



UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ
CENTRO DE CIÊNCIAS
DEPARTAMENTO DE QUÍMICA ANALÍTICA E FÍSICO-QUÍMICA
CURSO DE GRADUAÇÃO EM QUÍMICA

IAGO GABRIEL MEDEIROS NOBRE

**ANÁLISE DE METAIS EM SOLO POR ESPECTROSCOPIA DE EMISSÃO
ÓPTICA POR PLASMA INDUTIVAMENTE ACOPLADO**

FORTALEZA-CE

2022

IAGO GABRIEL MEDEIROS NOBRE

ANÁLISE DE METAIS EM SOLO POR ESPECTROSCOPIA DE EMISSÃO
ÓPTICA POR PLASMA INDUTIVAMENTE ACOPLADO

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Graduação em Química do Centro de Ciências da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial à obtenção do grau de bacharel em Química.

Orientador Pedagógico: Prof. Dr. Ronaldo Ferreira do Nascimento

Orientador Profissional: Msc. Fátima Andrea Lima Girão

FORTALEZA-CE

2022

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
Universidade Federal do Ceará
Sistema de Bibliotecas
Gerada automaticamente pelo módulo Catalog, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

N672a Nobre, Iago Gabriel Medeiros.
Análise de metais em solo por espectroscopia de emissão óptica por plasma indutivamente acoplado /
Iago Gabriel Medeiros Nobre. – 2022.
44 f. : il. color.

Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) – Universidade Federal do Ceará, Centro de Ciências,
Curso de Química, Fortaleza, 2022.

Orientação: Prof. Dr. Ronaldo Ferreira do Nascimento.
Coorientação: Profa. Ma. Fátima Andrea Lima Girão.

1. Solos. 2. Poluição. 3. Metais. I. Título.

CDD 540

IAGO GABRIEL MEDEIROS NOBRE

ANÁLISE DE METAIS EM SOLO POR ESPECTROSCOPIA DE EMISSÃO
ÓPTICA POR PLASMA INDUTIVAMENTE ACOPLADO

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado ao Curso de Graduação em
Química do Centro de Ciências da
Universidade Federal do Ceará, como
requisito parcial à obtenção do grau de
bacharel em Química.

Aprovada em 16/02/2022:

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Ronaldo Ferreira do Nascimento
(Orientador Pedagógico)
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Msc. Fátima Andrea Lima Girão
(Orientadora Profissional)
Núcleo de Tecnologia e Qualidade Industrial do Ceará
(NUTEC)

Dr. André Gadelha de Oliveira
(Examinador)
Universidade de Fortaleza
(UNIFOR)

AGRADECIMENTOS

Aos meus pais pelo dom da vida, e por cada ação que me fez me tornar quem sou hoje.

A minha orientadora Fátima Andrea, por sempre ter paciência e me acalmar nos momentos de ansiedade.

A UFC, por me dar estrutura para me tornar um profissional na área de química.

Ao NUTEC, pelo espaço e oportunidade de estágio.

Aos professores que tive durante a graduação, que me permitiram aumentar meu conhecimento.

A todos meus amigos que conheci na UFC, em especial para Daniel Moraes, Maria Sabrina, Gabriel Lima, Lillian Paula, Felipe Agostinho e Emanuelle Marinho, por todas as conversas que aliviaram os momentos de tensão.

A todos do grupo PET Química, em especial a prof. Tutora Maria das Graças Gomes, pelos conselhos.

A Gabriel Cabral e Francisco Vinícius por terem me ajudado nos momentos de pânico antes que o trabalho se iniciasse.

Aos meus amigos de longa data, João Paulo, Anna Beatrice, Francisco Lucas, José Gilvan e José da Silva, Vivian Danielle e Guilherme Ribeiro por cada momento de compreensão e apoio.

A Anna Negreiros, por cada palavra de apoio e incentivo, por ter estado ao meu lado e ter sido companheira durante toda a escrita deste trabalho.

A minha psicóloga Lívia Ferreira, por ter me ajudado com controle de ansiedade.

A Deus, por cada coisa boa que aconteceu na minha vida, mesmo quando eu estava perdido.

Dedico este trabalho a cada um que me apoiou quando tive ansiedade.

RESUMO

A partir do surgimento da revolução industrial, a ação do homem sobre o meio ambiente se tornou cada vez mais impactante, visto o crescimento da população, a necessidade pela retirada de recursos aumentou consideravelmente, a produção exacerbada de produtos gera uma grande quantidade de lixo, poluindo águas e solo, sendo parte dessa contaminação gerada por metais pesados, que são descartados de forma inadequada por indústrias, apresentando risco para fauna e flora. Nesse trabalho, foram analisados a presença de metais (ferro, alumínio, bário, cromo, cádmio, chumbo, cobalto, cobre, molibdênio e zinco) em amostras de solo do Ceará e verificada a presença de contaminação com base na legislação nacional. A concentração de ferro, alumínio, bário e cromo foi investigada por Espectrometria de Emissão Atômica por Plasma Acoplado Indutivamente (ICP-OES). As amostras (C e D) apresentaram valores para cromo acima do proposto pelo CONAMA nº420, se fazendo necessária avaliação de possível poluição de origem antrópica. A amostra D também apresentou valores discordantes para o Bário, indicando que o solo não seria adequado para agricultura. Para todas as amostras foram encontrados elevados níveis de concentração para alumínio e ferro, indicando potencial riscos para fauna e flora local. Os resultados sugerem a necessidade de estudos para regulação e criação de parâmetros para concentração de ferro e alumínio no solo em solos, desde que afetam a saúde humana, a agricultura, bem como a criação de parâmetros específicos regionais para cada estado de nosso país.

Palavras-chave: Solos, poluição, metais.

ABSTRACT

From the emergence of the industrial revolution, the action of man on the environment has become increasingly impactful, given the growth of population, the need for the withdrawal of resources has increased considerably, the exacerbated production of products generates a large amount of waste, polluting water and soil, and part of this contamination is generated by heavy metals, which are improperly discarded by industries, presenting a risk to fauna and flora. In this work, the presence of metals (iron, aluminum, barium, chromium, cadmium, lead, cobalt, copper, molybdenum, and zinc) in soil samples from Ceará were analyzed and the presence of contamination was verified based on national legislation. The concentration of iron, aluminum, barium, and chromium was investigated by Inductively Coupled Plasma Atomic Emission Spectrometry (ICP-OES). The samples (C and D) showed values for chromium above those proposed by CONAMA n° 420, making it necessary to evaluate possible pollution of human origin. Sample D also presented discordant values for Barium, indicating that the soil would not be suitable for agriculture. For all samples, high levels of aluminum and iron concentration were found, indicating potential risks for local fauna and flora. The results suggest the need for studies to regulate and create parameters for soil iron and aluminum concentration in soils, since they affect human health, agriculture, as well as the creation of specific regional parameters for each state of our count

Keywords: Soils, pollution, metals.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Grande quantidade de dejetos em aterros sanitários no estado do Ceará	16
Figura 2 - Terreno contaminado por metais pesados	18
Figura 3 - Relação entre desenvolvimento de organismo na presença de (A) metais essenciais e (B) metais não essenciais	22
Figura 4 - Tabela de valores orientadores de qualidade no solo.	27
Figura 5 - Representação dos três tipos de nebulizadores mais empregados: (a) nebulizador concêntrico; (b) nebulizador de fluxo cruzado; e (c) nebulizador Babington	31
Figura 6 - Esquema de funcionamento de um ICP-OES	32
Figura 7 - Quarteamento da amostra.	34
Figura 8 – Esquema de preparo da amostra para ser colocada no biodigestor.	35
Figura 9 -Modelo do ICP utilizado	36

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Classificação de alguns metais de acordo com toxicidade à fauna e flora. . .	17
Tabela 2 – Parâmetros para o biodigestor estabelecidos pela USEPA 3051.	35
Tabela 3 – Especificações de configuração do ICP.	36
Tabela 4 – Linhas utilizadas para medida do sinal de cada elemento	36
Tabela 5 - Resultados obtidos por ICP-OES para a amostra A e B.	38
Tabela 6 - Resultados obtidos por ICP-OES para a amostra C e D.	39

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	12
2	OBJETIVOS	14
2.1	Objetivos Gerais	14
2.2	Objetivos Específicos	14
3	Revisão da Literatura	15
3.1	Revolução industrial: “Metais pesados”	15
3.2	Indicadores de impacto ambiental	18
3.3	Indicadores Biológicos	19
3.4	Indicadores Físicos	20
3.5	Indicadores químicos	20
3.6	Química dos “metais pesados”	21
3.6.1	Ferro	22
3.6.2	Alumínio	23
3.6.3	Bário	24
3.6.4	Cromo	25
3.7	Legislação	25
3.8	Química Verde	28
3.9	ICP-OES	30
4	MATERIAIS E MÉTODOS	33
4.1	Preparo de Amostras	33
4.2	Digestão da amostra	34
4.3	Determinação dos analitos por ICP-OES	36

5	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	37
5.1	Determinação da concentração dos analitos na amostra de solo (A) e (B)..	37
5.2	Determinação da concentração dos analitos na amostra de solo (C) e (D)..	38
6	CONCLUSÃO.....	40

1. INTRODUÇÃO

O solo é identificado como a camada superficial de nossa crosta terrestre, sendo uma matriz de vital importância para todos os seres vivos em nosso planeta, desempenhando caráter ecológico, social, e econômico, possuindo componentes biológicos patogênicos e minerais, cujos valores naturais para essas espécies, quando excedidos, podem vir a apresentar mudanças no aspecto físico do solo, gerando perda de elementos essenciais, alterações climáticas, e afetando fauna e flora local, visto isso, a contaminação de um solo pode ser associada a substância presente em resultado de ação antropogênica que apresenta concentração acima da natural (PAGANINI, et al., 2004).

A revolução industrial e os meios de produção como um todo, desde seu surgimento no século XVIII, intensificaram as ações antrópicas na natureza, afetando diretamente a forma como o ser humano altera o espaço ao seu redor e está diretamente ligado ao aumento da poluição crescente desde então. Assim nos últimos anos foi criado o termo química verde, com intuito de evitar ao máximo a contaminação de certos elementos, e utilizando sempre que possível o uso de reagentes que não sejam tóxicos ao meio ambiente.

Com a intensificação de atividades industriais e agrícolas nas últimas décadas, há também o aumento da contaminação por metais tóxicos. Devido ao crescimento da mineração e metalúrgica, a quantidade de rejeitos gerados é cada vez maior, que são muitas vezes despejados em recursos hídricos, atingindo solo e água, que posteriormente afeta gravemente a saúde humana por meio de ingestão, inalação ou contato com a pele. Sendo assim se torna necessária a identificação de áreas com excessos de metais tóxicos para que políticas de controle de poluição sejam aplicadas (XU et al., 2014).

Com intuito de ajudar no combate à poluição dos solos, foi implantado, pelo Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA), a resolução N° 420, de 28 de dezembro de 2009, dispondo de critérios e valores orientadores de qualidade do solo quanto a presença de substâncias químicas, estabelecendo diretrizes para o gerenciamento ambiental de áreas contaminadas em decorrência de atividades antrópicas.

Portanto, neste trabalho foi feita a análise de metais tóxicos (ferro, alumínio, bário e cromo) em amostras de solo do estado do Ceará no município de Santa Quitéria, de

modo a comparar os valores obtidos com os valores estabelecidos no CONAMA N° 420, levando em conta que este é uma resolução de nível nacional que não avalia alguns fatores relacionados ao solo natural de cada clima e região do Brasil.

2. OBJETIVOS

2.1 Objetivos gerais

O objetivo deste trabalho é analisar os metais ferro, alumínio, bário e cromo em amostras de solo coletadas em diferentes regiões do estado do Ceará, no município de Santa Quitéria, e comparar com os valores estabelecidos na resolução CONAMA N° 420.

2.2 Objetivos Específicos

- A. Executar procedimentos de preservação das amostras desde a chegada ao laboratório.
- B. Analisar as características físico-químicas dos diferentes tipos de solo de diferentes localidades estudadas.
- C. Executar o procedimento de tratamento e preparo das amostras para realização das medidas de concentração dos analitos.
- D. Utilizar-se de espectrometria de emissão ótica com plasma acoplado (ICP-OES) para determinação das concentrações dos metais nas amostras.
- E. Comparar os resultados obtidos com os valores determinados pelo CONAMA N° 420.

3. Revisão da literatura

3.1 Revolução Industrial: “Metais pesados”

A partir do surgimento da agricultura, a espécie humana interfere no meio em que vive, alterando-o de forma a cumprir os seus próprios interesses. A partir da revolução industrial iniciada no século XVIII essa transformação se tornou mais intensa, produzindo significativamente mais resíduos, em virtude disso, os efeitos dessa modificação podem ser notados no clima, vegetação e principalmente no consumo de recursos naturais.

Geralmente a revolução industrial é dividida em três etapas como definido por Castells (1999):

- Primeira Revolução industrial: iniciada no século XVIII (entre 1760 e 1850) na Inglaterra, tendo como grande fonte de energia o carvão, e principal característica o uso de máquinas para confecção de produtos, criando assim a divisão do trabalho.
- Segunda Revolução industrial: chamada também de revolução tecnológica, com seu apogeu no século XX (entre 1850 e 1945) iniciada nos Estados Unidos da América e se espalhando pelo mundo, marcada pela criação e uso de novas tecnologias, como aparelhos de telecomunicação, e aperfeiçoamento de tecnologias já utilizadas, utilizado petróleo como principal fonte de energia.
- Terceira Revolução industrial: conhecida como revolução digital, se dá início no século XX (entre 1945 e se estende até os dias atuais) também nos EUA, com fim da segunda guerra mundial, e pelo surgimento de novas fontes de energia e pela globalização, essa etapa é marcada pela preocupação com o meio ambiente, principalmente após a década de 70 onde se destacam o surgimento de informações sobre aquecimento global e efeito estufa.

Embora o impacto causado no meio ambiente seja significativo desde a primeira revolução industrial, é a partir da revolução tecnológica que consequências de maior gravidade podem ser observadas, como mudanças climáticas, derretimento de geleiras, buracos na camada de ozônio, entre outros.

As pesquisas no campo da Química assim se fazem de vital importância para solução de questões globais, desde mudanças climáticas, tratamentos de efluentes à demanda energética mundial (FAPESC, 2011).

Resíduos gerados pela vida urbana, agricultura e, principalmente, por despejos industriais, são responsáveis pela poluição do solo, cujos principais agentes poluidores são solventes, detergentes, componentes eletrônicos, tintas, gasolina, diesel, óleos automotivos, hidrocarbonetos e metais pesados. Essa contaminação se deve principalmente pela quantidade exacerbada de lixo, descarte indevido de dejetos e uso indiscriminado de agrotóxicos.

Figura 1 - Grande quantidade de dejetos em aterros sanitários no estado do Ceará



Fonte: Diário do Nordeste (2018)

Quanto a toxicidade dos metais encontrados no solo, podem ser classificados como: não-crítico, tóxico ou muito tóxico (Tabela 1):

Tabela 1 – Classificação de alguns metais de acordo com toxicidade à fauna e flora.

Toxidade	Elementos
Não crítico	Na, K, Mg, Ca, Fe, Rb, Sr, Si
Tóxico	Ti, Hf, Zr, W, Nb, Ta, Re, Ga, La, Os, Rh, Ir, Ru, Ba, Al
Muito tóxico	Be, Co, Ni, Zn, Cu, Sn, As, Se, Te, Pd, Ag, Cd, Pt, Au, Hg, Tl, Pb, Bi

Fonte: Chaves (2008)

Na classificação dos metais pesados estão: chumbo (Pb), cádmio (Cd), níquel (Ni), cobalto (Co), ferro (Fe), bário (Ba), zinco (Zn), cromo (Cr), arsênio (As), prata (Ag) (GONÇALVEZ, 2002). Resíduos de metais pesados no solo são geralmente oriundos de atividades antrópicas, dependendo das espécies químicas presentes podem apresentar risco efetivo ou potencial a saúde humana, gerando também impacto ambiental e socioeconômico, se fazendo necessários cuidados especiais (AMARAL SOBRINHO et al., 1998).

A composição e concentração de metais pesados naturais dependem do tipo de rocha e condições ambientais, ativando o processo de desgaste. Materiais vegetais geológicos geralmente possuem elevada concentração de cromo (Cr), selênio (Se), chumbo (Pb), e mercúrio (Hg). Rochas ígneas como olivina, hornblenda augite, contribuem com grandes quantidades de manganês (Mn), cobalto (Co), níquel (Ni), cobre (Cu) e zinco (Zn) para os solos, no entanto a formação do solo ocorre principalmente, a partir de rochas sedimentares (SOUZA et al., 2018).

Fontes industriais de metais pesados incluem mineração, refinamento, transporte, fundição, acabamento, reciclagem de metais, entre outros, podendo criar fontes de diferentes metais pesados, dependendo do tipo de extração realizada, por exemplo, minas de carvão podem servir como fonte de arsênio (As), cádmio (Cd) e Ferro (Fe) (SOUZA et al., 2018).

Figura 2- Terreno contaminado por metais pesados



Fonte: Fundação Oswaldo Fiocruz

Organismos presentes no solo que são expostos a contato direto ou por ingestão de partículas coloidais podem vir a não apresentar bioacumulação, visto que podem armazenar metais pesados sob formas não tóxicas, porém a maior parte da fauna não possui essa capacidade de regular a bioacumulação de metais não essenciais, podendo sofrer os efeitos tóxicos da contaminação do solo. (Rainbow 2002).

3.2 Indicadores de impacto ambiental

Um solo contaminado pode apresentar fatores indicadores de impacto ambiental, podendo ser caracterizados como; biológicos, físicos e químicos. Também apresentam separação caso sejam quantitativos ou qualitativos (ZABOTTO, 2019).

3.3 Indicadores biológicos:

- **Percentual de recobrimento do solo:** A cobertura vegetal de um solo previne a erosão deste, protegendo-o de fatores como chuva e vento, e aumentando a concentração de matéria orgânica e nutrientes do solo, podendo também absorver contaminantes do solo.
- **Composição química da serapilheira:** Coberturas vegetais do solo são capazes de formar serapilheira (nome dado à camada de material orgânico ou em decomposição em superfície de solos, sua composição varia dependendo do ecossistema), esta é capaz de contribuir com a fertilidade do solo, sendo sua composição um indicativo de possível poluição, além disso, o material vegetal pode ser analisado com relação ao peso seco, teores de lignina e celulose, relação de carbono/nitrogênio, macro e micronutrientes, entre outros.
- **Distribuição de raízes:** Através da densidade e comprimento das raízes é possível detectar alterações no ambiente, distribuição de poros, umidade gravimetria, e distribuição da mesofauna.
- **População microbiana:** Capaz de verificar qualitativamente e quantitativamente alterações no meio, sendo importante, para o cálculo de índice de diversidade e frequência de ocorrência de espécies, sua variação pode vir a ser um indicativo de poluição.
- **Biomassa Microbiana:** Definida como parte da matéria viva dentre a matéria orgânica do solo, sem incluir raízes e animais de maior porte.
- **Caracterização da Mesofauna:** No geral vermes com capacidade de ingestão e decomposição da matéria orgânica no solo são os constituintes da mesofauna, as concentrações destes no solo varia com relação ao ambiente, podendo indicar a porosidade do solo com base na concentração destes.

3.4 Indicadores Físicos:

- **Erosão:** Estimativa de perda da camada mais superficial do solo com relação a quantidade de cobertura vegetal.
- **Textura:** Importante para determinação do tipo de solo, assim, sendo possível determinar quantidades de insumos agrícolas podem ser usadas, além de verificar modificações que podem ocorrer no solo devido contaminação ou erosão.
- **Densidade de partícula (Dp):** Proporção existente entre parte orgânica e parte mineral de um solo, usado para determinação da porosidade total de um solo.
- **Densidade do solo (Ds):** Relação de massa entre volume total ocupado pela massa do solo, pelo espaço ocupado por solo, ar e água, sendo inversamente proporcional a permeabilidade do solo e capaz de indicar porosidade e capacidade de armazenamento de água.
- **Umidade gravimétrica:** Forma de determinar o quanto um solo é capaz de armazenar água, relacionando-a com a população microbiana e mesofauna.
- **Estrutura do solo:** Define as características sobre arranjo de partículas no solo, é extremamente importante para agricultura, e seu aspecto depende do clima e fauna e flora locais.

3.5 Indicadores químicos:

- **Macro e micronutrientes:** Presentes no ecossistema natural, suas alterações podem vir a serem indicativos de impactos ambientais ocorridos no solo.

- **Metais pesados:** Sua determinação é importante para saber se um solo apresenta contaminação, comparando os valores encontrados com as concentrações naturais desses metais para o tipo de solo analisado, e para definir se a origem desses é de forma antrópica ou não.
- **Carbono orgânico e matéria orgânica:** Remetem a cobertura vegetal e atividade microbiana na produção de matéria orgânica para o solo.

Neste trabalho, destaca-se a análise de metais pesados, com ênfase nas concentrações de ferro, alumínio, bário e cromo, que podem ser indicadores químicos de impacto ambiental para as amostras de solos analisados.

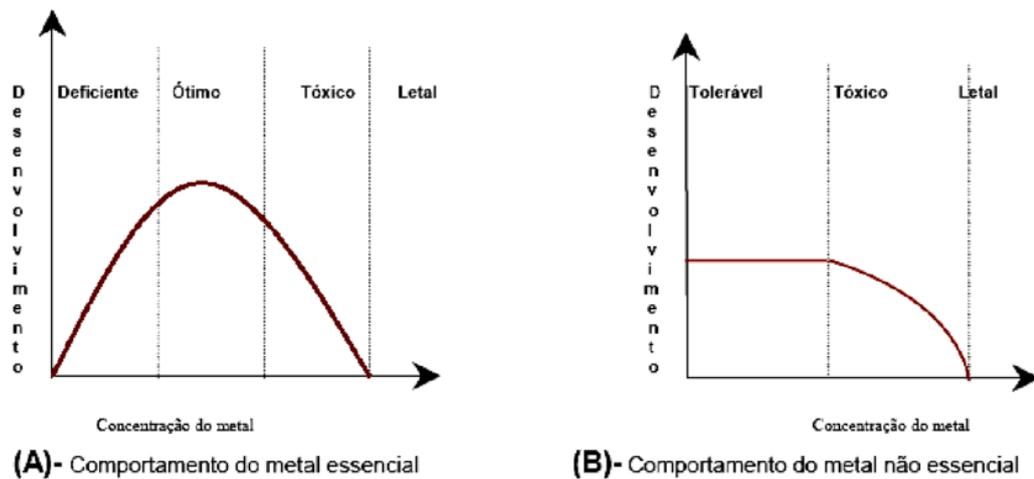
3.6 Química dos “metais pesados”

Os metais (de origem do grego *metálon*), são os elementos mais abundantes da tabela periódica, sendo maior parte deles de transição, isto é, apresentam como subnível mais energético d ou f, e a menor parte são os representativos, cuja distribuição eletrônica apresentam os subníveis s ou p como mais energéticos. Os metais apresentam como principais características o brilho, altos pontos de fusão e ebulição, condutividade térmica e elétrica, capacidade de formar cátions e maleabilidade, esta última muito importante para o desenvolvimento do ser humano em sociedade, visto que permitiu a confecção de ferramentas para que nossa espécie pudesse se desenvolver e evoluir.

Alguns íons metálicos são de vital importância para os animais e vegetais, sendo necessários para o cumprimento de funções vitais, e a deficiência destes podem causar sérios problemas a saúde aos seres humanos, como anemia, retardo do crescimento em crianças. Porém o excesso ou mesmo o contato com baixas concentrações de certos metais podem causar intoxicações, como o chumbo, cádmio, mercúrio, entre outros.

De acordo com as ações biológicas que pode cumprir, um metal pode ser classificado como essencial ou não essencial, geralmente, os não essenciais são considerados tóxicos por não desempenhar nenhuma função biológica, enquanto os essenciais são necessários, mas podem apresentar toxicidade quando se apresentam em concentrações acima dos naturais.

Figura 3 - Relação entre desenvolvimento de organismo na presença de (A) metais essenciais e (B) metais não essenciais



Fonte: Souza (2011)

O termo “metal pesado” se refere geralmente a elevada densidade, enquanto o termo metal por si, se refere ao elemento puro ou a liga, não sendo estabelecido de fato uma base para o termo “metal pesado”, não relacionando este com sua massa específica com seus efeitos biológicos. O termo nos últimos anos tem sido usado de forma a definir metais relacionados a poluição ambiental e riscos ecotoxicológicos, chegando a englobar também semimetais como o arsênio, e usado também para definir o metal na sua forma elementar e nas suas formas ionizadas (DUFFUS, 2002).

Com o advento da indústria, a contaminação do solo por metais pesados foi se tornando cada vez mais comum, principalmente oriundos de mineradoras, metalúrgicas, queima de combustíveis e tratamento de resíduos. Visto o foco do trabalho, serão brevemente descritos alguns dos metais analisados e a forma como podem afetar o meio ambiente.

3.6.1 Ferro

O ferro é o elemento de número atômico de 26, possuindo brilho prateado, é o quarto elemento mais abundante na crosta terrestre e o mais utilizado pelo ser humano,

sendo utilizado na fabricação de ligas metálicas (como o aço, a liga mais utilizada no mundo), utensílios, ferramentas, produção de automóveis, estruturas de construção entre outros.

O ferro pode ser encontrado de diversas formas na natureza, principalmente na forma de óxidos, como a goethita (FeOOH), a magnetita (Fe_3O_4) e a hematita (Fe_2O_3), sendo esta última o principal minério utilizado para extração de ferro. O ferro metálico pode ser obtido por meio de reações de oxirredução com monóxido de carbono, devido seu baixo custo, além de ser o metal mais utilizado no mundo, também é a principal substância metálica produzida no Brasil.

Para nossa saúde, o ferro também apresenta grande importância, fazendo parte da composição da hemoglobina, necessária para formação das hemácias, que são responsáveis pelo transporte de oxigênio no sangue. A falta deste no corpo pode causar anemia e sintomas como: cansaço, sono, inchaço em articulações, palidez, baixa imunidade, falta de apetite, entre outros. A falta de ferro no corpo está diretamente associada a alimentação, sendo o ferro presente principalmente em cereais, leite, iogurtes e na farinha.

Para as plantas, o ferro é essencial para crescimento e desenvolvimento, estando presente tanto na fotossíntese como na respiração, mas seu excesso é capaz de causar estresse oxidativo, causando perda de produção. Plantas crescidas em solos em altas concentrações de ferro podem apresentar sintomas típicos de toxicidade, como descoloração das folhas e necrose em folhas velhas (STEIN, 2009). Para o arroz de planície, uma concentração em solução de solo de 300 mg/L é considerada limite para o cultivo (Becker et al., 2005).

3.6.2 Alumínio

O alumínio é o metal mais abundante na crosta terrestre, possui número atômico 13, é leve, resistente e possui aspecto prateado com brilho branco, muito utilizado pela indústria para fabricação de painéis, latas, cabos condutores de eletricidade, embalagens, material estrutural em veículos, entre outros.

O alumínio é encontrado na natureza, principalmente, na forma da bauxita ($\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot x\text{H}_2\text{O}$), e para sua obtenção existem dois principais métodos: o método de Bayer,

onde se é obtido a alumina (Al_2O_3), e o método de Hall-Heroult, onde a alumina obtida pelo método de Bayer é utilizada para produção do alumínio puro por eletrólise.

Em questões de saúde, o alumínio pode ser ingerido através de alimentos e água potável, além de absorção por meio da pele em contato com produtos de higiene e/ou cosméticos, ou mesmo com utensílios diários. A ingestão de alumínio pode causar danos ao sistema nervoso, causando sintomas mais graves em crianças, afetando também rins e formação dos ossos. Em geral o alumínio apresenta baixa toxicidade aguda, e pode ser excretado através dos rins, mas o contato frequente com esse pode gerar acumulação de alumínio no corpo.

Em vegetais, o alumínio em excesso causa atraso na germinação de sementes, podendo causar também estresse oxidativo, limitando crescimento das raízes, desenvolvimento das plantas, e inibindo absorção de ferro e disponibilidade do fosfato.

3.6.3 Bário

O Bário (originário do grego *barus*) é um metal pesado de número atômico 56, alcalino terroso, de coloração prateada, possuindo alta capacidade de oxidação, seu estado natural apresenta elevada toxicidade. O bário é utilizado no cotidiano principalmente na forma de sais, estando presente em lâmpadas, corantes, tintas, vidros, veneno de ratos, entre outros.

Naturalmente o bário é encontrado na forma de barita (BaSO_4), sal insolúvel, não tóxico, utilizado para perfuração na indústria petrolífera, tintas e papel, embora seja a forma mais comum de se encontrar o elemento, não é frequentemente utilizado para obtenção do metal em sua forma pura, para isso utiliza-se de cloreto de bário (BaCl_2), através de um processo de eletrólise.

O bário não é considerado um elemento considerado essencial para o ser humano, a toxicidade de sua forma livre pode causar, mesmo que ingerido em pequenas quantidades, vômito, cólica estomacal, diarreia, dificuldade respiratória, alteração da pressão sanguínea, adormecimento, da face e debilidade muscular. Em grandes quantidades, pode causar paralisia, alterações no ritmo cardíaco e levar a óbito caso não haja rápido tratamento. Sua ingestão ocorre principalmente por água e alimentos contaminados.

3.6.4 Cromo

O cromo (originário do grego *chroma*) é o elemento de número atômico 24, sendo um metal de transição na tabela periódica, possui aspecto prateado brilhante, é duro e frágil, seus óxidos e alguns cromatos são utilizados como corantes, muito frequentemente usado na dicromatometria sob forma de dicromato de potássio, como um poderoso agente oxidante.

A maioria esmagadora do cromo encontrada naturalmente se encontra na sua forma Cr^{3+} , principalmente na forma de cromatita (FeCr_2O_4), que quando aquecida na presença de alumínio ou silício reduz o cromo a sua forma metálica. O cromo na sua forma Cr^{6+} encontrado no solo é praticamente todo oriundo de atividades antrópicas, resultado de processos industriais, sendo extremamente tóxico, carcinogênico, causando problemas de saúde a trabalhadores que são expostos a tintas e pigmentos que contenham cromato, ou fabricantes de eletrônicos que passam por tratamento anticorrosivo.

O cromo na sua forma trivalente é essencial para o corpo humano, coatuando com a insulina, melhorando a tolerância à glicose, além de estimular no metabolismo proteico, auxiliando na captação de aminoácidos, e assim, aumentando síntese proteica (GOMES, et al., 2005). Já o cromo na sua forma hexavalente quando ingerido é distribuído a todos os órgãos, podendo se acumular durante anos, provocando danos celulares e formando radicais livres formando adutos no DNA, além disso, é corrosivo, podendo causar úlceras e ferimentos nasais quando inalado, seu contato com a pele causa reações alérgicas e dermatite, exposição a cromo hexavalente em altas doses pode provocar insuficiência renal aguda e severos danos aos rins.

3.7 Legislação

Devido à preocupação para preservação do meio ambiente, levando em conta a poluição do solo e águas por metais pesados, se faz necessário o controle do descarte destes, visto que são suscetíveis a bioacumulação, e capazes de intoxicar plantas e animais.

A indústria é a grande responsável pela poluição no meio ambiente, pois, mesmo sendo responsável pelo desenvolvimento tecnológico humano, gera grande quantidade de gases nocivos e resíduos que por muito tempo, foram descartados sem grandes

preocupações em solos e águas, porém, hoje, tendo em vista os conhecimentos sobre as consequências que a falta de gerenciamento adequado para resíduos pode causar, os ecologistas visam criar métodos de produção que minimizem a poluição industrial.

A ocorrência de acidentes industriais, como vazamentos, emissão de gases nocivos, entre outros, são mais um tipo de maneira que uma indústria pode causar desequilíbrio ambiental, porém, parte considerável dos resíduos responsáveis por contaminar o meio ambiente são derivados de produtos industrializados descartados pela população, incluindo aqueles que podem conter metais pesados, como pilhas, termômetros e baterias.

Diante o desafio de se prevenir a poluição dos recursos naturais de nosso país, o Brasil conta com legislação visando regular o despejo de resíduos e preservação do meio ambiente, entre elas podemos dar ênfase em algumas:

Lei 9.065 (BRASIL, 1998) afirma:

É crime causar poluição de qualquer natureza em níveis tais que resultem ou possam resultar em danos à saúde humana, ou que provoquem a mortandade de animais ou a destruição significativa da flora.

Lei 12.305 (BRASIL, 2010) afirma:

O poder público, o setor empresarial e a coletividade são responsáveis pela efetividade das ações voltadas para assegurar a observância da Política Nacional de Resíduos Sólidos e das diretrizes e demais determinações estabelecidas nesta Lei e em seu regulamento.

Resolução CONAMA nº 420 (BRASIL, 2009) afirma:

Na ocorrência comprovada de concentrações naturais de substâncias químicas que podem causar risco à saúde humana, os órgãos competentes deverão desenvolver ações específicas para a proteção da população exposta.

O CONAMA nº 420, dispõe sobre critérios e valores orientadores de qualidade do solo quanto a presença de substâncias químicas, também estabelece diretrizes para o gerenciamento ambiental de áreas contaminadas por essas substâncias em decorrência de

atividades antrópicas, regulando concentrações de metais em solo e águas, especificando também valores seguros para áreas agrícolas, residenciais ou industriais.

Figura 4 - Tabela de valores orientadores de qualidade no solo

Substâncias	CAS nº	Solo (mg.kg-1 de peso seco) (1)				Água Subterrânea (µg.L-1)
		Referência de qualidade de Prevenção	Investigação			Investigação
			Agrícola APMax	Residencial	Industrial	
Inorgânicos						
Alumínio	7429-90-5	E -	-	-	-	3.500**
Antimônio	7440-36-0	E 2	5	10	25	5*
Arsênio	7440-38-2	E 15	35	55	150	10*
Bário	7440-39-3	E 150	300	500	750	700*
Boro	7440-42-8	E -	-	-	-	500
Cádmio	7440-48-4	E 1,3	3	8	20	5*
Chumbo	7440-43-9	E 72	180	300	900	10*
Cobalto	7439-92-1	E 25	35	65	90	70
Cobre	7440-50-8	E 60	200	400	600	2.000*
Cromo	7440-47-3	E 75	150	300	400	50*
Ferro	7439-89-6	E -	-	-	-	2.450**
Manganês	7439-96-5	E -	-	-	-	400**
Mercurio	7439-97-6	E 0,5	12	36	70	1*
Molibdênio	7439-98-7	E 30	50	100	120	70
Níquel	7440-02-0	E 30	70	100	130	20
Nitrato (como N)	797-55-08	E -	-	-	-	10.000*
Prata	7440-22-4	E 2	25	50	100	50
Selênio	7782-49-2	E 5	-	-	-	10*
Vanádio	7440-62-2	E -	-	-	1000	-
Zinco	7440-66-6	E 300	450	1.000	2.000	1.050**

Fonte: CONAMA (2009)

Vale lembrar que, apesar das legislações existirem para preservação do meio ambiente, muitas empresas não as respeitam, sendo comum que haja crimes ambientais passíveis de multas que grande parte das vezes não são pagas, sendo assim, é necessário que haja não só legislação, mas também fiscalização.

3.8 Química Verde

Nos últimos anos, frente a preocupação com as questões ambientais, surgiu o pensamento de desenvolvimento autossustentável (DA), definido como progresso industrial visando atender as necessidades sem comprometimento dos recursos para as futuras gerações (LENARDÃO, et al., 2003). Uma das principais ações tomadas em relação a isso foi o surgimento da tendência de que os resíduos químicos deveriam ser evitados de serem produzidos ou, caso não seja possível, minimizados, este pensamento foi denominado química verde, definido pela primeira vez em 1991 por John Warner e Paul Anastas.

A química verde pode ser definida como o desenvolvimento e implementação produtos químicos e processos que reduzem ou eliminam a geração de novas substâncias nocivas a saúde, procurando também alternativas menos poluentes, focando também no desenvolvimento de tecnologias limpas.

Por conta da necessidade de alguns autores de definir os principais tópicos para a química verde, à medida que o termo ganhou popularidade, foram determinados os 12 princípios da química verde, visando estabelecer os padrões para que um procedimento em uma indústria seja considerado de acordo com a química verde.

- **Prevenção:** Refere-se a evitar a produção de resíduos tóxicos e ou podem causar danos ao meio ambiente, partindo do conceito de que seria mais complicado tratar o resíduo após gerado.
- **Economia de Átomos:** Visa o máximo aproveitamento possível dos reagentes na formação dos produtos, incentivando o desenvolvimento de procedimentos sintéticos que cumpram esse objetivo.
- **Síntese de Produtos Menos Perigosos:** Evitar a síntese de substâncias que apresentem risco a saúde e ou meio ambiente, assim como a utilização de reagentes que possuam tal risco.
- **Desenho de Produtos Seguros:** Os produtos químicos devem ser elaborados e pensados de forma a cumprir sua função, porém sem serem tóxicos ou nocivos.

- **Solventes Auxiliares mais Seguros:** Deve-se evitar o uso de solventes e substâncias auxiliares, e, caso sejam indispensáveis, devem ser inofensivas.
- **Busca pela Eficiência de Energia:** Os processos químicos devem ser feitos em condições ambiente de temperatura e pressão, e quando impossibilitadas, os impactos ambientais e econômicos devem ser avaliados e minimizados.
- **Uso de Fontes Renováveis de Matéria-Prima:** Priorizar o uso de matérias primas renováveis em detrimento de energias não renováveis quando economicamente e levando em conta a técnica, possíveis.
- **Evitar a Formação de Derivados:** Minimizar, ou mesmo abolir, a geração desnecessária de derivados, visto que esses podem gerar resíduos.
- **Catálise:** Optar por catalisadores selecionados em substituição aos reagentes estequiométricos.
- **Desenho para a Degradação:** Elaboração de métodos onde os produtos químicos se degradem em produtos inofensivos ao meio ambiente.
- **Análise em Tempo Real para a Prevenção da Poluição:** Visando o desenvolvimento de meios analíticos de monitoramento de processos químicos em tempo real, fiscalizando a formação de substâncias tóxicas.
- **Química Intrinsecamente Segura para a Prevenção de Acidentes:** As substâncias químicas utilizadas devem ser escolhidas com intuito de minimização de acidentes, evitando, na medida do possível, reagentes inflamáveis, com risco de explosões, entre outros.

Nos últimos anos setores da indústria visam aplicar o conceito da química verde em suas atividades, por exemplo no setor petroquímico, onde são buscadas alternativas aos plásticos, optando por aqueles biodegradáveis e pelo uso de energias renováveis (MOHANTY, 2002). No setor farmacêutico são buscados alternativas aos intermediários de síntese, buscando catalisadores e matérias primas renováveis e na área de civil, é discutido sobre construção e sustentabilidade, utilizando de materiais que causem dano minimizado ao meio ambiente, além de reduzir a quantidade de resíduos (GOMES et al., 2018).

3.9 ICP-OES

A Espectrometria de Emissão Atômica por Plasma Acoplado Indutivamente é uma técnica de análise que se baseia na medida da radiação eletromagnética (regiões do UV-visível) emitida por átomos e íons excitados quando retornam ao estado fundamental.

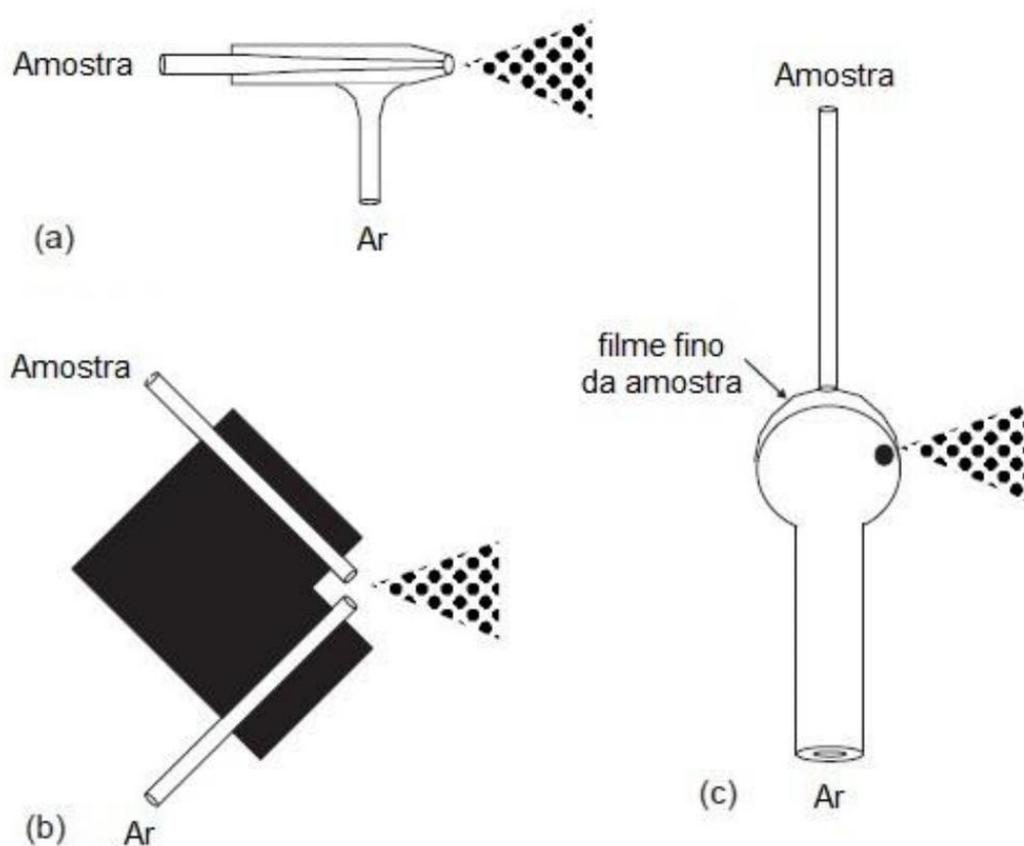
O plasma de argônio (que pode chegar a temperaturas acima de 600 K) possui a função de realizar a excitação dos átomos, sendo capaz de identificar uma grande quantidade de metais devido sua capacidade de excitação e pela capacidade de detecção da radiação por comprimentos de onda característicos dos elementos analisados, tornando possível sua quantificação.

A inserção da amostra no sistema pode ser feita nos estados líquido, sólido e gasoso. Para o sólido, a amostra é inserida diretamente, através de um recipiente de grafite e introduzida na tocha por meio de uma haste, a introdução de uma amostra sólida também pode ser feita por meio de um ultrassom onde se dá a mistura entre argônio e a amostra para então inserção no plasma como um aerossol. A inserção de uma amostra gasosa se dá por formação de hidretos, através de redução dos elementos gerando hidretos voláteis que são adicionados ao plasma incorporados a gás argônio. Para o estado líquido, a amostra passa por um nebulizador pneumático, convertendo a amostra num fino aerossol úmido, que é posteriormente levado a uma câmara de nebulização onde as gotículas maiores são descartadas e as menores sofrem dessolvatação, formando um aerossol seco que é volatilizado de modo a converter os elementos de interesse em átomos livres que serão excitados.

A introdução da amostra no ICP pode afetar a precisão e exatidão dos resultados, e a câmara de nebulização influencia na distribuição e tamanho das partículas

(CERVEIRA, 2012). Geralmente, nebulizadores pneumáticos mais utilizados são os concêntricos, de fluxo cruzado, e Babington.

Figura 5 - Representação dos três tipos de nebulizadores mais empregados: (a) nebulizador concêntrico; (b) nebulizador de fluxo cruzado; e nebulizador Babington



Fonte: Hou; Jones (2000)

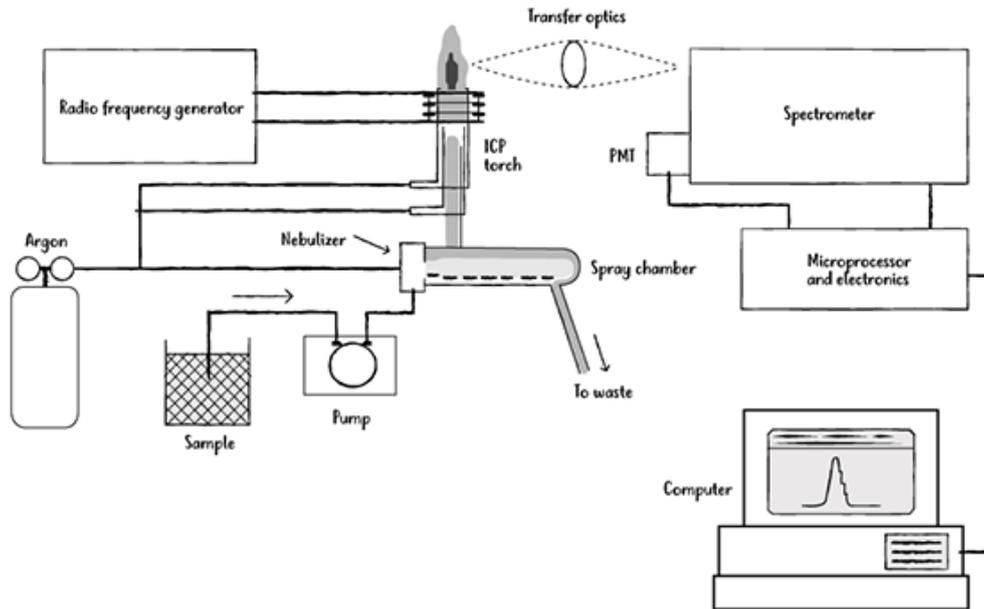
Para funcionamento o ICP-OES depende de alguns componentes essenciais:

- **Plasma de alta energia:** Geralmente possui argônio na maior parte de sua composição, é utilizado para excitação e ionização dos elementos de interesse.
- **Nebulizador:** Transforma a solução analisada em aerossol, selecionando as menores gotículas antes de serem inseridas no plasma.
- **Mecanismo separador de comprimento de onda:** Embora cada elemento absorva e emita luz em determinado comprimento de onda, alguns sinais podem se sobrepor, o que leva a equívocos na interpretação dos resultados, para contornar esse problema os comprimentos de onda de cada elemento são separados por um

aparelho de gradeamento óptico, tornando possível a identificação de cada elemento individualmente.

- **Detector e processador de sinal:** Detector utilizado para determinação final da concentração da amostra, deve ser calibrado com concentrações exatamente conhecidas dos elementos de interesse.

Figura 6 - Esquema de funcionamento de um ICP-OES



Fonte: Levine (2021).

4 MATERIAIS E MÉTODOS

O procedimento experimental foi realizado no Laboratório de Ensaio Químicos (LEQ) localizado no Núcleo de Tecnologia e Qualidade Industrial do Ceará (NUTEC).

A metodologia utilizada tem como base a Resolução nº 420 do CONAMA de 28 de dezembro de 2009. Visto que essa contém parâmetros orientadores para qualidade de solos, além de diretrizes para o tratamento e gerenciamento de áreas que apresentem contaminação. Neste trabalho foram realizadas análises em 4 amostras de solo de locais diferentes locais do estado do Ceará, passadas por tratamento prévio em biodigestor micro-ondas e analisados posteriormente de forma quantitativa através da técnica de ICP-OES (Espectroscopia De Emissão Óptica Por Plasma Indutivamente Acoplado).

4.1 Preparo de Amostras

As amostras foram entregues ao NUTEC em sacos lacrados, todas retiradas de locais diferentes, sendo quatro amostras numeradas de 1 a 4. Primeiramente as amostras foram levadas a uma estufa onde foram aquecidas de modo a retirar a umidade dessas, e, logo após, foram levadas à um dessecador para serem resfriadas. As amostras foram previamente tratadas em biodigestor micro-ondas e analisados posteriormente de forma quantitativa através da técnica de ICP-OES. Considerando a umidade e o tamanho dos grãos apresentados nas amostras, se fez necessário um preparo prévio, para posterior análise.

A amostra previamente resfriada é posta sobre um papel de modo a realizar o quarteamo (Figura 7a), logo é feita a divisão em quatro partes (figura 7b), e posteriormente são descartadas duas porções aleatórias (figura 7c), esse processo foi repetido de 2-3 vezes para cada amostra.

Figura 7 - Quarteamento da amostra.

(Figura 7a)



(Figura 7b)



(Figura 7c)



Fonte: Elaborada pelo Autor (2022).

Após o quarteamento da amostra, as porções restantes foram unidas, maceradas e então peneiradas com auxílio de uma peneira 100 MESH, de modo a reduzir o tamanho dos grãos, após esse processo, a amostra é armazenada em um recipiente.

4.2 Digestão da amostra

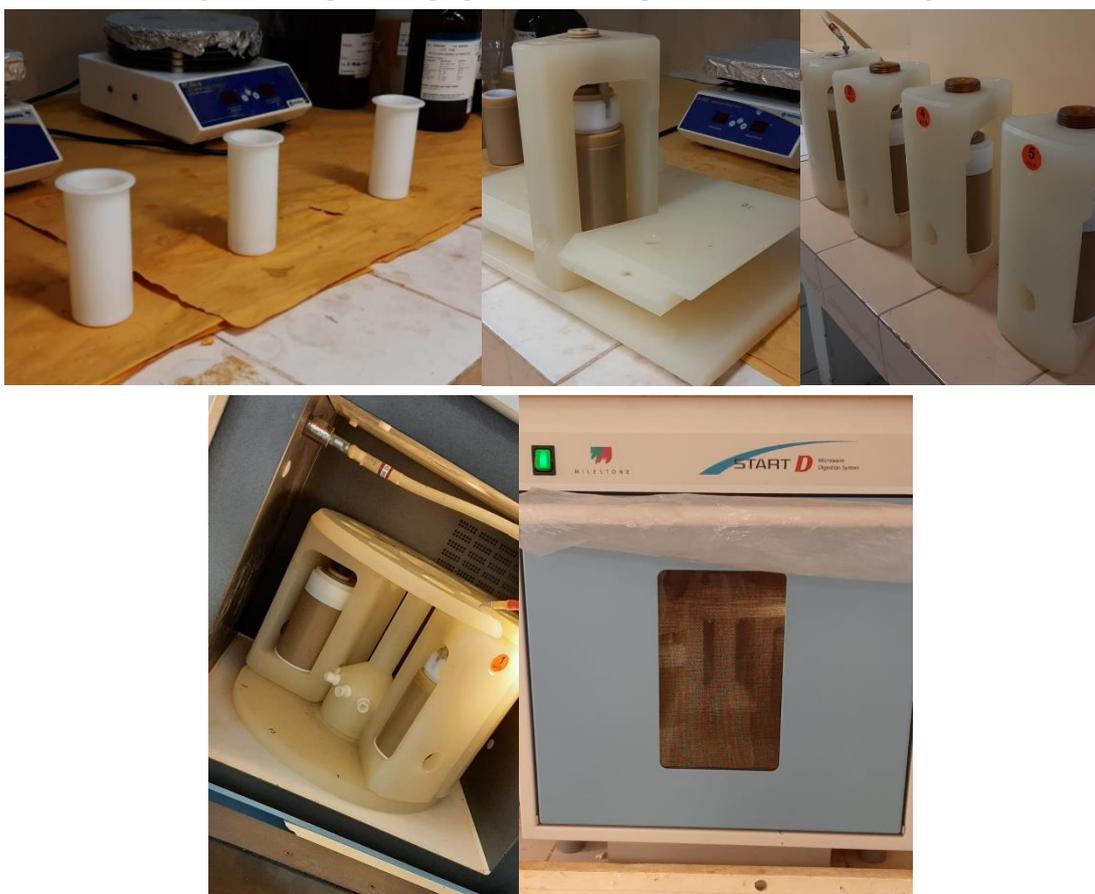
Para a digestão das amostras, utilizou-se de um método que utiliza de digestão ácida da amostra em ambiente fechado, fazendo uso de micro-ondas e controle de temperatura, baseado no método 3051 da US EPA.

São pesados 0,5 gramas de amostra no recipiente próprio para encaixe no suporte do biodigestor, e posteriormente, adicionados 10 mL de ácido nítrico 65% como proposto

pela USEPA 3051, após esse processo, a amostra é agitada de modo a causar homogeneização, e o recipiente é devidamente lacrado e inserido no Biodigestor Milestone Ethos.

Após o processo de digestão, a amostra é filtrada, visando separar a solução a ser analisada de resquícios de silicatos que podem restar no recipiente e completa para 100 mL.

Figura 8 – Esquema de preparo da amostra para ser colocada no biodigestor.



Fonte: Elaborada pelo Autor (2022).

Tabela 2 – Parâmetros para o biodigestor estabelecidos pela USEPA 3051

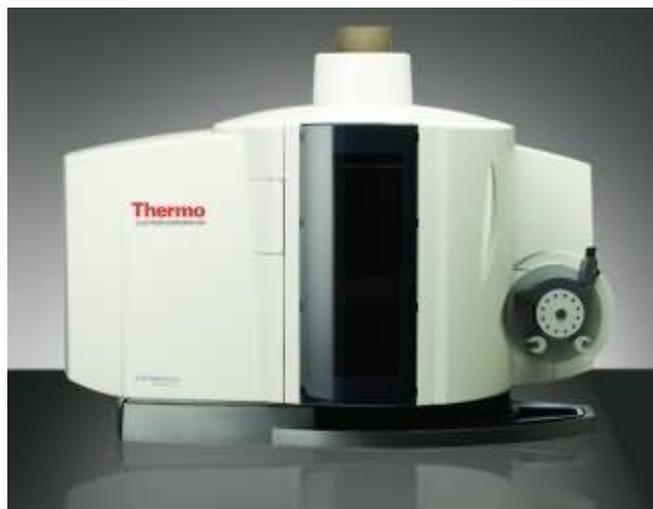
Tempo	Temperatura 1 (°C)	Temperatura 2 (°C)	Pressão (bar)	Potência (W)
00: 15: 00	175	100	45	1500

Fonte: adaptado de Neto (2021)

4.3 Determinação dos analitos por ICP-OES

Espectrometria de Emissão Atômica por Plasma Acoplado Indutivamente foi utilizada a partir de um Thermo Scientific - iCAP 6300 - ICP-OES CID Spectrometer. A calibração do aparelho foi feita por operadores autorizados do ICP-OES do NUTEC.

Figura 9 - Modelo do ICP utilizado



Fonte: Evisa, Instrument database

Tabela 3 – Especificações de configuração do ICP

nebulizador	Concêntrico
Visão	Axial
RF Power	1150 W
Vazão do gás auxiliar	0,5 L/min
Vazão do nebulizador	0,45 L/min
Vazão do Gás Cooler	12 L/min

Fonte: Elaborado pelo autor (2022)

Tabela 4 – Linhas utilizadas para medida do sinal de cada elemento

Elemento	Linha utilizada para medida do sinal (nm)
Alumínio (Al)	167,0
Bário (Ba)	233,5
Cádmio (Cd)	214,4

Chumbo (Pb)	220,3
Cobalto (Co)	228,6
Cobre (Cu)	327,3
Cromo (Cr)	283,5
Ferro (Fe)	259,9
Molibdênio (Mo)	204,5
Zinco (Zn)	213,8

Fonte: Elaborado pelo autor (2022)

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A seguir se encontram os resultados para as 4 amostras analisadas, de modo a preservar a confiabilidade dos dados expostos, não será revelada a localidade das amostras nem da empresa que contactou o NUTEC para realização da análise.

5.1 Determinação da concentração dos analitos na amostra de solo (A) e (B).

Os resultados obtidos por ICP-OES dos teores (ppm, m/m) dos analitos na amostra A e B, preparados conforme descrito na secção 4, são apresentados na tabela 4.

A partir dos dados obtidos, nota-se que nenhum dos teores de metais estudados ultrapassa valores propostos pelo CONAMA n° 420, porém, os valores para alumínio e ferro são exorbitantes, indicando uma possível ação antrópica, deve-se também levar em conta que, embora não haja parâmetros estabelecidos pelo CONAMA para ferro e alumínio, concentrações tão altas desses metais ainda podem apresentar riscos para fauna e flora local, principalmente em regiões onde há atividade agrícola.

Para a amostra B, todos os metais se encontram dentro dos parâmetros estabelecidos pelo CONAMA n° 420, porém, assim como a amostra A, se encontram concentrações exorbitantes de ferro e alumínio, que podem apresentar preocupações para agricultores locais.

Tabela 5 – Resultados obtidos por ICP-OES para as amostras A e B.

Ensaio	Resultados (mg.kg ⁻¹) Amostra (A)	Resultados (mg.kg ⁻¹) Amostra (B)	Parâmetros Resolução CONAMA n° 420 (mg.kg ⁻¹)			
			Prevenção	Investigação		
				Agrícola APMax	Residencial	Industrial
Alumínio (Al)	4.082,30	4.195,03	-	-	-	-
Bário (Ba)	101,65	118,49	150	300	500	750
Cádmio (Cd)	0,35	0,71	1,3	3	8	20
Chumbo (Pb)	5,33	4,94	72	180	300	400
Cobalto (Co)	8,47	13,15	25	35	65	90

Cobre (Cu)	22,64	18,84	60	200	400	600
Cromo (Cr)	46,76	72,47	75	150	300	400
Ferro (Fe)	12.767,48	20.526,58	-	-	-	-
Molibdênio (Mo)	0,57	0,40	30	50	100	120
Zinco (Zn)	32,74	52,94	300	450	1000	2000

Fonte: elaborada pelo autor (2022).

5.2 Determinação da concentração dos analitos na amostra de solo (C) e (D):

As amostras foram preparadas conforme descrito (secção 4) e então levadas para ICP-OES, a tabela com os resultados para os metais analisados está disposta a seguir (tabela 5).

Tabela 6 – Resultados obtidos por ICP-OES para as amostras C e D.

Ensaio	Resultados (mg.kg ⁻¹) Amostra (C)	Resultados (mg.kg ⁻¹) Amostra (D)	Parâmetros Resolução CONAMA nº 420 (mg.kg ⁻¹)			
			Prevenção	Investigação		
				Agrícola APM _{Max}	Residencial	Industrial
Alumínio (Al)	4.348,08	4.321,51	-	-	-	-
Bário (Ba)	108,35	365,02	150	300	500	750
Cádmio (Cd)	1,08	1,18	1,3	3	8	20
Chumbo (Pb)	2,81	4,11	72	180	300	400
Cobalto (Co)	14,97	21,22	25	35	65	90
Cobre (Cu)	31,42	38,53	60	200	400	600
Cromo (Cr)	111,24	134,30	75	150	300	400
Ferro (Fe)	27.903,12	29.438,93	-	-	-	-

Molibdênio (Mo)	0,52	0,68	30	50	100	120
Zinco (Zn)	55,62	86,57	300	450	1000	2000

Fonte: elaborada pelo autor (2022).

Para a amostra C, a concentração de cromo (Cr) se encontrou acima do padrão estabelecido pelo CONAMA nº 420, indicando prevenção, se fazendo necessário que órgãos públicos competentes devem fazer avaliação de possível contaminação, a fim de orientar ações para controle de qualidade do solo.

Para a amostra D, a concentração de cromo (Cr) foi acima do valor proposto para prevenção pelo CONAMA nº 420, assim como a amostra C, o que é preocupante devido a toxicidade do cromo hexavalente considerado um carcinogênico. A concentração do Bário (Ba) se encontra acima do valor estabelecido como seguro para agricultura, se fazendo necessárias investigações sob a suspeita de contaminação antrópica.

6 CONCLUSÃO

O procedimento apresentado mostrou-se útil e eficaz na preparação da amostra e sua análise. Para as amostras A e B os metais analisados se encontraram todos dentro dos padrões permitidos pela legislação, não apresentando desacordo com os parâmetros estabelecidos pelo CONAMA nº 420.

As amostras C e D apresentaram valores para cromo acima do proposto pelo CONAMA, se fazendo necessária avaliação de possível poluição de origem antrópica, deve-se levar em consideração também os riscos que a poluição gerada pelo cromo pode apresentar, devido ao carcinogênico cromo hexavalente. A amostra D também apresentou valores discordantes para o Bário, indicando que o solo não seria adequado para agricultura, porém, a concentração encontrada não é fator determinante para concluir uma contaminação de origem antrópica, visto que teores de bário próximos aos obtidos são comuns em solos naturais de regiões arenosas de clima semiárido (BIONDI et al., 2011), isto é, regiões semelhantes à da coleta da amostra.

Para todas as amostras foram encontradas concentrações exorbitantes para alumínio e ferro, que mesmo não apresentando parâmetros de avaliação estabelecidos pelo CONAMA nº 420 podem apresentar riscos para fauna e flora local.

Se fazem necessários estudos para regulação e criação de parâmetros para concentração de ferro e alumínio no solo, visto que podem apresentar risco a saúde humana e afetarem a agricultura, além disso, também se faz vital a criação de parâmetros específicos regionais para cada estado de nosso país, visto a variedade de tipos de solo e clima nas regiões do Brasil as concentrações naturais de alguns metais são variadas, indicando que um valor encontrado acima da regulação nacional não é um fator determinante para saber se um solo foi contaminado por ação antrópica.

REFERÊNCIAS

Agência fiocruz de notícias. Trabalho propõe reintegração de áreas contaminadas por metais pesados. Disponível em: <<https://agencia.fiocruz.br/trabalho-prop%C3%B5e-reintegra%C3%A7%C3%A3o-de-%C3%A1reas-contaminadas-por-metais-pesados>>. Acesso em: 8 de janeiro de 2022.

AMARAL SOBRINHO, N.M.B.; VELLOSO, A.C.X.; OLIVEIRA, C. Mobilidade de metais pesados em solo tratado com resíduo siderúrgico ácido. R. Bras. Ci. Solo, v. 22, p. 345-353, 1998.

Ambientebrasil. Indicadores de Impacto Ambiental no Solo. Disponível em: <https://ambientes.ambientebrasil.com.br/agropecuaria/artigo_agropecuaria/indicadores_de_impacto_ambiental_no_solo.html>. Acesso em: 8 de janeiro de 2022.

BECKER, M. ASCH, F. Iron toxicity – Conditions and management concepts. Journal of Plant Nutrition and Soil Science, v. 168, p. 558-573. 2005.

BRASIL. Lei nº 9.605, de 12 de fevereiro de 1998. Sanções penais e administrativas derivadas de condutas e atividades lesivas ao meio ambiente. **Subchefia de Assuntos Jurídicos**: Seção III, Brasília, DF, 10 fev. 1998.

BRASIL. Lei nº 12.305, de 2 de agosto de 2010. Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos. **Subchefia de Assuntos Jurídicos**: Capítulo III, Seção I, Brasília, DF, 2 ago. 2010.

BIONDI, C. M. NASCIMENTO, C. W. NETA, A. B. F. Teores naturais de bário em solos referência do estado de Pernambuco. Rev Bras. Ci. Solo, v. 35, p. 1819-1826. 2011.

CASTELLS, M. A sociedade em rede – a era da informação: economia, sociedade e cultura; Volume I. São Paulo: Paz e Terra.

CERVEIRA, C. Uso de nitrogênio em nebulizador de alta eficiência para introdução de soluções no plasma indutivamente acoplado. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Bacharelado em química. Porto Alegre, 2012.

CHAVES, E. V. Absorção de metais pesados de solos contaminados do aterro sanitário e polo industrial de Manaus pelas espécies de plantas *Senna multijuda*, *Schizolobium*

amazonicum e *Caesalpinia echinata*. Universidade Federal do Amazonas. Doutorado em Biotecnologia. Manaus, 2008.

COLASSO, C. Toxologia do cromo: o que você precisa saber? Segurança ocupacional, segurança química. Disponível em: <<https://www.chemicalrisk.com.br/toxicologia-do-cromo/>>. Acesso em: 9 de janeiro de 2022.

CONAMA-CONSELHONACIONAL, D. M. A. Resolução nº 420 de 28 de dezembro de 2009.

DUFFUS, J. H. “Heavy metals” – a meaningless term? IUPAC, Pure and Applied Chemistry. V. 74, n. 5, p. 793-807, 2002.

FAPESC. A importância da química para o meio ambiente. 2011. Disponível em: <<https://www.fapesc.sc.gov.br/0206-a-importancia-da-quimica-para-o-meio-ambiente/>>. Acesso em: 6 de janeiro de 2022.

GOMES, C. A; LANCEIRO, R. T. Solos Contaminados, Riscos Invisíveis. Instituto de Ciências Jurídico-Políticas, Faculdade de Direito, Universidade de Lisboa, 27 de novembro de 2019.

GOMES, M. R. ROGERO, M. M. TIRAPÉGUI, J. Considerações sobre cromo, insulina e exercício físico. Revista Brasileira Médica do Esporte, vol. 11, nº 5, p. 262-266. 2005.

GOMES, R. N. LIMA, P. S. KURIYAMA, S. N. FIDALGO NETO, A. A. Desenvolvimento da química verde no cenário industrial brasileiro. Rio de Janeiro. Revista Fitos. Edição especial, p. 80-89. 2018.

GONÇALVES JÚNIOR, A. C; PESSOA, A. C. S. Fitodisponibilidade de Cádmio, Chumbo e Crômio, em soja cultivada em argissolo vermelho eutrófico a partir de adubos comerciais. Scientia Agrária, v.3, n 1-1, p. 19-23, 2002.

HOU, X. JONES, B. T. Inductively Coupled Plasma/Optical Emission Spectrometry. In: Meyers, R. A. Encyclopedia of Analytical Chemistry. Chichester: John Wiley & Sons Ltd, p. 9468-9485. 2000.

Instrument Database: Thermo Scientific - iCAP 6300 - ICP-OES CID Spectrometer. Disponível em: <<http://www.speciation.net/Database/Instruments/Thermo-Scientific/iCAP-6300--ICPOES-CID-Spectrometer-;i2315>>. Acesso em 12 de fevereiro de 2022.

Intertox. Uso seguro de substâncias químicas: O alumínio e seus riscos à saúde humana. Disponível em: <<https://intertox.com.br/uso-seguro-de-substancias-quimicas-o-aluminio-e-seus-riscos-a-saude-humana/>>. Acesso em: 9 de janeiro de 2022.

LENARDÃO, E. J. FREITAG, R. A. DABDOUB, M. J. BATISTA, A. C. F. SILVEIRA, C. C. Green chemistry – os 12 princípios da química verde e sua inserção nas atividades de ensino e pesquisa. Quim Nova. V. 26, nº1, p 123-129. 2003.

LEVINE, M. ICP-OES – ICP chemistry, ICP-OES Analysis, Strengths and Limitations. Technology Networks, 2021. Disponível em: <<https://www.technologynetworks.com/analysis/articles/icp-oes-icp-chemistry-icp-oes-analysis-strengths-and-limitations-342265>>. Acesso em: 22 de janeiro de 2022.

MOHANTY, A. DRZAL, L. MISRA, M. Sustainable bio-composites from renewable resources: opportunities and challenges in the green materials world. Journal of Polymers and the Environment. V. 10. P. 19-26. 2002.

NETO, E, L, F. Análise química de solos: estudo de casos. Universidade Federal do Ceará. Centro de Ciências. Monografia de Graduação. 2021

PAGANINI, W. S. SOUZA, A. BOCCHIGLIERI, M. M. Avaliação do comportamento de metais pesados no tratamento de esgotos por disposição no solo. Eng. Snit. Ambient. V. 9. Nº 3, p. 225-239. 2004.

RAINBOW, P. S. Trace metal concentrations in aquatic invertebrates: why and so what? Environ. Pollution. v. 120, p 497-507, 2002.

SOUZA, A. K. R. MORASSUTI, C. Y. DEUS, W. B. Poluição do ambiente por metais pesados e utilização de vegetais como bioindicadores. Biomedica Brasiliensia. v. 9, nº 3. 2018.

SOUZA, P. S. A. Caracterização físico-química e avaliação dos níveis de elementos-traço em sedimentos de manguezais das baías da Ilha Grande e de Sebatiba, RJ, por metodologias de digestão ácidas assistidas por micro-ondas. Universidade do Estado do Rio de Janeiro. Centro de Tecnologia e Ciências. Dissertação de mestrado em Química. Área de concentração: Química ambiental. 2011.

STEIN, R. J. Excesso de ferro em arroz (*Oryza sativa* L.): efeitos tóxicos e mecanismos de tolerância em distintos genótipos. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Centro de Biotecnologia. Porto Alegre. 2009.

US EPA. Microwave Assisted Acid Digestion of Sediments, Sludges, and Oils. Method 3051A. fevereiro. 2007.

XU, X.; ZHAO, Y.; ZHAO, X.; WANG, Y; DENG, W. Sources of heavy metal pollution in agricultural soils of a rapidly industrializing área in the Yangtze Delta of China. *Ecotoxicology and environmental safety*, v. 108, p 161-167, 2014.

ZABOTTO, A. R. Estudos sobre impactos ambientais: uma abordagem contemporânea. Botucatu, SP. FEPAF. 2019.