineração ou processamento de minérios.

A amostra E apresenta o teor mais elevado, 11 vezes superior ao limite estabelecido. Nos Estados Unidos, especialmente em áreas com depósitos geológicos de urânio ou onde a água subterrânea interage com essas formações foram encontradas quantidades de urânio acima do limite estabelecido. A exposição a partículas radioactivas emitidas pelo urânio pode danificar as células do corpo e aumentar o risco de cancro nos pulmões e nos ossos, além de causar problemas renais e doenças pulmonares (Keith, Larry; Faroon, 2021; Melo & Burkart, 2019).

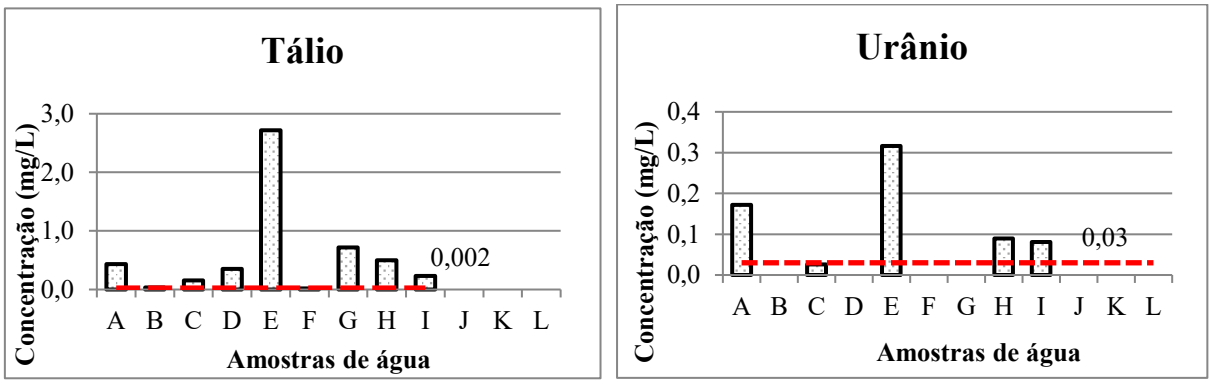


Figura 6. Teor do tálio e urânio nas amostras de água engarrafada.

Os resultados das concentrações revelam uma situação preocupante, especialmente para metais como As, Cd, Ni, Pb, Tl e U, devido aos seus potenciais efeitos adversos na saúde humana. Nesse contexto, as amostras identificadas como A, E, H e I, requerem atenção especial e monitoramento contínuo por parte das autoridades responsáveis pela saúde pública, a fim de determinar se a contaminação observada é um fenômeno esporádico ou uma condição persistente.

O estudo de Olowoyo *et al*. (2022) também sugeriu a necessidade de purificar a água pois o estado inicial da água natural pode ter sido alterado. Portanto, é importante avaliar sua potabilidade para consumo.

A Tabela 7 resume a análise das águas, destacando a necessidade de uma vigilância rigorosa para garantir a segurança e a qualidade das águas engarrafadas. Os resultados das concentrações de metais pesados revelam desafios significativos em relação à conformidade com os limites

máximos permitidos, especialmente para (As) arsênio, (Cd) cádmio, (Ni) níquel, (Pb) chumbo, (Tl) tálio e (U) urânio.

Não foram detectados MP nas amostras J, K e L, enquanto nas amostras B e D apresentaram apenas um MP. Esses resultados podem estar relacionados ao facto de essas amostras serem provenientes de fontes artesianas e passarem por tratamento para atender aos padrões de qualidade. Por outro lado, as amostras A, C, E, F, G, H e I, de origem mineral, possuem uma composição natural constante e são geralmente engarrafadas directamente na fonte. Com exceção do urânio na amostra C, todas as outras amostras apresentaram MP em concentrações que ultrapassam os limites máximos permitidos, representando um risco a saúde pública.

Tabela 7. Concentração de MP em amostras de água engarrafada.

	Concentração (mg/L)					
MP	**As**	**Cd**	**Ni**	**Pb**	**Tl**	**U**
LMA	0,010	0,003	0,020	0,010	0,002	0,030
Água A	0,229 ± 0,082	ND	0,621 ± 0,045	ND	0,453 ± 0,040	0,176 ± 0,029
Água B	ND	ND	ND	ND	0,036 ± 0,018	ND
Água C	ND	ND	0,233 ± 0,016	ND	0,152 ± 0,017	0,026 ± 0,020
Água D	ND	ND	ND	ND	0,350 ± 0,084	ND
Água E	0,519 ± 0,019	0,064 ± 0,004	0,138 ± 0,009	0,218 ± 0,019	2,701 ± 0,085	0,317 ± 0,022
Água F	ND	ND	0,147 ± 0,038	ND	0,020 ± 0,006	ND
Água G	ND	ND	0,221 ± 0,093	ND	0,718 ± 0,087	ND
Água H	0,058 ± 0,006	ND	0,097 ± 0,004	ND	0,499 ± 0,008	0,089 ± 0,003
Água I	0,059 ± 0,010	ND	ND	ND	0,230 ± 0,160	0,081 ± 0,014
Água J	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Água K	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Água L	ND	ND	ND	ND	ND	ND

Onde (ND) – não detectado

4.3 Índice de poluição da água por metais pesados

Para avaliar o efeito combinado da presença de As, Cd, Ni, Pb, Tl e U como poluentes das águas, foram usados o grau de contaminação (C_d), índice de poluição por metais pesados (HPI) e o índice de avaliação de metais pesados (HEI). Os resultados dos cálculos desses índices estão apresentados na Tabela 8.

Tabela 8. Resultados do C_d, HPI e HEI das amostras de água em estudo.

Valor limite	**3**	**100**	**80**
Amostra	**C_d**	**HPI**	**HEI**
Amostra A	273,822	277,82	277,83
Amostra B	17,02	18,02	18,02
Amostra C	87,46	90,46	18,61
Amostra D	173,78	174,78	175,00
Amostra E	1463,79	1469,79	1469,90
Amostra F	14,73	16,73	12,06
Amostra G	369,29	371,29	369,70
Amostra H	259,36	263,36	263,20
Amostra I	118,92	121,92	123,60
Amostra J	ND	ND	ND
Amostra K	ND	ND	ND
Amostra L	ND	ND	ND

Onde (ND) – não detectado

A Tabela 8 mostra que 3 amostras (J, K e L) provêm de fontes que não apresentam poluição enquanto, as restantes amostras apresentam um teor de C_d superior a 3, o que indica águas de fontes altamente poluídas (Bhuiyan *et al*., 2010; Biswas *et al*., 2017).

O Índice de Poluição por Metais Pesados (HPI) para a maioria das amostras apresenta valores acima de 100, o que indica que essas águas possuem um alto nível de poluição. As amostras A, D, E, G, H e I têm um HPI superior a 100, sugerindo uma significativa contaminação por metais pesados.

Tanto o HPI quanto o índice de avaliação de metais pesados (HEI) mostram que as amostras B, C e F são fracamente poluídas. Os valores de HPI e HEI refletem o potencial de risco à saúde associado à exposição aos metais pesados presentes na água engarrafada. Valores mais altos indicam maior potencial de poluição e risco à saúde. Amostras com valores elevados de HPI e

HEI podem representar um risco significativo para a saúde pública, especialmente se consumidas regularmente e em grandes quantidades.

De acordo com o HEI, as amostras A, D, E G, H e I são altamente poluídas por metais pesados. Aplicando os intervalos usados para águas engarrafadas, as amostras B e F são classificadas como pouco poluídas (HEI < 40), a amostra C como medianamente poluída (HEI entre 40 e 80) e as amostras A, D, E, G, H e I como altamente poluídas (HEI > 80) (Bhuiyan *et al*., 2010; Biswas *et al.*, 2017; Dippong *et al*., 2020).

Estudos sobre a qualidade da água engarrafada em outros países têm mostrado resultados variados, frequentemente indicando a presença de contaminantes, incluindo metais pesados. Em muitos casos, a qualidade da água engarrafada de onde provem a amostra C, tende a ser mais rigorosamente monitorada, resultando em níveis de contaminação geralmente mais baixos em comparação com países em desenvolvimento, como Moçambique.

Para as amostras analisadas, a amostra C, apresenta um Índice de Contaminação (Cd) de 79.15, que está bem acima do limite permitido de 3, indicando uma preocupação com a qualidade. Em contraste, a amostra E, também internacional, mostra um Cd alarmante de 1449.62 e um HPI de 1455.62, sugerindo uma grave contaminação.

As amostras de Moçambique, como A, D, F, G, H e L, revelam altos índices de contaminação e índices de poluição preocupantes, com HPI superiores a 100, indicando uma poluição significativa. Esses resultados sugerem que a situação da água engarrafada em Moçambique é mais crítica quando comparada a padrões internacionais, como os encontrados na amostra C.

O cenário se assemelha quando consideramos outras fontes de água, como água mineral, artesiana e da rede purificada. Os dados indicam que a contaminação pode ser um problema comum em várias dessas fontes em Moçambique, levantando preocupações sobre a segurança da água consumida. A nível global, a qualidade da água engarrafada é uma questão de crescente preocupação. Muitos países enfrentam desafios relacionados à contaminação, enquanto outros têm sistemas de controle mais robustos, resultando em uma variação significativa na qualidade da água. O monitoramento contínuo e rigoroso é essencial para garantir que a água engarrafada seja segura para consumo, especialmente em países onde a regulamentação pode ser menos rigorosa.

4.4 Avaliação do risco a saúde humana

A avaliação foi feita com o objectivo de verificar se a presença desses poluentes constituiria um perigo para a saúde humana nos níveis em que ocorrem nestas águas. O índice do risco e do risco cancerígeno, calculado é apresentado na Tabela 9.

Tabela 9. Resultados do índice de risco e de câncer das amostras de água em estudo

Amostra	HI (mg/kg/dia)	RC (mg/L)	Situação
A	27,1840952	8,47215E-07	não cancerígeno
B	-	5,14762E-08	não cancerígeno
C	0,8772	2,22332E-07	não cancerígeno
D	-	4,99365E-07	não cancerígeno
E	62,412	4,30929E-06	não cancerígeno
F	0,0839286	2,90588E-08	não cancerígeno
G	0,1222857	1,02693E-06	não cancerígeno
H	8,1506667	7,72479E-07	não cancerígeno
I	2,5431565	3,8623E-07	não cancerígeno
J, k, L	0	0	não cancerígeno

Observa-se nesta tabela que todos os valores do Índice de Risco estão abaixo de 1 mg/kg/dia sugerindo que a exposição humana a MP nas águas engarrafadas analisadas não representa um risco significativo para a saúde. O mesmo foi observado por Jafarzadeh *et al*. (2022), Ghaderpoori *et al*. (2018) e Ghaderpoori *et al.* (2018) ao sugerir um nível aceitável de risco prejudicial a saúde em todas amostras estudas.

A classificação das amostras como "não cancerígeno" indica que, mesmo considerando a exposição a longo prazo, não há evidências suficientes para que esses MP presentes na água engarrafada aumentem o risco de câncer em seres humanos.

Os valores de RC variam consideravelmente entre as diferentes amostras de água engarrafada. Isso sugere que a qualidade da água engarrafada pode ser influenciada por uma variedade de factores, como fonte de água, processamento e armazenamento.

Algumas amostras (por exemplo B e G) apresentam valores de RC relativamente altos, mesmo que estejam abaixo de 1 mg/L. Isso indica que essas amostras podem representar um risco potencial para a saúde, especialmente se consumidas regularmente e por longos períodos de tempo.

Outras amostras (amostras J, K e L) apresentaram valores de RC iguais a zero, o que indica que não há risco cancerígeno associado a essas amostras específicas. Este resultado é positivo em termos de segurança para o consumo de água engarrafada , mas é importante garantir que essas amostras continuem a ser monitoradas periodicamente para assegurar que não ocorram alterações nos parâmetros de qualidade da água.

Quatro amostras apresentaram HI > 1, evidenciando potencial de risco não cancerígeno, enquanto três apresentaram HI < 1. A elevada magnitude dos valores observados nas amostras E e A é particularmente relevante e reforça a necessidade de monitorização dos metais presentes nas águas engarrafadas comercializadas em Maputo e Matola.

Os resultados obtidos de HI e RC indicam que a exposição a elementos químicos (metais pesados) na água engarrafada está dentro de limites considerados seguros para a saúde humana, fornecendo tranquilidade aos consumidores quanto à qualidade do produto.

4. CONCLUSÕES

Com base nas análises realizadas, constatou-se que as águas comercializadas no mercado moçambicano contêm os seguintes metais pesados: arsénio, cádmio, níquel, chumbo, telúrio e urânio.

Das 12 marcas de água estudadas, três não contêm metais pesados, tornando-as seguras para o consumo humano. Entre as amostras analisadas, cinco correspondem a águas purificadas, que demostraram um excelente perfil de qualidade, com apenas duas marcas contendo um único metal pesado.

Embora nove marcas tenham excedido o limite máximo estabelecido pela legislação para determinados metais pesados, os resultados indicam que os níveis encontrados não representam risco cancerígeno, sendo considerados insignificantes e abaixo dos limites preocupantes para efeitos cancerígenos. Isso proporciona uma avaliação favorável quanto a segurança desses produtos para o consumo humano. Por isso, em termos de risco a saúde ou risco cancerígeno, as águas analisadas são seguras para o consumo humano.

Este estudo demonstrou a importância da monitorização rigorosa e contínua da qualidade da água engarrafada no mercado, bem como a implementação de medidas para reduzir a presença de metais pesados. A realização de análises periódicas e a transparência na divulgação dos resultados são fundamentais para proteger a saúde pública e promover a qualidade das águas comercializadas.

REFERENCIA BIBLIOGRAFICA

Aguiar, M., Novaes, A., & Guarino, A. (2002). Remoção de metais pesados de efluentes industriais por aluminossilicatos. *Química Nova*, *25*(6b), 1145–1154. https://doi.org/10.1590/s0100-40422002000700015

Albuquerque, N. C. (2020). *Avaliação dos parâmetros físicos e químicos e da presença de metais traços em águas do rio gramame, pb*.

Amalina, F., Razak, A. S. A., Krishnan, S., Sulaiman, H., Zularisam, A. W., & Nasrullah, M. (2022). Biochar production techniques utilizing biomass waste-derived materials and environmental applications – A review. *Journal of Hazardous Materials Advances*, *7*(July), 100134. https://doi.org/10.1016/j.hazadv.2022.100134

ANJOS, J. Â. S. A. DOS. (2003). *Avaliação Da Eficiência De Uma Zona Alagadiça (Wetland) No Controle Da Poluição Por Metais Pesados: O Caso Da Plumbum Em Santo Amaro Da Purificação/Ba*.

Ayantobo, O. O., Awomeso, J. A., Oluwasanya, G. O., Bada, B. S., & Taiwo, A. M. (2014). Non-cancer human health risk assessment from exposure to heavy metals in surface and groundwater in Igun Ijesha, Southwest Nigeria. *American Journal of Environmental Sciences*, *10*(3), 301–311. https://doi.org/10.3844/ajessp.2014.301.311

Backman, B., Bodiš, D., Lahermo, P., Rapant, S., & Tarvainen, T. (1998). Application of a groundwater contamination index in Finland and Slovakia. *Environmental Geology*, *36*(1–2), 55–64. https://doi.org/10.1007/s002540050320

Baird, R. B., Eaton, A. D., & Rice, E. W. (2017). Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. In *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater* (23rd Editi, pp. 2–66). American Public Health Association, American Water Works Association, Water Environment Federation.

Bakirdere, S., Yaroğlu, T., Tirik, N., Demiröz, M., Fidan, A. K., Maruldali, O., & Karaca, A. (2013). Determination of As, Cd, and Pb in tap water and bottled water samples by using optimized GFAAS system with Pd-Mg and Ni as matrix modifiers. *Journal of Spectroscopy*, *1*(1). https://doi.org/10.1155/2013/824817

Bhuiyan, M. A. H., Islam, M. A., Dampare, S. B., Parvez, L., & Suzuki, S. (2010). Evaluation of hazardous metal pollution in irrigation and drinking water systems in the vicinity of a coal mine area of northwestern Bangladesh. *Journal of Hazardous Materials*, *179*(1–3), 1065–1077. https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2010.03.114

Bhuiyan, M. A. H., Parvez, L., Islam, M. A., Dampare, S. B., & Suzuki, S. (2010). Heavy metal pollution of coal mine-affected agricultural soils in the northern part of Bangladesh. *Journal of Hazardous Materials*, *173*(1–3), 384–392. https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2009.08.085

Bi, S. S., Jin, H. T., Talukder, M., Ge, J., Zhang, C., Lv, M. W., Yaqoob Ismail, M. A., & Li, J. L. (2021). The protective effect of nnano-selenium against cadmium-induced cerebellar injury via the heat shock protein pathway in chicken. *Food and Chemical Toxicology*, *154*(June), 112332. https://doi.org/10.1016/j.fct.2021.112332

Biswas, P.; Uddin, N.; Alam, S.; Tamjid-Us-Sakib; Sultana, S.; Ahmed, T. (2017). Evaluation of Heavy Metal Pollution Indices in Irrigation and Drinking Water Systems of Barapukuria Coal Mine Area, Bangladesh. *American Journal of Water Resources*, *5*(5), 146–151. https://doi.org/10.12691/ajwr-5-5-2

Blain, R. (2021). Thallium. In M. Nordberg, Gunnar F.; Costa (Ed.), *Handbook on the Toxicology of Metals: Vol. II* (Fifth). https://doi.org/10.1016/b978-0-12-822946-0.01001-1

Bose, B. P. J. M. (2001). *Evaluation of the heavy metal pollution index for surface and spring water near a limestone mining area of the lower Himalayas*. 183–188.

Bourg, A. C. M., & Loch, J. P. G. (1995). Mobilization of Heavy Metals as Affected by pH and Redox Conditions. In *Biogeodynamics of Pollutants in Soils and Sediments* (Issue Stigliani 1993, pp. 87–102). https://doi.org/10.1007/978-3-642-79418-6_4

Capellini, V. L. M. F., Rodrigues, O. M. P. R., Melchiori, L. E., & Valle, T. G. M. do. (2008). Crianças Contaminadas por Chumbo: estudo comparativo sobre desempenho escolar. *Estudos Em Avaliação Educacional*, *19*(39), 155. https://doi.org/10.18222/eae193920082474

Carvalho, M. F. de. (2015). Avaliação da qualidade da água mineral comercializada em postos de combustíveis no município de goiânia. In *Dissertação apresentada ao Programa de Mestrado em Ecologia e Produção Sustentável da Pontifícia Universidade Católica de Goiás.* (Issue January 2013).

Chaves, R. C. de P. (2008). *Avaliação do Teor de metais pesados na água tratada do município de lavras- MG*. http://livros01.livrosgratis.com.br/cp047003.pdf

Cumbane, R. (2015). *Análise do Risco de Incêndios Urbanos no Município de Maputo em Moçambique* (Vol. 151).

Cuna, J. (2004). *Ocupaçao da terra urbana na Cidade da Matola e sua implicacao no*

planeamento urbano, alguma referencia a bairros Mussumbuluco e Liberdade. Universidade Eduardo Mondlane.

Diniz, C. F. S. (2018). *Determinação multielementar em amostras de água da bacia do rio doce após o acidente da barragem de fundão*. 125.

Diploma Ministerial 180/2004. (2004). Diploma Ministerial 180/2004. *Boletim Da República, I Série - Nº 37*, 14.

Diploma Ministerial n.° 38/2006. (2006). Boletim da Republica. *Boletim Da Republica de Moçambique*, *Quarta-fei*(SERIE I), 1–4.

Dippong, T., Hoaghia, M. A., Mihali, C., Cical, E., & Calugaru, M. (2020). Human health risk assessment of some bottled waters from Romania. *Environmental Pollution*, *267*, 115409. https://doi.org/10.1016/j.envpol.2020.115409

Dórea, J. G. (2008). Persistent, bioaccumulative and toxic substances in fish: Human health considerations. *Science of the Total Environment*, *400*(1–3), 93–114. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2008.06.017

Edet, A. E., & Offiong, O. E. (2002). Evaluation of water quality pollution indices for heavy metal contamination monitoring. A study case from Akpabuyo-Odukpani area, Lower Cross River Basin (southeastern Nigeria). *GeoJournal*, *57*(4), 295–304. https://doi.org/10.1023/B:GEJO.0000007250.92458.de

Fernandes, A. C. G., Cavalcanti, L. F. M., Barros, M. L. S. C., & Oliveira, F. M. D. C. (2017). Análises Descritivas E Microbiológicas Das Águas Minerais Envasadas E Comercializadas Na Região Metropolitana De Recife-Pe. *Ciência e Natura*, *39*(2), 272. https://doi.org/10.5902/2179460x23622

Garcia, C., & Passos, E. (2021). *Metais potencialmente tóxicos*. https://cesad.ufs.br/ORBI/public/uploadCatalago/13475109042012Quimica_Ambiental_Aula_9.pdf

Ghaderpoori, M., Mirzaei, N., Sharafi, K., Rezaei, S., Bagheri, A., Ahmadpour, M., Fard, R. F., & Farhang, M. (2018). Comparison of bottled waters current brands in term of important chemical parameters(Nitrate, fluoride, chloride, sulfate)effecting on health. *International Journal of Pharmaceutical Research*, *10*(3), 328–333.

Ghobadi, A., & Amin, J. (2017). Cromo, Níquel e Manganês nos Recursos de Água Subterrânea da Planície de Asadabad. *Arco. Hyg. Ciência*, 81–87.

Gomes, C. (2023). Águas Minerais Engarrafadas. *Revista de Ciência Elementar*, *11*(1), 1–12. https://doi.org/10.24927/rce2023.004

Grigoletto, T. L. B., Fuzari, B. H. C., Andrade, A. R., Campos, M. L. A. M., Gerlach, R. F., & Dos Santos, J. E. T. (2012). Fatores químicos e físicos que afetam a contaminaç ão por chumbo e cobre em água potável: Uma abordagem para o estudo de caso em química analítica. *Quimica Nova*, *35*(10), 1995–2001. https://doi.org/10.1590/S0100-40422012001000020

Hosseini, S. V., Sobhanardakani, S., Miandare, H. K., Harsij, M., & Regenstein, J. Mac. (2015). Determination of toxic (Pb, Cd) and essential (Zn, Mn) metals in canned tuna fish produced in Iran. *Journal of Environmental Health Science and Engineering*, *13*(1), 15–20. https://doi.org/10.1186/s40201-015-0215-x

Huang, J.-L., Li, Z.-Y., Mao, J.-Y., Chen, Z.-M., Liu, H.-L., Liang, G.-Y., Zhang, D.-B., Wen, P.-J., Mo, Z.-Y., & Jiang, Y.-M. (2024). Contamination and health risks brought by arsenic, lead and cadmium in a water-soil-plant system nearby a non-ferrous metal mining area. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, *270*(December 2023), 115873. https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2023.115873

Huang, J. L., Mo, Z. Y., Li, Z. Y., Liang, G. Y., Liu, H. L., Aschner, M., Ou, S. Y., Zhou, B., Chen, Z. M., & Jiang, Y. M. (2021). Association of lead and cadmium exposure with kidney stone incidence: A study on the non-occupational population in Nandan of China. *Journal of Trace Elements in Medicine and Biology*, *68*(August), 126852. https://doi.org/10.1016/j.jtemb.2021.126852

INE. (2019). Censo 2017 IV Recenseamento Geral da Populaçao e Habitaçao. *Censos Económicos*, 1060. http://www.inr.pt/uploads/docs/recursos/2013/20Censos2011_res_definitivos.pdf

Insley, B. M., Grufferman, S., & Edward Ayliffe, H. (1986). Thallium poisoning in cocaine abusers. *American Journal of Emergency Medicine*, *4*(6), 545–548. https://doi.org/10.1016/S0735-6757(86)80016-X

Jafarzadeh, N., Heidari, K., Meshkinian, A., Kamani, H., Mohammadi, A. A., & Conti, G. O. (2022). Non-carcinogenic risk assessment of exposure to heavy metals in underground water resources in Saraven, Iran: Spatial distribution, monte-carlo simulation, sensitive analysis. *Environmental Research*, *204*(PA), 112002. https://doi.org/10.1016/j.envres.2021.112002

Keith, Larry; Faroon, O. (2021). Uranium. In M. Nordberg, Gunnar (Editor); Costa (Ed.), *Handbook on the Toxicology of Metals Vol. II - Specific Metals* (Fifth Edit). Academic Press. https://doi.org/https://doi.org/10.1016/B978-0-12-822946-0.00028-3

Keramati, H., Pouya, R. H., Moradi, B., & Silva, S. (2017). *Avaliação de risco não cancerígeno induzido por teor de metais pesados da água engarrafada no Irã*. https://doi.org/10.1080/15569543.2017.1358747

Larsen and Sanchez-Triana 2023.pdf. (n.d.).

Leclerc, H., & Moreau, A. (2002). Microbiological safety of natural mineral water. *FEMS Microbiology Reviews*, *26*(2), 207–222. https://doi.org/10.1016/S0168-6445(02)00097-9

Li, J., Sun, C., Zheng, L., Jiang, F., Wang, S., Zhuang, Z., & Wang, X. (2017). Determination of trace metals and analysis of arsenic species in tropical marine fishes from Spratly islands. *Marine Pollution Bulletin*, *122*(1–2), 464–469. https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2017.06.017

Lima, V. F., & Merçon, F. (2011). Os Metais Pesados No Ensino De Química. *Educação Ambiental*, *33*. https://doi.org/10.46943/viii.conedu.2022.gt14.011

López, E., Figueroa, S., Oset-Gasque, M. J., & González, M. P. (2003). Apoptosis and necrosis: Two distinct events induced by cadmium in cortical neurons in culture. *British Journal of Pharmacology*, *138*(5), 901–911. https://doi.org/10.1038/sj.bjp.0705111

Matule, E. (2016). *Proposta de Zoneamento Ambiental para o Município da Matola em Moçambique*.

Matule, E., Ponzoni, F. J., & Chaves, J. M. (2017). ANÁLISE ESPAÇO-TEMPORAL DOS ÍNDICES DE COBERTURA VEGETAL NO MUNICÍPIO DA MATOLA, MOÇAMBIQUE Spatial and temporal analysis of the vegetation cover indices in Matola city, Mozambique. *Sociedade & Natureza*, *29*(3), 371–385.

Melo, D., & Burkart, W. (2019). Uranium: Environmental pollution and health effects. In *Encyclopedia of Environmental Health* (Second Edi, Vol. 6, Issue 71). Elsevier. https://doi.org/10.1016/B978-0-444-63951-6.00658-6

Mirzaei, N., Kalteh, S., Zamani-Badi, H., Moradpour, H., Parmoozeh, Z., & Baziar, M. (2023). Estimating human health risks associated with heavy metal exposure from bottled water using Monte Carlo simulation. *Heliyon*, *9*(10), e20647. https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e20647

Mohan, S. V., & Nithila, P. (2008). *Journal of Environmental Science and Health . Part A : Environmental Science and Engineering and Toxicology : Toxic / Hazardous Substances and Environmental Engineering Estimation of heavy metals in drinking water and development of heavy metal pollution . October 2013*, 283–289.

Moreira, F. R., & Moreira, J. C. (2004). The significance of lead speciation analysis in blood

plasma for health risk assessment. *Quimica Nova*, *27*(2), 251–260. https://doi.org/10.1590/s0100-40422004000200015

Muhammad, S., Tahir Shah, M., & Khan, S. (2010). Arsenic health risk assessment in drinking water and source apportionment using multivariate statistical techniques in Kohistan region, northern Pakistan. *Food and Chemical Toxicology*, *48*(10), 2855–2864. https://doi.org/10.1016/j.fct.2010.07.018

Muniz, D. H. de F., & Oliveira-Filho, E. C. (2006). Metais pesados provenientes de rejeitos de mineração e seus efeitos sobre a saúde e o meio ambiente. *Universitas: Ciências Da Saúde*, *4*(1), 83–100. https://doi.org/10.5102/ucs.v4i1.24

Obiri, S., Dodoo, D. K., Essumang, D. K., & Armah, F. A. (2010). Cancer and Non-Cancer Risk Assessment from Exposure to Arsenic, Copper, and Cadmium in Borehole, Tap, and Surface Water in the Obuasi Municipality, Ghana. *Human and Ecological Risk Assessment*, *16*(3), 651–665. https://doi.org/10.1080/10807031003788907

OE, B., & OS, A. (2017). Determination of Heavy Metal Profile in Bottled Water and Sachet Water Samples Obtained From Various Markets in Lagos, Nigeria. *Environment Pollution and Climate Change*, *s1*(2), 1–5. https://doi.org/10.4172/2573-458x.1000114

Oliveira, M. A. M., Mainier, F. B., & Fernandes, L. H. (2011). A Volatilidade dos Revestimentos de Cádmio com Detecçâo Atraves da Técnica de Voltametria por Pulso Diferencial. *VIII Simpósio de Excelência Em Gestão e Tecnologia*, 1–11.

Olowoyo, J. O., Chiliza, U., Selala, C., & Macheka, L. (2022). Health Risk Assessment of Trace Metals in Bottled Water Purchased from Various Retail Stores in Pretoria, South Africa. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, *19*(22). https://doi.org/10.3390/ijerph192215131

Pertile, C. (2013). *Avaliação de Processos de Separação por Membranas como Alternativas no Tratamento de Lixiviado de Aterro Sanitário Avaliação de Processos de Separação por Membranas como Alternativas no Tratamento de Lixiviad*.

Pimentel, J. da S. (2013). *Os espaços abertos públicos da cidade de Maputo* (Vol. 46, Issue 1).

Rahman, M. M., Naidu, R., & Bhattacharya, P. (2009). Arsenic contamination in groundwater in the Southeast Asia region. *Environmental Geochemistry and Health*, *31*(SUPPL. 1), 9–21. https://doi.org/10.1007/s10653-008-9233-2

Raj, K., & Das, A. P. (2023). Lead pollution: Impact on environment and human health and approach for a sustainable solution. *Environmental Chemistry and Ecotoxicology*, *5*(February), 79–85. https://doi.org/10.1016/j.enceco.2023.02.001

Reis. (2011). *Potencial Hidromineral Das Águas Hipertermais Do Sistema Aquífero Guarani No Estado De São Paulo*.

Reis, J. M. dos, Aguiar, A. B. S., Freitas, G., Vassoler, V. C., Barros, G. V. L., Santos, G. E., Ramirez, I., & Rodriguez, R. P. (2022). Técnicas de remoção de metais de águas residuárias: uma revisão de literatura. *Research, Society and Development*, *11*(2), e5251126100. https://doi.org/10.33448/rsd-v11i2.26100

Reis, J., Aguiar, A., Freitas, G., Vassoler, V., Barros, G., Santos, G., Ramirez, I., & Rodriguez, R. (2022). Técnicas de remoção de metais de águas residuárias: uma revisão de literatura. *Research, Society and Development*, *11*(2), e5251126100. https://doi.org/10.33448/rsd-v11i2.26100

Rezvani Ghalhari, M., Kalteh, S., Asgari Tarazooj, F., Zeraatkar, A., & Mahvi, A. H. (2021). Health risk assessment of nitrate and fluoride in bottled water: a case study of Iran. *Environmental Science and Pollution Research*, *28*(35), 48955–48966. https://doi.org/10.1007/s11356-021-14027-w

Ribeiro, M. (2015). *Determinação de fósforo e enxofre em petróleo por ICP OES: comparação de diferentes procedimentos para o preparo de amostras*.

Santos, E., Gama, E., França, R., Souza, A., & Matos, R. (2013). Espectrometria de Fluorescência de Raios-X na Determinação de Espécies Químicas. *Enciclopédia Biofera*, *9*(17), 3413–3432. http://www.conhecer.org.br/enciclop/2013b/MULTIDISCIPLINAR/espectrometria.pdf

Schaefer, H. R., Flannery, B. M., Crosby, L. M., Pouillot, R., Farakos, S. M. S., Van Doren, J. M., Dennis, S., Fitzpatrick, S., & Middleton, K. (2023). Reassessment of the cadmium toxicological reference value for use in human health assessments of foods. *Regulatory Toxicology and Pharmacology*, *144*(August). https://doi.org/10.1016/j.yrtph.2023.105487

Sezinando, S. (2013). *Águas Minerais Naturais e Águas de Nascente de Portugal Continental*.

Shokri, S., Abdoli, N., Sadighara, P., Mahvi, A. H., Esrafili, A., Gholami, M., Jannat, B., & Yousefi, M. (2022). Risk assessment of heavy metals consumption through onion on human health in Iran. *Food Chemistry: X*, *14*(January), 100283. https://doi.org/10.1016/j.fochx.2022.100283

Silva, C. (2001). *Níquel*.

Skoog, Douglas A.; Holler, F. James; Crouch, S. R. (2017). *Principles of Instrumental Analysis* (7th ed.).

Sri, B., Anila, B., & Sumakanth, M. (2023). Inductive Coupled Plasma - Optical Emission

Spectroscopy Applied to Pharmaceutical Applications - A Review. *International Journal of Pharmaceutical Sciences Review and Research*, *79*(2), 206–211. https://doi.org/10.47583/ijpsrr.2023.v79i02.033

Stacciarini, J. H. S., Chaveiro, E. F., & Azevedo, H. A. M. de A. (2022). Maputo, a cidade dividida: fragmentação e (re)qualificação. *Sociedade & Natureza*, *35*(1), 1–13. https://doi.org/10.14393/sn-v35-2023-65951

Stelhato, T. (2017). *A distribuição da água no planeta Terra é crucial para entender a disponibilidade desse recurso vital. A maior parte da água, aproximadamente 97,5%, está nos oceanos e mares, sendo salgada e inadequada para consumo direto. Apenas cerca de 2,5% da água do* .

Sullivan, M. J., & Leavey, S. (2011). Heavy metals in bottled natural spring water. *Journal of Environmental Health*, *73*(10), 8–13.

U.S. Environmental Protection Agency (EPA). (2011). September 2011 EXPOSURE FACTORS HANDBOOK : 2011 EDITION National Center for Environmental Assessment Office of Research and Development U . S . Environmental Protection Agency Washington , DC 20460 Exposure Factors Handbook. *Exposure Factors Handbook: 2011 Us Epa*, *September*.

Viraraghavan, T., & Srinivasan, A. (2019). Thallium: Environmental pollution and health effects. In *Encyclopedia of Environmental Health* (Second Edi, Vol. 6). Elsevier. https://doi.org/10.1016/B978-0-444-63951-6.00643-4

WHO. (2017). Guidelines for Drinking-Water Quality Addendum. In *Journal - American Water Works Association* (Vol. 109, Issue 7).

Zambelli, B., Uversky, V. N., & Ciurli, S. (2016). Nickel impact on human health: An intrinsic disorder perspective. *Biochimica et Biophysica Acta - Proteins and Proteomics*, *1864*(12), 1714–1731. https://doi.org/10.1016/j.bbapap.2016.09.008

ANEXOS

ANEXO 1. Concentração dos metais pesados no ICP

	As (mg/L)			Cd (mg/L)			Ni (mg/L)		
	C1	C2	C3	C1	C2	C3	C1	C2	C3
A1	0,14	0,16	0,16				0,55	0,60	0,60
A2	0,20	0,20	0,24				0,57	0,63	0,68
A3	0,56	0,31	0,15				0,73	0,64	0,59
B1									
B2									
B3									
C1							0,20	0,23	0,23
C2							0,21	0,23	0,23
C3							0,23	0,27	0,25
D1									
D2									
D3									
E1	0,49	0,51	0,50	0,06	0,06	0,06	0,13	0,13	0,13
E2	0,52	0,55	0,56	0,07	0,07	0,07	0,14	0,15	0,15
E3	0,48	0,51	0,51	0,06	0,06	0,06	0,12	0,14	0,13
F1							0,12	0,13	0,13
F2							0,13	0,14	0,14
F3							0,12	0,14	0,25
G1	0,39	0,15	0,52				0,39	0,26	0,37
G2							0,14	0,15	0,15
G3							0,14	0,15	0,15
H1	0,06	0,06	0,07				0,09	0,10	0,10
H2	0,06	0,07	0,06				0,09	0,10	0,10
H3	0,04	0,06	0,05				0,09	0,10	0,10
I1	0,05	0,06	0,06				0,09	0,10	0,10
I2							0,34	0,37	0,37
I3							0,34	0,36	0,36

	Pb (mg/L)			Tl (mg/L)			U (mg/L)		
	C1	C2	C3	C1	C2	C3	C1	C2	C3
A1				0,39	0,43	0,42	0,14	0,16	0,15
A2				0,43	0,46	0,49	0,19	0,19	0,21
A3				0,53	0,48	0,41	0,23	0,21	0,14
B1				0,01	0,01	0,01			
B2				0,02	0,05	0,05			
B3				0,06	0,07	0,04			
C1				0,13	0,14	0,14	0,01	0,01	0,01
C2				0,13	0,14	0,14	0,01	0,01	0,01
C3				0,16	0,19	0,18	0,04	0,07	0,05
D1				0,34	0,35	0,35	0,01	0,00	0,00
D2				0,61	0,33	0,30			
D3				0,28	0,29	0,29			
E1	0,20	0,21	0,21	2,59	2,66	2,66	0,30	0,30	0,30
E2	0,23	0,25	0,26	2,74	2,83	2,84	0,35	0,36	0,36
E3	0,19	0,21	0,21	2,56	2,65	2,67	0,29	0,30	0,30
F1				0,01	0,01	0,02			
F2				0,03	0,02	0,02			
F3				0,02	0,02	0,14			
G1	1,88	0,75	1,77	0,89	0,83	0,86	0,12	0,11	0,12
G2				0,63	0,65	0,66			
G3				0,64	0,65	0,66			
H1				0,49	0,50	0,51	0,09	0,08	0,09
H2				0,50	0,51	0,50	0,09	0,09	0,09
H3				0,48	0,51	0,50	0,08	0,09	0,09
I1				0,48	0,50	0,50	0,08	0,08	0,09
I2				0,09	0,11	0,10			
I3				0,09	0,10	0,10			

ANEXO 2. Teste Q e Limite de Confiança

Rejeição de dados - teste Q

$$Qexp = \left| \frac{(Valor\ suspeito - valor\ mais\ próximo)}{(Maior\ valor - menor\ valor)} \right|$$

	As (mg/L)			V. Sup	V. Prox	Maior V.	Menor V	Qexp	Qc=0,970	Média 2	D. Padrão	$t*s/\sqrt{3}$
A1	0,136	0,156	0,160	0,136	0,156	0,160	0,136	-0,833	Aceite			
A2	0,196	0,197		0,241	0,197	0,241	0,196	0,978	Rejeita-se	0,233	0,144	0,120
A3	0,562	0,310	0,146	0,562	0,310	0,562	0,146	0,606	Aceite			
E1	0,492	0,508	0,504	0,492	0,504	0,508	0,492	-0,750	Aceite			
E2	0,521	0,551	0,557	0,521	0,551	0,557	0,521	-0,833	Aceite	0,519	0,023	0,019
E3		0,508	0,508	0,477	0,508	0,508	0,477	-1,000	Rejeita-se			
F1												
F2					0,519							
F3												
G1	0,388	0,153	0,517									
G2				0,153	0,388	0,517	0,153	-1,000	Rejeita-se			
G3												
H1	0,057	0,061	0,065	0,057	0,061	0,065	0,057	-0,558	Aceite			
H2	0,065	0,066	0,062	0,062	0,065	0,066	0,062	-0,638	Aceite	0,058	0,008	0,006
H3	0,043	0,057	0,050	0,057	0,050	0,057	0,043	0,507	Aceite			
I1	0,055	0,061	0,062	0,055	0,061	0,062	0,055	-0,944	Aceite	0,059	0,004	0,010
I2												
I3												
J1												
J2												
J3												
k1												
k2												
k3												
L1												
L2												
L3												

	Cd (mg/L)			V. Sup	V. Prox	Maior V.	Menor V	Qexp	Qc=0,970	Média 2	D. Padrão	$t*s/\sqrt{3}$
E1	0,059	0,062	0,062	0,059	0,062	0,062	0,059	-0,892	Aceite			
E2	0,066	0,071	0,072	0,066	0,071	0,072	0,066	-0,859	Aceite	0,064	0,005	0,004
E3	0,056	0,062	0,063	0,056	0,062	0,063	0,056	-0,864	Aceite			

c

Amo	Ni (mg/L)			Valor su	Valor ma	Maior val	Menor valor		Qcrítico=0	Média 2	D. Padrão	$t*s/\sqrt{3}$
A1	0,550	0,603	0,600	0,550	0,600	0,603	0,550	-0,943	Aceite			
A2	0,570	0,628	0,676	0,570	0,628	0,676	0,570	-0,547	Aceite	0,621	0,055	0,045
A3	0,727	0,641	0,592	0,727	0,641	0,727	0,592	0,637	Aceite			
B1	ND											
B2	ND											
B3	ND											
C1	0,204	0,229	0,230	0,204	0,229	0,230	0,204	-0,962	Aceite			
C2		0,229	0,227	0,213	0,227	0,227	0,213	-1,000	Rejeita-se	0,233	0,018	0,016
C3	0,234	0,266	0,248	0,266	0,248	0,266	0,234	0,563	Aceite			
D1	ND											
D2	ND											
D3	ND											
E1		0,134	0,134	0,125	0,134	0,134	0,125	-1,000	Rejeita-se			
E2	0,141	0,151	0,153	0,141	0,151	0,153	0,141	-0,833	Aceite	0,138	0,010	0,009
E3	0,122	0,135	0,134	0,122	0,134	0,135	0,122	-0,923	Aceite			
F1		0,130	0,130	0,118	0,130	0,130	0,118	-1,000	Rejeita-se			
F2	0,130	0,136	0,137	0,130	0,136	0,137	0,130	-0,857	Aceite	0,147	0,042	0,038
F3	0,124	0,137	0,251	0,251	0,137	0,251	0,124	0,898	Aceite			
G1	0,386	0,257	0,371	0,257	0,371	0,386	0,257	-0,884	Aceite			
G2		0,154	0,154	0,139	0,154	0,154	0,139	-1,000	Rejeita-se	0,221	0,104	0,093
G3	0,141	0,152	0,154	0,141	0,152	0,154	0,141	-0,846	Aceite			
H1	0,089	0,100	0,101	0,089	0,100	0,101	0,089	-0,894	Aceite			
H2	0,093	0,101	0,099	0,093	0,099	0,101	0,093	-0,726	Aceite	0,097	0,005	0,004
H3	0,089	0,100	0,099	0,089	0,099	0,100	0,089	-0,945	Aceite			
I1	0,088	0,100	0,100	0,088	0,100	0,100	0,088	-0,992	Rejeita-se			
I2	0,338	0,365	0,365	0,338	0,365	0,365	0,338	-1,000	Rejeita-se			
I3	0,337	0,363	0,362	0,337	0,362	0,363	0,337	-0,962	Rejeita-se			

Amo	Pb (mg/L)			Valor su	Valor ma	Maior val	Menor valor		Qcrítico=0	Média 2	D. Padrão	$t*s/\sqrt{3}$
E1	0,198	0,206	0,209	0,198	0,206	0,209	0,198	-0,727	Aceite			
E2	0,234	0,252	0,257	0,234	0,252	0,257	0,234	-0,783	Aceite	0,218	0,024	0,019
E3	0,192	0,206	0,209	0,192	0,206	0,209	0,192	-0,824	Aceite			

d

Amo	Tl (mg/L)			Valor su	Valor ma	Maior val	Menor valor		Qc=0,970	Média 2	D. Padrão	$t^*s/\sqrt{3}$
A1	0,388	0,426	0,419	0,388	0,419	0,426	0,388	-0,816	Aceite			
A2	0,434	0,462	0,489	0,434	0,462	0,489	0,434	-0,509	Aceite	0,453	0,045	0,040
A3	0,529	0,480		0,411	0,529	0,529	0,411	-1,000	Rejeita-se			
B1	0,014	0,013	0,014	0,013	0,014	0,014	0,013	-0,800	Aceite			
B2	0,019	0,046	0,051	0,019	0,046	0,051	0,019	-0,853	Aceite	0,036	0,021	0,018
B3	0,060	0,067	0,040	0,040	0,060	0,067	0,040	-0,740	Aceite			
C1	0,130	0,138	0,140	0,130	0,138	0,140	0,130	-0,800	Aceite			
C2		0,139	0,139	0,132	0,139	0,139	0,132	-1,000	Rejeita-se	0,152	0,021	0,017
C3	0,161	0,190	0,175	0,190	0,175	0,190	0,161	0,517	Aceite			
D1	0,341	0,349	0,350	0,341	0,349	0,350	0,341	-0,889	Aceite			
D2	0,614	0,334	0,298	0,614	0,334	0,614	0,298	0,886	Aceite	0,350	0,103	0,084
D3	0,279	0,291	0,290	0,279	0,290	0,291	0,279	-0,917	Aceite			
E1		2,660	2,660	2,590	2,660	2,660	2,590	-1,000	Rejeita-se			
E2	2,740	2,830	2,840	2,740	2,830	2,840	2,740	-0,900	Aceite	2,701	0,096	0,085
E3	2,560	2,650	2,670	2,560	2,650	2,670	2,560	-0,818	Aceite			
F1	0,014	0,014	0,018	0,018	0,014	0,018	0,014	0,958	Aceite			
F2	0,033	0,021	0,022	0,033	0,022	0,033	0,021	0,929	Aceite	0,020	0,006	0,006
F3	0,017	0,021		0,135	0,021	0,135	0,017	0,969	Rejeita-se			
G1	0,887	0,830	0,857	0,887	0,857	0,887	0,830	0,526	Aceite			
G2	0,633	0,653	0,655	0,633	0,653	0,655	0,633	-0,909	Aceite	0,718	0,106	0,087
G3	0,641	0,649	0,659	0,641	0,649	0,659	0,641	-0,444	Aceite			
H1	0,486	0,501	0,506	0,486	0,501	0,506	0,486	-0,750	Aceite			
H2	0,496	0,512	0,502	0,496	0,502	0,512	0,496	-0,375	Aceite	0,499	0,009	0,008
H3	0,484	0,505	0,503	0,484	0,503	0,505	0,484	-0,905	Aceite			
I1	0,476	0,499	0,500	0,476	0,499	0,500	0,476	-0,958	Aceite			
I2	0,093	0,106	0,102	0,093	0,102	0,106	0,093	-0,699	Aceite	0,230	0,196	0,160
I3	0,093	0,098	0,103	0,093	0,098	0,103	0,093	-0,500	Aceite			

e

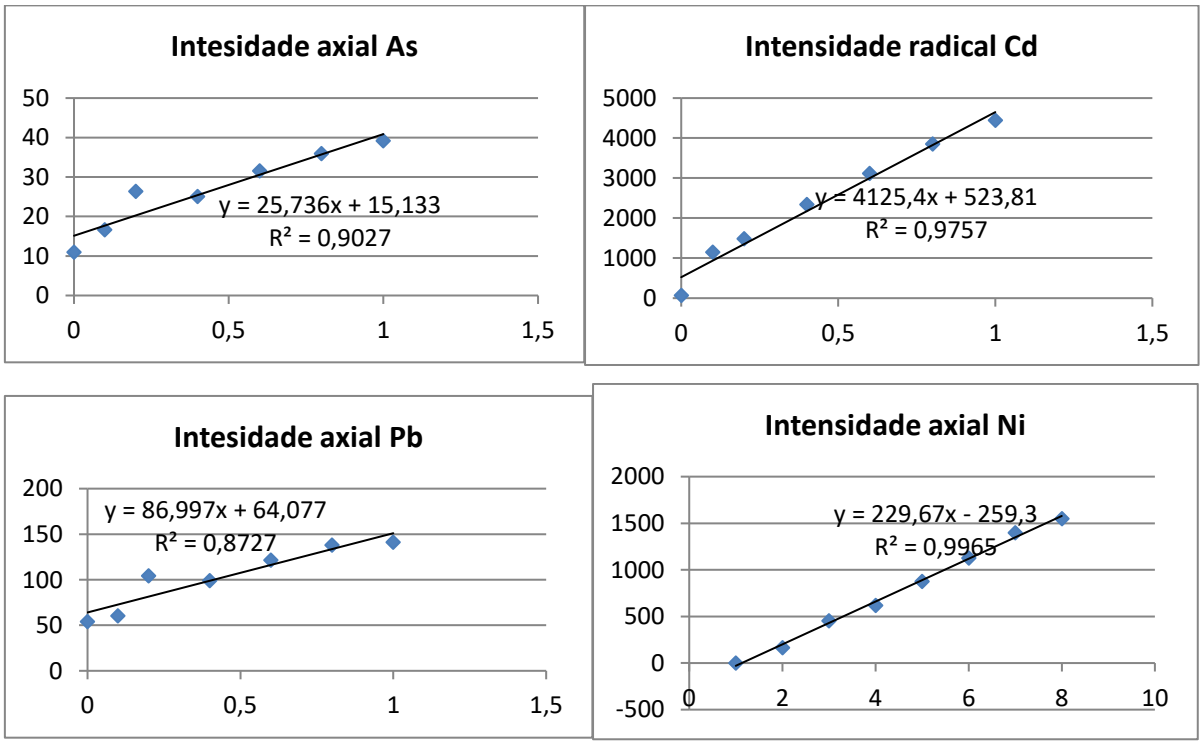
Amo	U (mg/L)			Valor su	Valor ma	Maior val	Menor valor		Qcrítico=0	Média 2	D. Padrão	$t*s/\sqrt{3}$
A1	0,143	0,159	0,151	0,143	0,151	0,159	0,143	-0,500	Aceite			
A2	0,189	0,189		0,214	0,189	0,214	0,189	1,000	Rejeita-se	0,176	0,033	0,029
A3	0,233	0,205	0,141	0,233	0,205	0,233	0,141	0,304	Aceite			
B1												
B2												
B3												
C1	0,011	0,012	0,013	0,013	0,012	0,013	0,011	0,333	Aceite			
C2	0,010	0,013	0,014	0,010	0,013	0,014	0,010	-0,842	Aceite	0,026	0,022	0,020
C3	0,041	0,068	0,053	0,068	0,053	0,068	0,041	0,542	Aceite			
D1		0,001	0,001	0,010	0,001	FALSO	0,001	-6,923	Rejeita-se			
D2												
D3												
E1	0,296	0,301	0,304	0,296	0,301	0,304	0,296	-0,625	Aceite			
E2	0,345	0,355	0,357	0,345	0,355	0,357	0,345	-0,833	Aceite	0,317	0,027	0,022
E3	0,289	0,298	0,304	0,289	0,298	0,304	0,289	-0,600	Aceite			
F1												
F2												
F3												
G1	0,117	0,113	0,120	0,117	0,113	0,117	0,120	-1,333	Rejeita-se			
G2												
G3												
H1	0,086	0,084	0,091	0,091	0,086	0,091	0,084	0,775	Aceite			
H2	0,094	0,095	0,086	0,086	0,094	0,095	0,086	-0,910	Aceite	0,089	0,004	0,003
H3		0,088	0,088	0,084	0,088	0,088	0,084	-1,048	Rejeita-se			
I1	0,077	0,081	0,086	0,086	0,081	0,086	0,077	0,556	Aceite	0,081	0,005	0,014
I2	ND											
I3	ND											

f

ANEXO 3. Parâmetros utilizados para o LD e LQ

As		Cd	Pb	Ni
Padrão	I. axial	I radical	I. axial	I. axial
0,10	16,64	1151,64	60,39	455,91
0,20	26,38	1485,77	104,36	617,58
0,40	25,08	2335,94	99,03	877,04
0,60	31,56	3119,18	121,29	1127,80
0,80	35,93	3851,08	138,14	1397,90
1,00	39,14	4441,76	141,09	1551,25
b	22,21	3739,82	87,00	1236,12
Sxy	2,83	78,66	13,60	39,60

ANEXO 4. Curvas analíticas do branco



ANEXO 5. índice de avaliação de metais pesados (HEI)

$$HEI = \sum_{i=0}^{n} \frac{H_C}{H_{MAC}}$$

HEI = 0	não poluída
HEI < 40	fracamente poluída
40 < HEI	mediamente poluída
80 < HEI	altamente poluída

Amostra A (mg/L)			
Metal	HC	HMAC	HC/HMAC
As	0,229	0,010	22,883
Cd	ND	0,003	ND
Ni	0,621	0,070	31,050
Pb	Nd	0,010	ND
Tl	0,436	0,002	218,167
U	0,172	0,030	5,733
HEI(Σ)			277,833
80 < HEI		altamente poluída	

Amostra B			
Metal	HC	HMAC	HC/HMAC
As	ND	0,010	ND
Cd	ND	0,003	ND
Ni	ND	0,070	ND
Pb	ND	0,010	ND
Tl	0,036	0,002	18,017
U	ND	0,030	ND
HEI(Σ)			18,017
HEI < 40		fracamente poluída	

Amostra C (mg/L)			
Metal	HC	HMAC	HC/HMAC
As	ND	0,010	ND
Cd	ND	0,003	ND
Ni	0,235	0,070	11,758
Pb	ND	0,010	ND
Tl	0,156	0,026	5,980
U	0,026	0,030	0,868
HEI (Σ)			18,606
HEI < 40		fracamente poluída	

Amostra D (mg/L)			
Metal	HC	HMAC	HC/HMAC
As	ND	0,010	ND
Cd	ND	0,003	ND
Ni	ND	0,070	ND
Pb	ND	0,010	ND
Tl	0,350	0,002	175
U	ND	0,030	ND
HEI(Σ)			175
80 < HEI		altamente poluída	

Amostra E (mg/L)			
Metal	HC	HMAC	HC/HMAC
As	0,517	0,010	57,744
Cd	0,064	0,003	21,333
Ni	0,139	0,070	6,967
Pb	0,218	0,010	21,800
Tl	2,715	0,002	1 348,500
U	0,317	0,030	10,567
HEI(Σ)			1 469,896
80 < HEI		altamente poluída	

h

Amostra F (mg/L)			
Metal	HC	HMAC	HC/HMAC
As	ND	0,010	ND
Cd	ND	0,003	ND
Ni	0,153	0,070	7,625
Pb	ND	0,010	ND
Tl	0,018	0,002	9,000
U	ND	0,030	ND
HEI(Σ)			16,625
HEI < 40		fracamente poluída	

Amostra G (mg/L)			
Metal	HC	HMAC	HC/HMAC
As	ND	0,010	ND
Cd	ND	0,003	ND
Ni	0,214	0,070	10,700
Pb	ND	0,010	ND
Tl	0,718	0,002	359,000
U	ND	0,030	ND
HEI(Σ)			369,700
80 < HEI		altamente poluída	

Amostra H (mg/L)			
Metal	HC	HMAC	HC/HMAC
As	0,058	0,010	5,800
Cd	ND	0,003	ND
Ni	0,097	0,070	1,386
Pb	ND	0,010	ND
Tl	0,499	0,002	249,500
U	0,089	0,030	2,967
		HEI	259,652
80 < HEI		altamente poluída	

Amostra I (mg/L)			
Metal	HC	HMAC	HC/HMAC
As	0,059	0,010	5,900
Cd	ND	0,003	ND
Ni	ND	0,070	ND
Pb	ND	0,010	ND
Tl	0,230	0,002	115,000
U	0,081	0,030	2,700
		HEI	123,60
80 < HEI		altamente poluída	

ANEXO 6. Avaliação do risco a saúde humana

$$HQ = \frac{IDC}{DDR} \qquad IDC = \frac{C \times CDA \times TE \times DE}{PC \times TME \times 365}$$

$$HI = \sum_{i=0}^{n} \text{HQ} = HQ_{As} + HQ_{Cd} + HQ_{Ni} + HQ_{Pb} + HQ_{Tl} + HQ_{U}$$

Onde,

IDC – (mg/Kg/dia); C – (mg/L); CDA – (2 L/dia); TME – (1 anos);

TE – (365 dias/ano); DE – (ano); PC – 70 Kg; ; DDR – (mg/dia);

Metal	Conc. A	ICD	DDR	HQ
As	0,2288	0,0065381	0,0003000	21,7936508
Cd	ND			
Ni	0,6208	0,0177365	0,0500000	0,3547302
Pb	ND			
Tl	0,4534	0,0129536	SI	
U	0,1763	0,0050357	0,0010000	5,0357143
HI (mg/kg/dia)			Maior risco	27,1841

Metal	Conc. B	ICD	DDR	HQ
As	ND		0,0003000	-
Cd	ND		0,0010000	-
Ni	ND		0,0500000	-
Pb	ND		0,0030000	-
Tl	0,036	0,0010295	SI	
U	ND		0,0010000	-
HI (mg/kg/dia)		Não cancerígeno		-

Metal	Conc. C	ICD	DDR	HQ
As	ND		0,0003000	-
Cd	ND		0,0010000	-
Ni	0,233	0,0066679	0,0500000	0,1333571
Pb	ND		0,0030000	-
Tl	0,152	0,0043286	SI	
U	0,026	0,0007438	0,0010000	0,7438095
HI (mg/kg/dia)		Não cancerígeno		0,8772

Metal	Conc.	ICD	DDR	HQ
As	ND		0,0003000	-
Cd	ND		0,0010000	-
Ni	ND		0,0500000	-
Pb	ND		0,0030000	-
Tl	0,350	0,0099873	SI	
U	ND		0,0010000	-
HI (mg/kg/dia)		Não cancerígeno		-

Metal	Conc.	ICD	DDR	HQ
As	0,519	0,0148179	0,0003000	49,3928571
Cd	0,064	0,0018181	0,0010000	1,8180952
Ni	0,138	0,0039429	0,0500000	0,0788571
Pb	0,218	0,0062317	0,0030000	2,0772487
Tl	2,701	0,0771786	SI	
U	0,317	0,0090444	0,0010000	9,0444444
HI (mg/kg/dia)		Não cancerígeno		62,4115

Metal	Conc. F	ICD	DDR	HQ Adulto
As	ND		0,0003000	-
Cd	ND		0,0010000	-
Ni	0,147	0,0041964	0,0500000	0,0839286
Pb	ND		0,0030000	-
Tl	0,018	0,0005143	SI	
U	ND		0,0010000	-
HI (mg/kg/dia)		Não cancerígeno		0,08392857

Metal	Conc. G	ICD	DDR	HQ
As	ND		0,0003000	-
Cd	ND		0,0010000	-
Ni	0,214	0,0061143	0,0500000	0,1222857
Pb	ND		0,0030000	-
Tl	0,718	0,0205206	SI	
U	ND		0,0010000	-
HI (mg/kg/dia)		Não cancerígeno		0,12228571

Metal	Conc. H	ICD	DDR	HQ
As	0,058	0,0016657	0,0003000	5,5523810
Cd	ND		0,0010000	-
Ni	0,097	0,0027714	0,0500000	0,0554286
Pb	ND		0,0030000	-
Tl	0,499	0,0142571	SI	
U	0,089	0,0025429	0,0010000	2,5428571
HI (mg/kg/dia)		Não cancerígeno		8,15066667

Metal	Conc. I	ICD	DDR	HQ
As	0,059	0,0000001	0,0003000	0,0002993
Cd	ND		0,0010000	-
Ni	ND		0,0500000	-
Pb	ND		0,0030000	-
Tl	0,499	0,0142698	SI	
U	0,089	0,0025429	0,0010000	2,5428571
HI (mg/kg/dia)		Não cancerígeno		2,54315648

Metal	Conc.J, K e L	ICD	DDR	HQ
As	ND		0,0003000	-
Cd	ND		0,0010000	-
Ni	ND		0,0500000	-
Pb	ND		0,0030000	-
Tl	ND		SI	
U	ND		0,0010000	-
HI (mg/kg/dia)		Não cancerígeno		-

ANEXO 7. Acidificação das amostras



Analise no ICP-OES





m