



UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DE PERNAMBUCO
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AMBIENTAL

JAIR BARROS AGRA FILHO

QUIMIOMETRIA APLICADA AO MONITORAMENTO DE METAIS PESADOS E
COMPOSTOS ORGÂNICOS COMO INDICADORES DA QUALIDADE
AMBIENTAL NOS SEDIMENTOS DO RIO IPOJUCA - POLO TÊXTIL DO
AGRESTE DE PERNAMBUCO

RECIFE-PE
AGOSTO/2023

JAIR BARROS AGRA FILHO

**QUIMIOMETRIA APLICADA AO MONITORAMENTO DE METAIS PESADOS E
COMPOSTOS ORGÂNICOS COMO INDICADORES DA QUALIDADE
AMBIENTAL NOS SEDIMENTOS DO RIO IPOJUCA - POLO TÊXTIL DO
AGRESTE DE PERNAMBUCO**

Projeto submetido ao Programa de Pós-graduação em
Engenharia Ambiental da Universidade Federal Rural
de Pernambuco, para obtenção do título de Mestre em
Engenharia Ambiental.

Área de Concentração: Tecnologia e Gestão do Meio
Ambiente - Controle e Remediação da poluição.

Orientador: Prof. Dr. Alex Sousa Moraes

.

RECIFE-PE
AGOSTO/2023

JAIR BARROS AGRA FILHO

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
Universidade Federal Rural de Pernambuco
Sistema Integrado de Bibliotecas
Gerada automaticamente, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

A277q

Agra Filho, Jair Barros

QUIMIOMETRIA APLICADA AO MONITORAMENTO DE METAIS PESADOS E COMPOSTOS
ORGÂNICOS COMO INDICADORES DA QUALIDADE AMBIENTAL NOS SEDIMENTOS DO RIO IPOJUCA -
POLO TÊXTIL DO AGRESTE DE PERNAMBUCO / Jair Barros Agra Filho. - 2023.

75 f. : il.

Orientador: Dr. Alex Sousa .

Coorientador: Romildo Morant de Holanda.

Inclui referências.

Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal Rural de Pernambuco, Programa de Pós-Graduação em Engenharia
Ambiental, Recife, 2023.

1. Efluentes têxtil. 2. Quimiometria. 3. Metais Pesados. 4. Sedimentos. I. , Dr. Alex Sousa, orient. II. Holanda,
Romildo Morant de, coorient. III. Título

CDD 620.8

**QUIMIOMETRIA APLICADA AO MONITORAMENTO DE METAIS PESADOS E
COMPOSTOS ORGÂNICOS COMO INDICADORES DA QUALIDADE
AMBIENTAL NOS SEDIMENTOS DO RIO IPOJUCA - POLO TÊXTIL DO
AGRESTE DE PERNAMBUCO**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental, da Universidade Federal Rural de Pernambuco, como requisito para a obtenção do título de Mestre em Engenharia Ambiental.

Aprovado em: ____/____/____

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Alex Souza Moraes (UFRPE)

Orientador

Prof. Dr. Otavio Pereira dos Santos Júnior (IFPE – Campus Vitória)

Avaliador Externo

Prof. Dr. Enjôlras de Albuquerque Medeiros Lima (CPRM)

Avaliador Externo

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, gostaria de agradecer a Deus, por permitir minha chegada até esta etapa, me dando força e coragem para continuar seguindo em frente apesar das adversidades

Aos meus pais, especialmente à minha mãe, por todo incentivo, força e por sempre acreditar no meu sucesso. Ao meu pai, pelo de bom humor com o qual ele leva a vida, ensinando que viver alegre é a melhor forma de viver; pela sua perseverança, esforço e competência, e pelo grande trabalhador que é. Aos meus avós, que recentemente nos deixaram, aos meus tios e primos.

O meu orientador Alex Souza Moraes, que durante o período de pós graduação mostrou-se fundamental para o desenvolvimeto da pesquisa, sempre com bom humor e disposição em promover o conhecimento científico, sempre apoiando e instruindo de forma compreensiva e com muita tranquilidade. Aos demais docentes e funcionários que contribuíram com a jornada trilhada para a conclusão do presente trabalho.

Gostaria de agradecer também, a todos os colegas e amigos que fiz no programa de pós graduação em engenharia ambiental, onde através dos nossos encontros sempre cosiguimos promover uma grande troca de conhecimento além de fortalecer cada vez mais a amizade.

Por fim gostaria de agradecer a Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior-CAPES, pela bolsa de estudos concedida durante a realização deste trabalho.

RESUMO

A indústria têxtil é uma gigante da economia de Pernambuco, sendo o Arranjo Produtivo Legal do Agreste Pernambucano à área de maior influência do setor. Apesar do seu viés econômico e social, esse segmento pode apresentar um potencial poluidor, pois além dos resíduos sólidos, a quantidade de efluente gerado é significativa e não apenas devido ao volume, mostrando uma complexidade química na sua composição como corantes, surfactantes, íons inorgânicos, agentes umectantes e outros compostos orgânicos e inorgânicos, que quando atingem os rios, representam riscos ecológico e de saúde pública. Os sedimentos podem ser considerados como um compartimento geoquímico responsável pelo registro histórico da poluição, resultante das atividades das lavanderias entre outras, sendo este utilizado na pesquisa como um indicador da qualidade ambiental do Ipojuca. A proposta tem objetivo de investigar o potencial de carga poluidora de diversos compostos inorgânicos registrado nos sedimentos do rio Ipojuca dentro da cidade de Caruaru. Assim foi realizado a coleta de sedimentos em 10 pontos ao longo do trecho urbano do rio e avaliado a concentração de 37 elementos. Foram utilizados métodos de análise multivariada, através da quimiometria, dos dados e a fim de avaliar o grau de toxicidade, sendo os resultados comparados aos padrões internacionais e nacionais. Para rastrear a origem da poluição por metais foi utilizado o Fator de Enriquecimento e a análise de amostras de solo local para avaliar sua influência geoquímica na distribuição dos metais no sedimento, afim determinar a origem natural ou exógena. Com relação a concentração e toxicidade o As, Cr, Cu, Ni, Pb e Zn se destacaram apresentando concentrações significativas. Cr, Cu, Ni, Pb e Zn excederam os valores mínimos ou máximos em pelos menos um ponto de coleta. O fator de enriquecimento, as análises de solo e multivariada, mostraram que há contribuição antrópica na disposição dos metais no sedimento, sendo constatado que há pontos de contaminação no Ipojuca, em especial por cobre.

Palavras chave: Efluentes têxtil. Quimiometria. Metais Pesados. Sedimentos.

ABSTRACT

The textile industry is a giant of the economy of Pernambuco, and the Legal Productive Arrangement of the Agreste of Pernambuco is the area of greatest influence of the sector. Despite its economic and social bias, this segment can present a polluting potential, because in addition to solid waste, the amount of effluent generated is significant and not only due to the volume, showing a chemical complexity in its composition such as dyes, surfactants, inorganic ions, wetting agents and other organic and inorganic compounds, which when they reach the rivers, pose ecological and public health risks. The sediments can be considered as a geochemical compartment responsible for the historical record of pollution, resulting from the activities of the laundries, among others, and this is used in the research as an indicator of the environmental quality of Ipojuca. The proposal aims to investigate the potential pollutant load of several inorganic compounds recorded in the sediments of the Ipojuca River within the city of Caruaru. Thus, sediments were collected at 10 points along the urban stretch of the river and the concentration of 37 elements was evaluated. Multivariate analysis methods were used, through chemometrics, data and in order to evaluate the degree of toxicity, and the results were compared to international and national standards. To trace the origin of metal pollution, the Enrichment Factor and the analysis of local soil samples were used to evaluate its geochemical influence on the distribution of metals in the sediment, in order to determine the natural or exogenous origin. Regarding concentration and toxicity, As, Cr, Cu, Ni, Pb and Zn stood out, presenting significant concentrations. Cr, Cu, Ni, Pb and Zn exceeded the minimum or maximum values at at least one collection point. The enrichment factor, soil and multivariate analyses showed that there is an anthropogenic contribution in the disposition of metals in the sediment, and it was found that there are points of contamination in Ipojuca, especially by copper.

Keywords: Textile effluents. Chemometrics. Heavy Metals. Sediments.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1-Polo têxtil do agreste de Pernambuco com destaque aos maiores centros.	17
Figura 2- Composição da Quimiometria.	36
Figura 3- Localização geográfica do município de Caruaru.	41
Figura 4- Bacia hidrográfica do Rio Ipojuca.	42
Figura 5- Zonas homogêneas e estações de amostragem da rede de monitoramento da Bacia do Rio Ipojuca.	43
Figura 6- Pontos de coleta de sedimentos.	44
Figura 7- Zoneamento de atividades com potencial poluidor no perímetro urbano.....	45
Figura 8- Coleta e identificação das amostras.	46
Figura 9- Preparo das amostras de sedimentos.....	47
Figura 10- Coleta e preparo do solo.	48
Figura 11- Concentração de As e Cr no trecho urbano do rio Ipojuca.	51
Figura 12- Concentração de Cu e Ni no trecho urbano do rio Ipojuca.....	52
Figura 13- Concentração de Pb e Zn no trecho urbano do rio Ipojuca.....	53
Figura 14- Fator de Enriquecimento dos elementos As, Cr.	57
Figura 15- Fator de Enriquecimento dos elementos Cu e Ni.	59
Figura 16- Fator de Enriquecimento dos elementos.....	60
Figura 17- Dendrograma para as amostras de solos e sedimentos.	61
Figura 18- Diagrama de influência dos solos na composição dos sedimentos baseado na AAH.	62
Figura 19- Dendrograma das variáveis analisadas	63

LISTA DE TABELAS

Tabela 1- Valores orientadores para solos de Pernambuco.....	30
Tabela 2- Categorias para enquadramento de FE.....	35
Tabela 3- Padrões de qualidade para sedimentos.	49
Tabela 4- Concentração média, valor máximo e desvio padrão para os metais presentes nas amostras de sedimentos do trecho urbano do rio Ipojuca em Caruaru-PE.....	54
Tabela 5- Concentração média, máxima, desvio padrão, VRQ e VP para solos e sedimentos.	55

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
Ag	Prata
Al	Alumínio
APAC	Agência Pernambucana de Águas e Clima
APL	Arranjo Produtivo Legal
As	Arsênio
ATSDR	Agency for Toxic Substances and Disease Registry
B	Boro
Ba	Bário
Be	Berílio
Bi	Bismuto
Ca	Cálcio
Cd	Cádmio
CETESB	Companhia Ambiental do Estado de São Paulo
CO	Monóxido de Carbono
Co	Cobalto
CONAMA	Conselho Nacional do Meio Ambiente
CONSEMA	Conselho Estadual do Meio Ambiente
CPRH	Companhia Pernambucana do Meio Ambiente
Cr	Cromo
Cu	Cobre
DBO	Demanda Bioquímica de Oxigênio
DQO	Demanda Química de Oxigênio
ERL	Effect Range Low
ERM	Effect Range Medium
FE	Fator de Enriquecimento
Fe	Ferro
HCA	Hierarchical Cluster Analysis
K	Potássio
La	Lantânio
LAMTESA	Laboratório de Medicamentos, Tecnologias, Energias e Soluções Ambientais
LI	Licença de instalação
Li	Lítio
LO	Licença de Operação
LP	licença de Instalação
Mg	Magnésio
Mn	Manganês
Mo	Molibdênio
Na	Sódio
NaOH	Hidróxido de Sódio

Ni	Níquel
P	Fósforo
Pb	Chumbo
PCA	Principal Component Analysis
PIB	Produto Interno Bruto
Sb	Antimônio
Sc	Escândio
Se	Selênio
Sn	Estanho
Sr	Estrôncio
Th	Tório
Ti	Titânio
Tl	Tálio
U	Urânio
USEPA	United States Environmental Protection Agency
V	Vanádio
VP	Valor de Prevenção
VRQ	Valor de Referência de Qualidade
W	Tungstênio
Y	Ítrio
Zn	Zinco
Zr	Zircônio

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	13
2	OBJETIVOS	15
2.1	Geral.....	15
2.2	Específico.....	15
3	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	16
3.1	Efluentes têxteis	16
3.1.1	Caracterização química	18
3.2	Corantes têxteis	19
3.3	Metais pesados	22
3.3.1	Arsênio	24
3.3.2	Cádmio	24
3.3.3	Chumbo	25
3.3.4	Cobre	26
3.3.5	Cromo.....	27
3.3.6	Níquel.....	28
3.4	Disposição natural de metais pesados no solo	29
3.5	Poluição urbana hídrica.....	31
3.6	Sedimentos	32
3.7	Fator de Enriquecimento (FE).....	34
3.8	Quimiometria	35
3.9	Arcabouço legal	38
4	MATERIAL E MÉTODOS	40
4.1	Caracterização da área de estudo	40
4.1.1	Rio Ipojuca	41
4.2	Coleta das Amostras de sedimentos	44
4.2.1	Preparo e análise das amostras de sedimentos	46
4.3	Coleta, preparo e análise de amostras de solo.....	47
4.3.1	FE na avaliação quanto a origem dos metais	48
4.4	Interpretação dos resultados.....	49
5	RESULTADOS E DISCUSSÃO	50
5.1	Teor de metais encontrados nos sedimentos superficiais.....	50
5.2	Qualidade do solo em termos de poluição e contaminação de metais pesados	55
5.3	Fator de enriquecimento aplicado aos metais nos sedimentos.....	56

5.4	Análise integrada dos dados.....	60
6	CONCLUSÃO	64
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	65

1 INTRODUÇÃO

O setor têxtil de Pernambuco detém grande poder econômico. Apesar de estar presente em todo o território, é na região Agreste do estado, com destaque para os municípios de Caruaru, Santa Cruz do Capibaribe e Toritama, onde concentram-se pouco mais de 18 mil empresas do setor, capazes de produzir até 800 milhões de peças por ano. Ademais, com base nos dados dos últimos anos a confecção e o beneficiamento do jeans no Brasil teve um aumento considerável, movimentando entre R\$ 5,6 a R\$ 8 bilhões por ano, gerando ainda apenas no estado de Pernambuco cerca de 350 mil empregos relacionados as atividades têxteis e de confecções (AGRESETETEX, 2021; 2022; QUEIROGA, 2022).

O Governo do Estado compreende que o setor é de suma importância para economia de Pernambuco e entre as ações que podem ser desenvolvidas, é a elaboração de estratégias que potencializem uma trajetória de crescimento sustentável, diferenciada, com responsabilidade social e ambiental, pois apesar da relevância do setor na geração de emprego e renda, há a contraparte do potencial poluidor podendo causar danos irreparáveis ao ambiente na ausência de boa gestão.

Dentro deste segmento industrial, as lavanderias do jeans somam um potencial expressivo de degradação do meio ambiente, decorrente da complexidade química apresentada pelo seu efluente que além da presença de corantes é notória a existência de substâncias persistentes e recalcitrantes que a depender da concentração representam risco ambiental. Grande parte deste efluente é descartado em corpos hídricos, como no rio Ipojuca, que mesmo após tratamento convencional apresentam determinada carga de substâncias tóxicas que podem bioacumular-se no rio.

Os sedimentos do rio Ipojuca, no trecho do Polo Têxtil do Agreste de Pernambuco, podem ser considerados como o compartimento geoquímico responsável pelo registro histórico de diversos elementos, incluindo aqueles proveniente das lavanderias que uma vez já lançaram efluentes industriais sem tratamento adequado. Sabendo também que os efluentes das lavanderias são bastante heterogêneos, devido aos insumos e substâncias utilizados na produção e no próprio tratamento do efluente, tudo isso remete a uma complexidade na composição química dos sedimentos ativos do rio Ipojuca. A origem dos corantes e insumos aplicados nos processos desenvolvidos nas lavanderias é também uma questão que deve ser considerada, isso decorre da falta de padronização na aquisição de matéria-prima, que é obtida por meio de importação ou compra local.

De tal forma, há necessidade de conhecer o atual status ambiental do rio Ipojuca, visando promover a interação e cooperação entre empresas, universidades, entidades de apoio, organizações governamentais e não governamentais ligadas à Cadeia Têxtil e de Confeções-T&C de Pernambuco, servindo como ferramenta para estudo e aplicação de tecnologias visando a descontaminação e redução da poluição do corpo hídrico. Assim o presente estudo visou analisar a situação ambiental que se encontra o rio Ipojuca, através da avaliação e monitoramento da qualidade dos seus sedimentos, proporcionando dados importantes para aplicação da gestão, pesquisas, descontaminação e uso de novas tecnologias.

2 OBJETIVOS

2.1 Geral

Diagnosticar a vitalidade ambiental do rio Ipojuca no trecho do Polo Têxtil do Agreste de Pernambuco através do monitoramento e diagnóstico ambiental da qualidade dos sedimentos superficiais.

2.2 Específico

- Promover aos órgãos ambientais municipal e estadual, além de empresas interessadas, os níveis de concentração de metais pesados e a toxicidade dos sedimentos.
- Estudar a distribuição superficial do comportamento das espécies químicas inorgânicas que podem causar toxicidade ao ambiente natural através de mapas digitais temáticos.
- Obter modelos geoquímicos e sedimentológicos que expressem as relações entre os diversos elementos analisados que possam estabelecer critérios de comparação nacional e internacional da contaminação por espécies químicas metálicas, orgânicas e inorgânicas no rio Ipojuca.
- Desenvolver competências para os alunos e demais profissionais envolvidos na pesquisa a rotina de interpretação de dados ambientais através de programas de quimiometria (estatística multivariada), geração de mapas digitais e de confecção de gráficos interativos.

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 Efluentes têxteis

Efluentes têxteis são resíduos líquidos, classificados como efluentes industriais, pois resultam dos “despejos líquidos provenientes das áreas de processamento industrial, incluindo os originados nos processos de produção, as águas de lavagem de operação de limpeza e outras fontes, que comprovadamente apresentem poluição por produtos utilizados [...]” (ABNT, 1987). Por se enquadrar na classe supracitada são definidos padrões que estabelecem valores para os parâmetros que este tipo de efluente deve apresentar, seja este descartado no sistema público de coleta ou lançado em algum corpo hídrico. Os Órgãos ambientais de fiscalização federal, estadual e municipal são responsáveis por fixar os parâmetros, como ocorre na Companhia Pernambucana de Controle da Poluição Ambiental e de Administração de Recursos Hídricos- CPRH, que através de normas técnicas regulariza a situação de descarte monitoramento e tratamento.

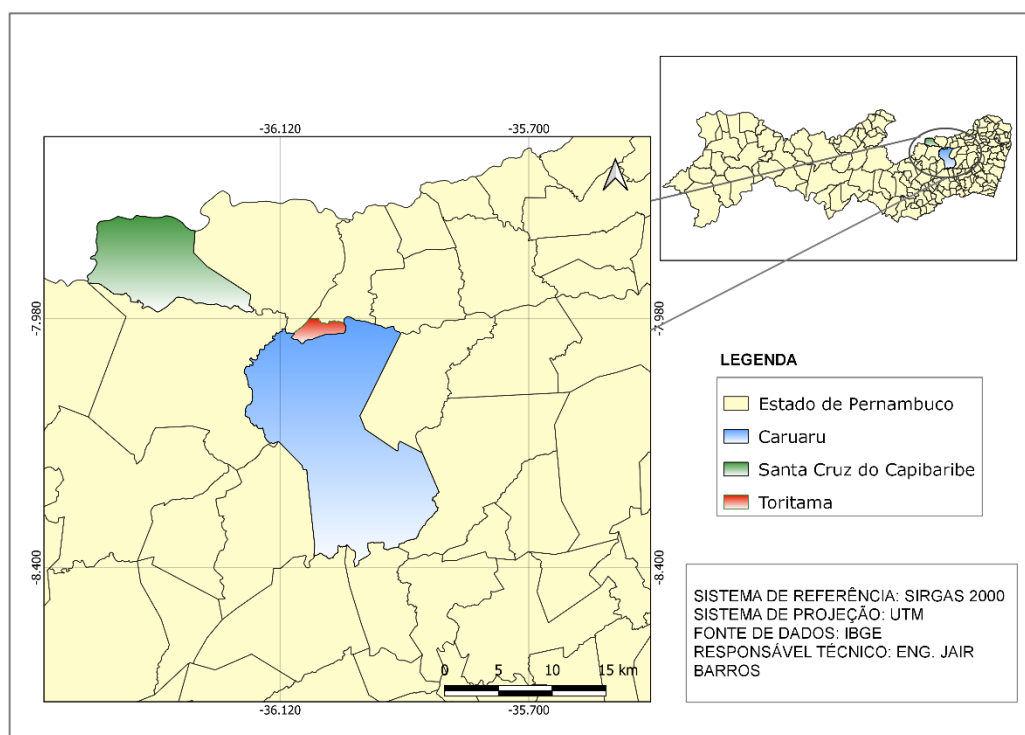
Dada a natureza da sua classe, o polo têxtil merece destaque, consequência da sua importância socioeconômica, seu grande parque industrial instalado e devido à quantidade significativa de efluente que é gerado por este segmento, sendo este, quando não submetidos a um tratamento adequado, capaz de causar sérios problemas de contaminação ambiental. A geração de grandes volumes de efluente é o principal aspecto ambiental do setor e está associado ao elevado consumo de água no processo de produção, mais especificamente na etapa de tingimento e lavagem, gerando diferentes resíduos com compostos tóxicos de enorme diversidade e complexidade química, dentre os quais se destacam os corantes, surfactantes, íons inorgânicos, agentes umectantes e outros compostos orgânicos e inorgânicos, classificados como substâncias recalcitrantes e persistentes (PIZATO *et al.*, 2017; QUEIROZ *et al.*, 2019).

É devido à submissão de processos físicos e químicos com adição do grande volume de água utilizado que este setor industrial pode ser considerado o de segundo maior potencial poluidor para o meio ambiente (ALVES; DE LIMA, 2022), isso pode aumentar a instabilidade quanto a sanidade ambiental principalmente em lugares como o Agreste pernambucano detentor de grande polo. Estima-se que 26 municípios em Pernambuco se dedicam à produção têxtil e de confecções, com mais de 350 milhões de peças fabricadas somente em solo pernambucano, cujo cada peça jeans pode consumir uma base 100 a 1100 litros de água para sua fabricação, a depender do sistema de produção e tecnologia utilizada (GLOBO, 2022; QUEIROGA, 2022).

Na região que está envolto o arranjo produtivo legal do agreste de Pernambuco, como pode ser observado na figura 1, são os efluentes gerados pelas lavanderias em conjunto com os

impactos resultantes da expansão da malha urbana os responsáveis pela maioria dos problemas de poluição hídrica observados na região (DA SILVA, 2015). Frente a necessidade de tratamento imposta pelo órgão ambiental e sua legislação, atualmente o método de tratamento predominantemente utilizado nas lavanderias se resume a processos físicos com adição de químicos para estabilizar o efluente e a quantidade tratada pode variar de acordo com porte e metodologia adotada pela empresa, onde em algumas fábricas do agreste a quantidade de efluente tratado pode variar entre 10 mil litros em 20 minutos a 120 mil litros por hora (ALVES; DE LIMA, 2022).

Figura 1-Polo têxtil do agreste de Pernambuco com destaque aos maiores centros.



Fonte: Autor, 2022.

O alto volume de água utilizada associado a escassez hídrica que a região sofre, devido a fatores geográficos que causam baixo índice pluviométrico, resulta em prejuízos, tanto econômicos quanto ambientais, pois o abastecimento oferecido pelo sistema público não é capaz de suprir a demanda do polo têxtil. Como supracitado o grande volume de resíduos líquidos industriais é resultante do sistema de produção sendo um grande problema ambiental, que através da adesão de práticas inovadoras para o reuso de água, pode torna-se uma solução tanto para a questão da escassez quanto na remediação da poluição. Segundo Alves e Lima (2022, p 04):

[...] devido à complexidade de cadeias produtivas geradas por águas residuais, é importante saber como essas Lavanderias vem agindo com respeito a esse assunto, pois uma das formas de contornar essa problemática de crise hídrica é fazendo o reuso da água tratada, contudo essa precisa estar adequada para ser submetida a novos procedimentos.

Isso enfatiza a necessidade da implantação de sistemas mais completos para o tratamento da água, visando seu reuso dentro do processo produtivo das lavanderias e redução da poluição dos corpos hídricos e cursos d'água. Algumas indústrias do aglomerado produtivo pernambucano já estão utilizando métodos de tratamento que possibilitam o reuso da água na cadeia produtiva, conseguindo reaproveitar cerca de 80% do seu volume, otimizando assim seu incremento econômico e minimizando os danos ambientais. Todavia outra parte possui maquinário com precariedade de manutenção induzindo o sistema a utilizar ciclos mais longos e ineficientes em termos de produção, potencializando o uso da água (SILVA; XAVIER, 2020). É notório que o tratamento do efluente em questão é o método mais eficiente para atenuar os danos a natureza, porém não é o único aplicável, pois esse processo é responsável por gerar outros produtos como o lodo têxtil rico em carga orgânica e outros compostos químicos que também requerem tratamento e descarte adequado.

3.1.1 Caracterização química

Os poluentes do efluente têxtil são basicamente de natureza orgânica, porém como consequência da aplicação de pigmentos e corantes na etapa de tingimento dos tecidos estes também podem apresentar carga poluidora inorgânica. No pré-tratamento, apesar da elevada carga orgânica, a caracterização ocorre de forma mais simples devido ao pequeno número de produtos utilizados. Enquanto no tingimento, a identificação e caracterização dos efluentes é mais complexa devido à diversidade, tanto dos processos de tingimento quanto da química dos corantes. Essas substâncias elevam a Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO) e a Demanda Química de Oxigênio (DQO) dos efluentes, principalmente quando comparados aos sanitários (GILI, 2015).

Dentre estas substâncias encontradas nos efluentes têxteis, os corantes são compostos complexos e contribuem para a elevação da turbidez, aumentando a dificuldade para que haja incidência da radiação solar na coluna d'água e interferindo nos ciclos biogeoquímicos,

afetando os organismos aquáticos, principalmente as algas e os peixes que se alimentam delas, isto ocorre pelo fato desses compostos apresentarem baixa biodegradabilidade (NIEBISCH *et al*, 2014 apud QUEIROZ *et al*, 2019).

Se tratando de poluentes inorgânicos é possível observar a presença de metais pesados na composição do efluente têxtil, sendo um dos principais contaminantes da água e do solo, visto que sua presença está relacionada a aplicação de corantes que possuem composição metálica. Quanto ao processo de tratamento do mesmo, o dito convencional tem baixa eficiência de remoção desses metais principalmente por serem compostos persistentes, podendo se acumular nos sedimentos e no solo, a depender do local de descarte final do efluente (SOUTO, 2017). Este fato remete a necessidade de aplicação de um método de tratamento avançado e eficaz, quanto a remoção de corantes e metais pesados, sendo este fundamental do ponto de vista ambiental para evitar o acúmulo destas substâncias potencialmente tóxicas no meio ambiente.

Devido ao acúmulo nos sedimentos do corpo hídrico receptor, ao longo do tempo há contaminação da fauna local que tem contato direto com a área, além de comprometer a qualidade do lençol freático a depender do teor que possa estar presente no meio. Com tal problema em pauta, diversos estudos utilizando coagulantes naturais, visando a redução das concentrações de metais pesados na água, vêm sendo desenvolvidos. Um grande promissor deste processo é a moringa que demonstrou boa eficiência na remoção dessas substâncias quando submetida como coagulante no processo de tratamento (DOS SANTOS SILVA; JUNIOR; LOBATO, 2020).

3.2 Corantes têxteis

Os corantes e seu uso para tingimento e pigmentação é uma atividade a séculos conhecida e dominada pelo ser humano, resultando em uma variedade e disponibilidade comercial vasta. A princípio eram obtidos de fontes naturais por intermédio de animais e plantas até obtenção dos primeiros corantes sintéticos por volta de 1856, sendo neste ano a primeira vez em que teve produção em larga escala (CARDOSO; PINTO, 2012).

De forma simplificada, os corantes são substâncias químicas obtidas de forma natural ou sintetizada, de origem orgânica e/ou inorgânica, que possuem cor característica e quando aplicados em um determinado material atribui cor, como tecidos, couro e papel. Durante sua aplicação o mesmo se dissolve ou é destruída sua estrutura cristalina sendo mantido no substrato

por intermédio de ligações iônica ou covalentes, adsorção e solvatação (ZANONI; YAMANAKA, 2016).

O setor têxtil é uma das unidades industriais que mais utilizam corantes, tanto em quantidade quanto variedade, sendo estimado cerca de até 2.000 tipos disponíveis para o segmento, alguns não mais produzidos por apresentarem propriedades carcinogênicas quando feito à base de benzidinas como exemplo. O tipo de corante ou pigmento a ser utilizado varia de acordo com alguns fatores, como à natureza da fibra têxtil, das características estruturais da molécula, da disponibilidade do composto para o tingimento, da sua viabilidade econômica e das propriedades para a fixação (DOS SANTOS; GUEDES, 2014).

Os corantes são caracterizados de forma mais apropriada através de sua estrutura química (azo, antraquinona, metalizados e etc.) ou através da forma como é fixado na fibra do tecido, sendo os principais: Corantes reativos; Corantes direto; Corantes azoico; Corantes ácido; Corantes a cuba; Corantes de enxofre; Corantes dispersivos; Corantes pré-metalizados e Corantes branqueadores (CARDOSO; PINTO, 2012; GUARANTINI; YAMANAKA, 2000, 2016).

O corante azo é a classe sintética mais importante disponível no mercado para colorir diversos bens de consumo (desde produtos alimentícios a materiais têxteis), chegando a representar cerca de 65% do que está disposto para comércio. O sucesso desta classe se dar devido a facilidade em sua sintetização, da variedade que pode ser produzida e das vantagens para indústria, podendo esta classe de corante ser produzida para apresentar um brilho intenso e os materiais podem ser tingidos de várias formas, o que o torna viável economicamente. Todavia por consequência de seu potencial tóxico causando efeito carcinogênico e mutagênico, a indústria tende a reduzir o seu uso, sendo vários destes proibidos em alguns países (ZANONI; YAMANAKA, 2016; CÂMARA, 2017).

Os da classe antraquinona, são o segundo grupo mais aplicado no setor têxtil, sendo um tipo de corante natural com um custo benefício inferior quando comparado aos Azo. Grande maioria deste são solúveis em água, possuem brilho e resistência a luz, todavia possui baixa eficiência no tingimento e geram grandes volumes de efluente com cor (ZANONI; YAMANAKA, 2016).

Sendo espécies químicas complexas e não sendo possível associá-los de forma frequente à uma fórmula química, os corantes e pigmentos são de fato uma mistura de diversos compostos. Os corantes metalizados e/ou organometálicos, por exemplo, são outra classe relevante, sendo estes, moléculas de corantes orgânicos complexos ligados a um íon metálico.

A adição de compostos metálicos na sintetização de corantes ocorre pelo fato destas substâncias aumentarem a fixação do mesmo à fibra têxtil e também na atribuição de cor, como no caso do cobre que é adicionado para obtenção da cor azul, além de melhorar algumas propriedades como por exemplo, resistência da cor do tecido quando submetido a lavagem, a exposição luz, além do seu custo benefício (DE OLIVEIRA, 2007; ZANONI; YAMANAKA, 2016; SANTOS, 2019).

Contudo o uso dos organometálicos resulta na geração de efluentes mais tóxicos e resistentes ao tratamento convencional, pois além da toxicidade já presente no corante, tem-se a adição do metal que potencializa esse fator, isso conduz ao aumento na significância dos impactos ambientais tornando o meio receptor do efluente ainda mais suscetível a degradação. Segundo Cardoso (2012) os corantes são facilmente detectados a olho nu, mesmo quando em baixas concentrações no efluente, característica esta que apresenta vantagens na sua identificação em um curso d'água devido sua característica de coloração no meio e desvantagens quanto à sua mitigação, que não tem resultados satisfatórios utilizando métodos convencionais.

Seguindo o método como é fixado na fibra, Dos Santos e Guedes (2014, p.51) classificam os corantes como:

- Corantes reativos: É uma classe de corantes que contém um ou dois grupos funcionais capazes de formarem ligações covalentes com a fibra. O grupo cromóforo, responsável pela cor; é o grupo reativo que é capaz de formar ligação covalente com grupos hidroxilas das fibras celulósicas. O processo de tingimento é realizado em meio alcalino e a reação ocorre com a substituição do grupo nucleofílico pelo grupo hidroxila da celulose.
- Corantes ácidos: São corantes aniônicos, solúveis em água, e contém de um a três grupos sulfônicos. Esta classe de corante é aplicado em tingimento de poliamida e a reação ocorre em banho ácido. No processo de tingimento o corante se liga à fibra através de troca iônica envolvendo o par de elétrons livres do grupo amino.
- Corantes dispersos: Constitui uma classe de corante insolúvel em água fria. E são aplicados em dispersão aquosa, sendo que o tamanho das partículas em dispersão é de 0,5 a 1 μ . Uma dispersão estável de tão

pequenas partículas só é possível mediante a adição de agentes dispersantes, que tem a finalidade de prevenir uma aglomeração do corante durante o tingimento. Este tipo de corante é utilizado no tingimento de poliéster, através de máquinas pressurizadas e que operam em elevadas temperaturas 130°C.

- Corantes diretos: Constituem uma classe de corantes que são solúveis em água e se ligam às fibras através das interações de Van der Waals. São utilizados no tingimento de celulose e a presença de um eletrólito no banho de tingimento aumenta a afinidade do corante pela fibra. Corantes ao enxofre: são corantes insolúveis em água, possuem ligações de enxofre em suas moléculas. São utilizados na tintura de fibras celulósicas, por possuírem um baixo custo e proporcionarem boa solidez em cores intensas. No entanto, está sendo cada vez menos utilizados, devido apresentar resíduos poluentes.
- Corantes à cuba: são corantes insolúveis em água e podem ser convertidos em compostos leuco-solúveis por ação de um meio alcalino (NaOH) e agente redutor, como o hidrossulfito de sódio. Esses corantes tem afinidade com a

Além disso, seguindo a forma como é fixado na fibra ainda pode-se adicionar a classe dos corantes pré-metalizados, sendo estes caracterizados devido à existência de um grupo hidroxila ou carboxila na posição ortho em relação ao cromóforos azo, permitindo assim a formação de complexos com íons metálicos, tornando-os bastante útil no tingimento de fibra proteicas e poliamidas. Todavia apresenta uma desvantagem ecológica consequência da alta carga de metais no seus efluentes (GUARATINE; ZANONI, 2000).

3.3 Metais pesados

A definição para o termo “metais pesados” não é consensual na comunidade acadêmica, todavia são definidos como um grupo de elementos que possuem alta densidade e possui toxidez mesmo em baixas concentrações. Quando em relação as propriedades químicas sua definição é baseada quanto a massa específica, massa atômica e número atômico possuindo valores elevados para massa e número atômico (LIMA; MERÇON, 2011). Ainda segundo Srivastava e Majumder (2008) os metais pesados são elementos que apresentam peso atômico entre 63,5

e $200,6 \text{ g.mol}^{-1}$ e uma massa específica de 5 g.cm^{-3} , podendo ser classificados como essenciais e não essenciais ou microcontaminantes. Alguns organismos vivos necessitam destes para seu desenvolvimento na forma de micronutrientes quando em concentrações adequadas.

Os metais essenciais, necessários para o desenvolvimento dos seres vivos desde bactérias e plantas até o ser humano sendo requeridos em baixas concentrações, são o sódio (Na), potássio (K), cálcio (Ca), ferro (Fe), zinco (Zn), cobre (Cu), níquel (Ni) e magnésio (Mg). Os microcontaminantes ambientais, são cádmio (Cd), mercúrio (Hg), alumínio (Al), titânio (Ti), estanho (Sn), arsênico (As), chumbo (Pb) e tungstênio (W). De forma simultânea alguns metais pesados associados a classe dos essenciais são conjuntamente microcontaminantes devido a sua propriedade tóxica em altas concentrações, como Fe, Co, Zn, Mn e outros (MANZINI; SÁ; PLICAS, 2010; OLIVEIRA, 2018).

Esses elementos diferem de outras substâncias tóxicas por sua perenidade, podendo causar danos à saúde do meio ambiente e seres vivos devido ao contato com o meio em que estão dispostos (solo, água e alimentos). Passando pela cadeia alimentar sofrem um processo de acumulação no organismo encadeando sintomas específicos que variam de acordo com metal, indo desde diarreia com sangramento (em casos de contaminação por mercúrio) a cólicas abdominais (contaminação por chumbo) podendo ainda evoluir para quadros mais graves por sua propriedade carcinogênica. O acúmulo e toxicidade desses poluentes acontecem geralmente devido a complexação com as proteínas estruturais e funcionais que resultam em danos ou morte celular, todavia gravidade do efeito tóxico no organismo depende de alguns fatores como a quantidade da substância, a via de exposição e característica específicas dos organismos expostos (AKHTAR et al., 2018; PASCALICCHIO, 2002).

A poluição por metais pesados nos corpos hídricos relacionado a presença no efluente têxtil, estão associados ao desenvolvimento das atividades industriais e atribuída principalmente ao uso de corantes naturais e sintéticos, mordentes, resíduos de fios, desinfetantes, surfactantes, solventes orgânicos, sulfetos, ácidos, álcalis, compostos clorados, desemgomantes e amaciantes no processo produtivo. Esses poluentes chegam aos cursos d'água via escoamento superficial das águas em áreas circunvizinhas contaminadas com metais ou pelo lançamento direto do efluente industrial composto por cargas elevadas de Fe, Cr, Pb, Cd, As e Hg (AKHTAR et al., 2018). Todavia, a predominância de compostos metálicos presentes no efluente podem variar segundo a natureza da atividade industrial.

3.3.1 Arsênio

É um elemento químico do tipo semimetal distribuído na superfície terrestre, podendo ser encontrado no meio ambiente em forma de cristais e em grandes variedades de minerais. Possui caráter sólido, cristalino e acinzentado com uma massa atômica de 74,9216 u e associado a subprodutos e encontrado principalmente em rochas ricas em minérios de: Prata, Cobalto, Níquel, Chumbo e Cobre. O arsênio é liberado no meio por fontes antropogênicas e naturais através da mineração, uso de agrotóxicos, combustão de carvão e madeira e queima de resíduos urbanos (ANDRADE; ROCHA, 2016).

Este metaloide foi amplamente utilizado na forma de veneno pelo ser humano, pois várias de suas características o tornavam propenso para tal, como a insipidez ou sabor levemente adocicado, sendo facilmente misturado aos alimentos, fácil aquisição, evolução insidiosa dos sintomas de intoxicação simulando doença, se comportando como verdadeiro veneno celular. Seu consumo é extremamente prejudicial à saúde humana e os meios de contaminação podem ser por contato direto com o elemento químico, através da ingestão de alimentos contaminados (como consumo de carne e peixes) e principalmente por meio do consumo de água contaminada, provocando doenças como: necrose tubular aguda, hepatomegalia, hipo e hiperpigmentação, gangrena, hipóxia e diversas formas de câncer, principalmente de pele (melanomas). O Arsênio é letal ao ser humano quando em concentrações de 1 a 3mg As/kg quando em sua forma inorgânica (GONTIJO; BITTENCOURT, 2005; ANDRADE; ROCHA, 2016).

O As no ambiente, como supracitado, ocorre de forma natural ou antropogênica, e o método como chega aos cursos d'água ocorrem de igual forma, sendo através da lixiviação e escoamento do material em áreas contaminadas (áreas que utilizam agrotóxicos por exemplo), despejo de efluentes industriais ou dissolução de rochas. O semi-metal é insolúvel em água, porém, muitos compostos do mesmo são solúveis (CETESB, 2017; CASTILHO et al., 2020). Com relação ao lançamento de efluentes em corpos hídricos, o Arsênio total deve apresentar uma concentração de 0,5 mg/l As, seguindo os padrões nacionais estabelecidos pela resolução CONAMA nº 430 de 13 de maio de 2011.

3.3.2 Cádmio

O cádmio é um metal pesado não essencial, de número atômico 48 e massa atômica igual a 122,4 u, encontrado na natureza associado a sulfetos de minério de zinco, chumbo e

cobre. As fontes naturais de Cd ocorrem através da atividade vulcânica, erosão de rochas sedimentáveis e fosfáticas além de incêndios florestais, já as fontes de origem antrópica, que potencializam o teor do metal em determinados ambientes são: as atividades de mineração, produção, consumo e disposição de produtos que utilizam cádmio (por exemplo baterias de níquel-cádmio, pigmentos, estabilizadores de produtos de PVC, recobrimento de produtos ferrosos e não-ferrosos, ligas de cádmio e componentes eletrônicos) (CETESB, 2022).

Possui aplicação industrial, cujo foi amplamente utilizado na confecção de pilhas e baterias recarregáveis junto ao níquel. Todavia, este metal é considerado tóxico e carcinogênico (já em baixas concentrações) e possui caráter acumulativo no meio ambiente e nos organismos. De acordo com a *Agency for Toxic Substances and Disease Registry* (ATSDR) o Cd está em sétimo lugar na lista de substâncias que representam ameaça a saúde humana e ao meio ambiente, considerando sua toxicidade, potencial de exposição e frequência com o qual é encontrado (CETESB, 2022; ATSDR, 2022).

Sua disposição no solo e na água tende a ser maior quando o pH é mais ácido, podendo chegar nos cursos de água por meio de escoamento superficial de materiais (áreas que utilizam fertilizantes, por exemplo) ou através do despejo de efluente. Se tratando do efluente industrial, a concentração desta substância deve ser controlada, obedecendo o padrão de lançamento de 0,2 mg/L Cd. Já na atmosfera, ocorre em forma de material particulado podendo ser emitido em forma de vapor quando submetido a altas temperaturas, como na indústria do ferro e aço (CONAMA, 2011; CETESB, 2022a).

Os efeitos tóxicos causados pelos metais estão associados aos compostos orgânicos e inorgânicos formados por eles, sua disposição e concentração. O Cd em peixes, por exemplo, tem sido associado a danos na estrutura dos órgãos, alteração nos níveis de glicose, mudança na disposição dos glóbulos vermelhos, causando danos as células e outros tecidos e ocasionar ainda diversos efeitos fisiológicos, genotóxicos e bioacumulativos no organismo. (QEUIROZ, 2016). De acordo com Garcia e Cruz (2012) os efeitos tóxicos do cádmio nos seres humanos se manifestam especialmente nos ossos e rins e em pessoas que têm baixo estoque de ferro são particularmente vulneráveis a esses efeitos adversos, sendo de forma geral sua forma de exposição através da ingestão de alimentos e uso de cigarro.

3.3.3 Chumbo

É um metal macio de alta densidade, toxicidade não essencial, com uma massa atômica de 207,2 u, é cinza azulado e relativamente abundante na crosta terrestre com concentração

média entre 10 a 20mg/kg, estando associados a minérios com destaque para os que contêm zinco. Ele pode ser utilizado na forma pura ou ligada a outro metal, com diversas aplicações na indústria, indo desde seu uso na composição de solda a aplicação na produção de pigmentos com base em sais de Chumbo (CETESB, 2022b).

Por meio de atividades antrópicas, o Pb pode ser dispersado no ar principalmente por meio da emissão de fundições e fábricas de bateria. No solo, de forma natural, sua concentração é baixa, todavia essa concentração pode ser elevada na camada superficial através da precipitação atmosférica, enquanto que na água sua presença pode estar associada à sua dissolução quando presente na composição do material das tubulações e outros equipamentos, escoamento superficial e despejo de efluentes industriais (CETESB, 2022b).

Se tratando de um elemento com características tóxicas a sua absorção depende do tempo de exposição e da sua concentração, e a contaminação através dele e seus derivados pode gerar danos severos a saúde humana além de efeitos adversos a meio ambiente. Quando interage com a matéria viva, esse metal apresenta tanto características inerentes a outros metais pesados quanto algumas particularidades. Como esse metal afeta os órgãos e sistemas do organismo, os mecanismos de toxicidade propostos envolvem processos bioquímicos fundamentais, que incluem a habilidade do mesmo de inibir ou replicar a ação do cálcio e de interagir com proteínas (MOREIRA F.; MOREIRA J., 2004; SCHIFER; JUNIOR; MONTANO, 2005)

A contaminação ambiental pelo chumbo ocorre principalmente em função do seu emprego industrial, de tal forma o monitoramento relacionado a emissão desse poluente é realizado pelos órgãos públicos competentes. A legislação brasileira estabelece para concentração da substância no efluente um teor de 0,5 mg/L Pb (CONAMA, 2011). Segundo a ATSDR (2022), considerando sua toxicidade, disposição no ambiente e potencial risco a integridade da saúde humana o chumbo é o segundo elemento que mais representa perigo a saúde e ao meio ambiente.

3.3.4 Cobre

O cobre é um metal e micronutriente essencial para o desenvolvimento dos seres vivos, sobretudo em determinadas concentrações tem potencial de causar impactos adversos tanto a saúde quanto ao meio ambiente. Possui número atômico igual a 29 e massa molar equivalente a 63,546 g mol⁻¹, sendo provavelmente o primeiro metal a ser descoberto e trabalhado pelo homem. De forma natural o cobre é encontrado principalmente nos minerais calcocita, calcopirita e malaquita, é ainda um metal dúctil, maleável, de coloração avermelhada

extremamente útil e tem sido muito empregado na obtenção de ligas metálicas desde os tempos antigos (RODRIGUES; SILVA, 2012).

Embora seja um elemento essencial, apresenta potencial tóxico em concentrações ligeiramente elevadas, para os seres humanos a contaminação com Cu leva a graves complicações à saúde, podendo causar câncer e até mesmo a morte. A contaminação do meio ambiente por esse metal ocorre devido sua intensa utilização pelas atividades industriais desenvolvidas pela sociedade e consequentemente efeitos negativos a saúde com a exposição ao metal (ANDREAZZA et al., 2013). Mesmo sendo essencial para as funções bioquímicas e fisiológicas, seu acúmulo no organismo na forma livre causa toxicidade, pois gera oxigênio reativo em espécies como superóxido, peróxido de hidrogênio e hidroxila que danificam proteínas, lipídios e DNA (CHEEFI; GACI, 2014).

Visto seu potencial poluidor, o teor de cobre deve ser monitorado principalmente quando sua presença está associada aos efluentes industriais e atividades de mineração, que são os maiores meios de contaminação hídrica pelo metal. O CONAMA, através da sua resolução nº 430/2011, estabelece a concentração máxima de 1 mg/L para despejo no corpo receptor, visando manter a qualidade ambiental do meio.

3.3.5 Cromo

O Cr é um metal pesado essencial e pode se tornar um contaminante, a partir de determinados teores, sendo comumente encontrado no solo, nas águas subterrâneas e nos sedimentos, possui número atômico 24 e massa atômica 51,9961 u, sendo sólido em temperatura ambiente. Esse elemento geralmente ocorre em duas formas: Cr (III) e Cr (VI), diferenciados por suas propriedades físico-químicas. Cr (III) é essencial e biologicamente importante para o corpo humano, influenciando no metabolismo de açúcares e lipídios. Entretanto a exposição de maneira crônica pode resultar em danos no fígado, rins ou pulmões. Já o Cr (VI) possui alta toxicidade para a biota e foi determinado como sendo um elemento carcinogênico para seres humanos (CHEEFI; GACI, 2014).

Este metal transformou-se em um agente contaminante devido a seu vasto uso na indústria, sendo amplamente utilizado no beneficiamento de couro, agentes de limpeza, por galvanização, catalizadores e alguns produtos químicos. Tal fato implica que as ações antrópicas são as principais responsáveis pela disseminação do metal na forma de contaminante,

chegando ao meio ambiente através da água e do ar causando efeito deletério em alguns organismos vivos com plantas por exemplo (DA SILVA COSTA, 2020).

Efluentes indústrias são considerados poluidores por Cr quando a concentração supera 0,1 mg/L Cr+6 para o cromo hexavalente e para o cromo trivalente 1,0 mg/L Cr+3, tornando inadequado para disposição no corpo receptor (CONAMA, 2011). Considerando a priorização de substâncias com base em uma combinação de sua frequência, toxicidade e potencial de exposição humana, este metal encontra-se na 78ª posição da ATSDR, estando entre os metais pesados mais comumente encontrados em sedimentos.

3.3.6 Níquel

O Ni é um metal pesado encontrado em abundância na crosta terrestre, possui uma densidade de 8,5 g/cm³, na sua forma metálica apresenta uma coloração que varia de branca a prateada e possui larga resistência a corrosão e oxidação, tornando-o o principal elemento utilizado na obtenção de aço inoxidável e ligas especiais. Ele é um metal obtido através da exploração de minérios sulfetados e lateríticos, possui seu ponto de fusão na temperatura aproximada 1453°C. Devido suas características, é usado tanto puro como em ligas, em cerca de 300 mil produtos para consumo em: indústria, material militar, moedas, transporte/aeronaves e em aplicações voltadas para a construção civil (ANDRADE et al., 2000; GONZALEZ, 2016).

Assim como os outros metais, o níquel também apresenta potencial tóxico, e seu potencial varia de acordo com a exposição e concentração do elemento. No meio ambiente as principais causas antrópicas de contaminação por níquel vem da indústria metalúrgica, mineração e fundição, lodo e efluentes industriais e a combustão de petróleo. Na saúde humana as implicações causadas pelo metal variam de acordo com a exposição e concentração, podendo causar pneumonite, insuficiência adrenal, edema pulmonar, degeneração hepática, câncer do trato respiratório e asma (SANTANA, 2021).

O Níquel faz parte da lista da ATSDR, relacionada as substâncias de atenção prioritária quanto a seu potencial tóxico e disposição na natureza. Sua presença em resíduos e efluentes industriais deve ser monitorada e sua concentração máxima permitida pela legislação nacional, a fim de evitar e minimizar danos ao corpo receptor é de 2,0 mg/L Ni (CONAMA, 2011). O metal lançado no ambiente por fontes naturais ou antropogênicas circula por todos os compartimentos ambientais (solo, água e ar) por meio de processos físico-químicos, ser biologicamente transportado por organismos vivos (PAVESI, 2020).

3.4 Disposição natural de metais pesados no solo

Os metais pesados estão dispostos naturalmente no solo em diferentes concentrações e tipos, dependendo sobretudo do material de origem responsável pela formação, além de outros fatores como a quantidade e a composição da fração de argila, de matéria orgânica e condições físico-químicas dos solos podem influenciar sua concentração de metais pesado. No cenário mundial, os teores destas substâncias são bastante heterogêneos. Solos originados em rochas básicas, por exemplo, apresentam naturalmente maior disposição de metais, principalmente quando comparados com aqueles formados sobre granitos, gnaisses, arenitos e siltitos. Dentre os metais, os essenciais Fe e Mn se destacam por estarem presente naturalmente nos solos em concentrações maiores que os demais (FADIGAS et al, 2002).

A maioria dos elementos metálicos *in natura* no solo estão em baixas concentrações, todavia, casos extraordinários e anômalos decorrentes do ambiente geoquímico natural ou intensificação da concentração por atividades antrópicas podem afetar na sua disposição. A contaminação do solo apresenta caráter pontual quando se despeja resíduos agrícolas e industriais, rejeitos de mineração, lodo de esgoto e lixo urbano. Já de forma mais abrangente ocorre quando a fonte de contaminação se constitui de corretivos de solo, fertilizantes ou outras substâncias que visam condicionar o solo para produção agrícola (ALLEONI et al, 2009; DE SÁ CAVALCANTI; DO NASCIMENTO, 2009).

Dados norteadores para definição de contaminação ou não de áreas por metais ainda não são estabelecidos por bases tão sólidas, levantando a necessidade de um *background* geoquímico desses elementos no solo. De acordo com Preston et al (2014) a Holanda foi o percussor na elaboração de um programa para avaliar a contaminação por esses elementos e o país pioneiro a definir níveis de intervenção de acordo com as múltiplas funções do solo.

Para reforçar e estabelecer Valores Orientadores de Referência de Qualidade do solo (VRQs), o Conama, através da resolução N° 420/ 2009 estabeleceu critérios e valores orientadores de qualidade do solo quanto à presença de substâncias químicas e estabeleceu diretrizes para o gerenciamento ambiental de áreas contaminadas por essas substâncias em decorrência de atividades antrópicas. O conselho ainda delegou, através da mesma resolução, que devido a diversidade geológica do país e as características das regiões, cada estado da federação deverá estabelecer seus próprios VRQs (CONAMA, 2009).

Alguns estados já possuem seus valores de referência estabelecidos, dentre eles Pernambuco. Foi através da Instrução Normativa nº 07/2014, instituída pelo CPRH, que se estabeleceu os valores de referência da qualidade do solo (VRQ) do Estado de Pernambuco

quanto à presença de substâncias químicas para o gerenciamento ambiental de áreas contaminadas por essas substâncias como pode ser visto na tabela 1. Além dos valores definidos pelo órgão ambiental estadual, o mesmo ainda adota através da resolução CONAMA nº 420/2009, os Valores de Prevenção (VP) que é a concentração de valor limite de determinada substância do solo, tal que ele seja capaz de sustentar as suas funções principais e os Valores de Intervenção (VI) que consiste a concentração de determinada substância no solo ou na água subterrânea acima da qual existem riscos potenciais, diretos ou indiretos, à saúde humana, considerando um cenário de exposição padronizado.

Tabela 1- Valores orientadores para solos de Pernambuco.

Substâncias	CAS nº	VRQ do Solo (mg/kg de peso seco)
Inorgânicos		
Alumínio	7429-90-5	-
Antimônio	7440-36-0	0,2
Arsênio	7440-38-2	0,6
Bário	7440-39-3	84
Boro	7440-42-8	-
Cádmio	7440-48-4	0,5
Chumbo	7440-43-9	13
Cobalto	7439-92-1	4
Cobre	7440-50-8	5
Cromo	7440-47-3	35
Ferro	7439-89-6	-
Manganês	7439-96-5	-
Mercúrio	7439-97-6	0,1
Molibdênio	7439-98-7	0,5
Níquel	7440-02-0	9
Nitrato	797-55-08	-
Prata	7440-22-4	0,5
Selênio	7782-49-2	0,4
Vanádio	7440-62-2	24
Zinco	7440-66-6	35

Fonte: CPRH, 2014.

A maioria dos metais, diferente dos contaminantes e compostos orgânicos, não sofrem o processo de degradação química ou microbiana, justificando a concentração prolongada no solo após sua entrada. Ele está presente em diferentes formas como: íons livres ou em associação com íons e moléculas. Sua forma reduzida é a que possui maior mobilidade, ou seja, sua capacidade de lixiviação ou escoamento para outras áreas é maior, o que aumenta a possibilidade de contaminação ambiental a depender da concentração presente (BIONDE, 2010).

3.5 Poluição urbana hídrica

A poluição das águas ocorre por diversos meios, principalmente através de atividades antrópicas e seu sistema de produção. Diversos compostos lançados nos cursos d'água contaminam o meio causando impactos adversos a biota, dentre estes, a contaminação por metais pesados é de grande preocupação devido ao envolvimento da toxicidade do metal e seu efeito no ambiente aquático. Esse tipo de poluição afeta rios importantes em diversos países por meio do lançamento de efluentes e acúmulo dessas substâncias uma vez que o uso da água é fundamental para todos os processos de produção industrial (BOTLE et al, 2023). De tal forma, é possível definir a poluição urbana hídrica como um conjunto de fatores e atividades desenvolvidas dentro e na malha de expansão urbana que afetam adversamente a qualidade dos recursos hídricos.

Diversos ecossistemas aquáticos coexistem com as indústrias e atividades urbanas tornando-os suscetíveis a contaminação, mesmo sendo um recurso muito valioso fornecendo água para usos agrícolas, econômicos, domésticos etc. A questão da contaminação hídrica por substâncias persistentes como os metais pesados, abrangem rios por todo mundo, principalmente aqueles que ofertam grande quantidade do recurso para ser utilizado na produção de bens de consumo e manutenção das necessidades sociais. Produtos químicos orgânicos voláteis e biodegradáveis, metais, partículas suspensas, nutrientes agrícolas, patógenos e parasitas são os principais contaminantes encontrados na água, sendo resultante do despejo de efluentes domésticos, industriais e descarte inadequado de resíduos sólidos (BOTLE et al, 2023; TULCAN et al, 2023).

Este panorama da poluição hídrica urbana, ou seja, as atividades do processo de urbanização, podem ser evidenciadas em diversos centros urbanos pelo mundo, sendo algumas atividades menos nocivas e outras que potencializam o lançamento e acúmulo dos poluentes nos cursos de água. O rio Atoyac que está situado no México Central, por exemplo, abriga em

uma determinada área cerca de 15.000 indústrias, onde predominam principalmente as do setor têxtil, de equipamentos pesados, automotivo e alimentício. Através de um monitoramento em tempo real foi possível detectar o aumento da concentração de compostos orgânicos e inorgânicos no período em que as atividades industriais fazem descarte de efluente, afetando seriamente a qualidade do rio. Através disto é possível observar que a atividade industrial, como parte do processo de poluição hídrica urbana, é um dos agentes potencializadores da contaminação (RODRIGUEZ et al, 2023).

O cenário que envolve a realidade de rios na Índia é também alarmante, dados analisados referente a 102 rios no período de 1991 a 2021 em todo o país revelam altas concentrações de metais pesados nas águas superficiais. São contaminantes biológicos, orgânicos e inorgânicos, químicos e tóxicos que já contaminaram por volta de 70% das águas superficiais, além disso esta contaminação foi acelerada pelo rápido crescimento populacional, urbanização desenfreada e rápido desenvolvimento industrial. Se tratando da contaminação por metais, são Indústrias metalúrgicas, vernizes, tintas, papel e celulose, curtimento de couro, corantes, cervejarias, fibras sintéticas, manufatura têxtil, indústrias de borracha, usinas termelétricas, siderúrgicas, setores de mineração e o uso ilimitado de fertilizantes e pesticidas contendo metais em áreas agrícolas, as maiores responsáveis por poluir (BOTLE et al, 2023).

3.6 Sedimentos

Os corpos hídricos são fundamentais para manutenção das atividades desenvolvidas na sociedade, desde o consumo humano e recreação até a produção de alimentos e dessedentação animal. Devido à crescente expansão da malha urbana, aumento populacional e atividades industriais, os ambientes aquáticos são constantemente explorados e degradados, isso ocorre principalmente devido ao mau uso e ausência de tecnologias adequadas para a sua gestão.

O sedimento é um componente integral dos ecossistemas aquáticos, oferecendo habitat, alimentação, desova e áreas de criação para muitos organismos aquáticos. Além disto ele também serve como um reservatório para poluentes sendo uma fonte potencial para a coluna de água, organismos e consumidores humanos desses organismos. As fontes destes poluentes são de origem diversas, incluindo descargas municipais e industriais, escoamento urbano e agrícola, deposição atmosférica. Os poluentes que se acumulam nos sedimentos podem reduzir e eliminar espécies que possuem importância recreativa, comercial e ecológica, ou seja, por efeitos diretos ou por afetar o suprimento de alimentos que as populações necessitam (USEPA, 2001).

O sedimento é um compartimento de suma importância dos ecossistemas aquáticos, possui papel importante no transporte e acumulação de metais e outras substâncias, que ficam ligadas a suas partículas por um considerável período de tempo, fato este que confere sua utilização como um indicador da qualidade ambiental, quando se faz necessária estabelecer a situação real de qualidade em que o ambiente se encontra, em consequência das constantes atividade antrópicas (SANTOS, 2016; CORINGA et al, 2016).

Os sedimentos possuem relações com elementos, características químicas ou eficiência de quantificação, tornando-o meio ideal para investigar a saúde do ecossistema e sua poluição. Grande parte dos oligoelementos possuem baixa solubilidade em água e alta afinidade por material particulado cujo cerca de aproximadamente 90% das cargas de metais pesados em corpos hídricos foram encontradas nos sedimentos e em partículas suspensas. Portanto, os sedimentos se comportam como áreas de sumidouro para a maioria dos contaminantes, compostos orgânicos e nutrientes (BOTLE et al, 2023; TULCAN et al, 2023)

Segundo Lira (2019), a ausência de valores de referência quanto aos teores de metais e outras substâncias nos sedimentos, dificulta a comparação e a aplicação do mesmo como indicador de qualidade ambiental, sendo necessários a obtenção de valores de referência a nível mundial ou a obtenção de valores semelhantes em áreas locais com baixa intervenção de atividade agrícola ou urbana. Apesar desse déficit, é possível fazer uso da legislação nacional como auxílio, onde algumas delas estabelecem teores de algumas substâncias químicas dispostas no ambiente visando a melhor qualidade ambiental.

Dentre elas tem-se as resoluções CONAMA nº420/2009 e suas alterações, que traz “[...] critérios e valores orientadores de qualidade do solo quanto à presença de substâncias químicas e estabelece diretrizes para o gerenciamento ambiental de áreas contaminadas[...]” devido a atividade antrópica e a CONAMA 454/2012 que fixa as “[...] diretrizes gerais e os procedimentos referenciais para o gerenciamento do material a ser dragado em águas sob jurisdição nacional”.

Os maiores teores de metais pesados são encontrados em áreas onde predominam as atividades humanas, ou seja, em áreas urbanizadas, consequência do impacto causado pelo meio antrópico. No solo, por exemplo, é necessário conhecer o teor natural de metais em condições naturais, para assim ter noção da existência ou não de contaminação (BIONDE, 2010). O mesmo se aplica aos sedimentos como um compartimento geoquímico que necessita de valores de referência para assim serem associados ou não as atividades potencialmente poluidoras. Essas áreas de referência devem estar isentas o máximo possível de atividades que possam

influenciar na disposição natural dos elementos, como atividade agropecuária e industrial, e assim serem levantados dados pertinentes à elaboração de uma legislação regulamentadora.

Mesmo recebendo tratamento adequado ainda sim podem ser encontrados teores de metais em não conformidade com a legislação nas saídas das estações de tratamento de efluentes têxteis. Da Silva (2016), avaliou a eficiência do tratamento de efluentes em uma indústria de beneficiamento têxtil no polo do agreste pernambucano e comparando com a legislação, podendo assim observar que apesar da eficiência de remoção de outros metais, o Mn persistia, estando em não conformidade com o CONAMA.

Lira (2019), a fim de diagnosticar o grau de contaminação e poluição do trecho do rio Ipojuca, que sofre influência de lavanderias têxteis, avaliou os sedimentos superficiais em um trecho da cidade de Caruaru, que é cortada pelo corpo hídrico. Foram encontrados teores elevados de metais como As, Cr, Cu e Ni quando comparadas aos parâmetros internacionais, mostrando elevados valores para o Fator de Enriquecimento, estabelecido pela USEPA, associando à alta carga à área do rio que recebe mais influência dos materiais diretamente relacionada as atividades comerciais. Isso corrobora na importância dos sedimentos como um indicador de qualidade ambiental.

3.7 Fator de Enriquecimento (FE)

O Fator de Enriquecimento é uma ferramenta que foi proposta em 1979 por Buat-Menard, surgindo com a finalidade de avaliar o enriquecimento de um elemento químico, por meio da normalização utilizando outro elemento considerado mais estável e imóvel no ambiente. O uso desta ferramenta foi progressivamente estendido ao estudo de solos, sedimentos de lagos, turfa, rejeitos e outros materiais ambientais, sendo ainda aplicado em diversas partes do mundo com o objetivo de avaliar o enriquecimento antrópico de determinados metais (LOSKA et al. 1997; PRESTON et al. 2013; CETESB, 2019). O cálculo utilizado para o FE segue conforme o apresentado na equação 1.

Equação 1: Cálculo do Fator de Enriquecimento.

$$FE = \frac{\left(\frac{Me}{X}\right)_{loc}}{\left(\frac{Me}{X}\right)_{ref}}$$

Sendo:

FE — fator de enriquecimento

Me – Concentração do metal ou elemento de interesse.

X – Concentração do metal ou elemento normalizador.

Loc – Local avaliado

Ref – Valores de referência utilizado.

Quanto ao elemento normalizador, podem ser utilizados alguns, entre eles o Fe e o Al, sendo ainda desejado que estes elementos possuam algumas características como apresentar um fluxo crosta-rocha uniforme e amplo, deve sofrer ações de sinergismo ou antagonismo com outros elementos, ser quantificado facilmente e presente em concentrações traço, deve ser estável e não sujeitos a influências ambientais, como redução/oxidação, adsorção/dessorção, e outros processos de diagênese e intemperismo, permanecendo em superfície e não sendo carreado por lixiviação (LOSKA et al. 1997, CETESB, 2019)

Sutherland (2000) definiu um grau de poluição fundamentado para o FE, propondo cinco categorias de enriquecimento, como pode ser observado na tabela 2.

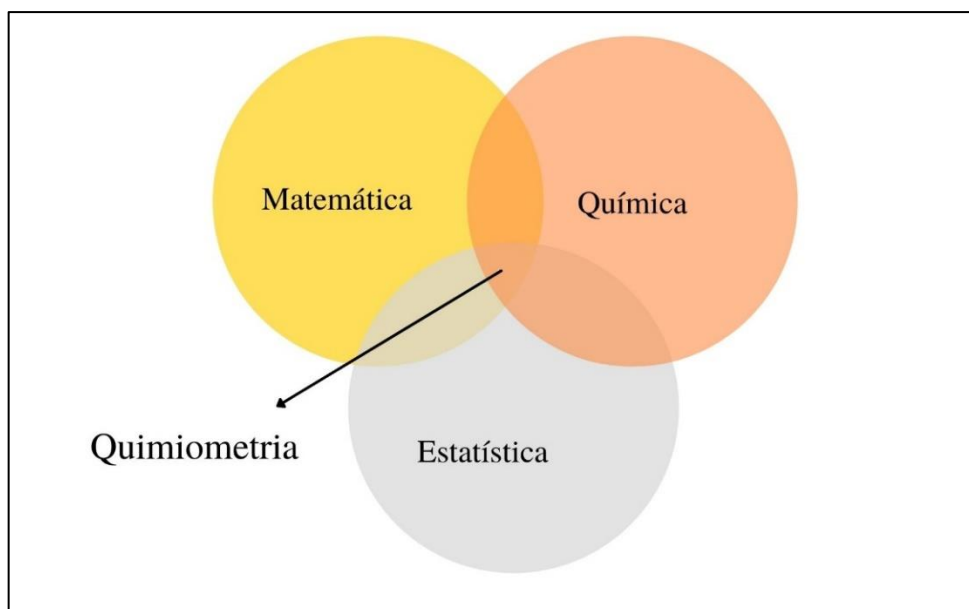
Tabela 2- Categorias para enquadramento de FE.	
Categorias	Descrição
FE >1	Baixo enriquecimento
FE entre 2 e 5	Enriquecimento moderado
FE entre 5 e 20	Enriquecimento significativo
FE entre 20 e 40	Enriquecimento muito alto
FE > 40	Enriquecimento extremamente alto

3.8 Quimiometria

A quimiometria é uma área que surgiu diante da necessidade de extração de informações químicas. Em 1971 o químico orgânico Svante Wold fez uso do termo pela primeira vez, sendo seu, o primeiro trabalho publicado que utilizava a terminologia, porém o método se popularizou através de trabalhos publicados por Kowalski sendo também este o precursor da inserção da quimiometria no Brasil. A área foi amadurecendo ao longo dos anos, estreitando relações com outras matérias como à matemática, estatística, biologia e ciências computacionais. Decorrente da sua característica interdisciplinar lhe foi atribuída a definição de uma ferramenta que administra e processa dados de natureza química, sendo ela uma intersecção de três distintas

áreas do conhecimento (Química, Estatística e a Matemática) (FERREIRA, 2015), como pode ser observado na figura 2.

Figura 2- Composição da Quimiometria.



Fonte: Autor, 2022.

Assim a quimiometria apresenta uma multidisciplinaridade, permitindo a aplicação da ferramenta em distintas áreas do campo científico, visando extrair o máximo possível de informações de dados químicos. Ruschel (2017), ressalta que sua aplicação em escala maior é de certa forma nova e a interpretação dos dados varia de acordo com o autor. O uso dessa ferramenta para análise multivariada de dados, implica na capacidade desta em extrair máxima quantidade e relevantes informações dos dados químicos, o que possibilita correlacionar os dados avaliados de acordo com as variantes. Esta ciência pode ser dividida em algumas vertentes, entre as quais pode-se destacar Análise exploratória de dados químicos com a utilização de HCA (Hierarchical Cluster Analysis) ou Análise de agrupamentos por métodos hierárquicos e PCA (Principal Component Analysis) ou Análise por Componentes Principais.

Estes são métodos quimiométricos usados na identificação de padrões entre grupos de amostras com o objetivo de classificá-las. Do ponto de vista estatístico, o PCA é uma técnica de análise exploratória e multivariada, basicamente esta técnica consiste em projetar os dados em um espaço substancialmente de menor dimensão e de forma linear em relação ao espaço do conjunto de dados inicial sem prejudicar a interação entre os mesmos, sendo esse novo conjunto de variáveis chamados de componentes principais. Por intermédio deste método é possível pôr

em evidência informações mais relevantes relacionadas aos dados em análise, sendo assim possível extrair conclusões sobre esse conjunto. Interdisciplinaridade verificada neste método resulta em umas das técnicas estatísticas de maior uso na avaliação de dados em diversas áreas do conhecimento, podendo ser aplicada a engenharia, agronomia, zootecnia, ecologia florestal, medicina entre outros ramos ciência (VARELLA, 2008; HONGYU; SANDANIELO; DE OLIVEIRA JUNIOR, 2016; RUSCHEL, 2017).

Quanto ao método HCA, ferramenta também utilizada na quimiometria, parte do conceito de agrupar os dados segundo sua similaridade, sendo este um método não supervisionado. Em conjunto com PCA, possui importância devido à redução na dimensionalidade dos dados, identificando as amostras que apresentam anomalias ou semelhanças em seu comportamento quando dentro de um conjunto. Em síntese, sua função principal, é reunir amostras de forma que as pertencentes ao um mesmo grupo sejam semelhantes entre si do que às pertencentes a outro grupo. No HCA é possível agrupar os dados hierárquicos multidimensionais em um plano gráfico bidimensional (FERREIRA, 2015; RUSCHEL, 2017).

Através da análise multivariada é possível identificar pontos, padrões ou anomalias pouco perceptíveis em primeira instância que podem apresentar significância ao estudo, sendo comprovado por diversos trabalhos. Por exemplo, o estudo de Balbinoti *et al* (2017), usando ferramentas quimiométricas, avaliou a emissão de monóxido de carbono relacionando-a com a qualidade do ar em um município, comparando os teores CO medidos com os padrões estabelecidos na legislação. Em todos os pontos de análise os padrões encontraram-se irregulares em determinado período do dia, porém o ponto chave foi a associação do teor CO com a quantidade de veículos dos pontos onde foram medidas as emissões. Através da PCA foi possível observar a estrutura dos dados a fim de encontrar similaridades entre as condições monitoradas, como concentração de veículos e seus portes em cada ponto avaliado com o teor de monóxido de carbono medido.

Por meio do método, foi possível ilustrar a dispersão dos parâmetros avaliados com 73.74% de variância, com isso observou-se que a quantidade total de veículos em circulação não é proporcional à concentração de CO na atmosfera, ou seja, através da análise dos componentes principais foi constatado que o teor do poluente era maior nos pontos de coletas em que o tráfego era constituído em sua maioria por veículos pesados como caminhões e ônibus, ou seja, quanto ao tipo de transporte e não relacionado a quantidade de veículos presentes em

cada ponto de coleta. Por intermédio do método quimiométrico é possível analisar dados de forma mais aprofundada, revelando resultados mais seguros e concretos.

Mostrando eficiência quanto a aplicação ao meio ambiente a ferramenta supracitada é utilizada ainda em pequena escala dadas as proporções com o qual trabalhos científicos envolvendo controle, monitoramento e remediação de danos ambientais são produzidos e publicados.

3.9 Arcabouço legal

O segmento industrial têxtil possui grande potencial poluidor e é um setor fundamental para economia. O processo de licenciamento ambiental desse tipo de empreendimento de acordo com a Lei Complementar nº 140/11, é preferencialmente licenciada pelo estado já que este ente deve promover o processo administrativo de todas as atividades ou empreendimentos que não se enquadrem nos casos particulares de competência da União e dos municípios.

Apesar de ser preferencialmente regularizada pelo estado, esse tipo de empreendimento também pode ser licenciado pelos municípios, desde que este possua corpo técnico e conselho de meio ambiente para tal e que a influência dos impactos ambientais seja de âmbito local de acordo com os critérios de porte, potencial poluidor e natureza da atividade, no que rege o art. 9º, XIV da LC nº 140/11 e segundo a resolução CONSEMA nº 01/18 em seu anexo 1. No que tange a competência para licenciar a CONAMA 237/97 art. 6º estabelece que os municípios podem realizar o licenciamento ambiental de atividades, quando forem delegadas pelo estado por meio de convênio ou instrumento legal, ou seja, através da concessão do poder de licenciador pelo órgão estadual.

O órgão licenciador e fiscalizador responsável por atuar no APL é a Agência Estadual de Meio Ambiente de Pernambuco (CPRH) e respectivos municípios com atribuição para licenciar como Caruaru, Belo Jardim, Ipojuca, Paulista, Jaboatão dos Guararapes, entre outros. O procedimento de licenciamento para esse tipo de empreendimento, segundo dados de referência disponíveis no CPRH, consiste na obtenção da Licença Prévia (LP), Licença de Instalação (LI) e a Licença de Operação (LO). Para obtenção destas é necessário que o empreendimento cumpra com as condicionantes impostas pelo órgão em cada uma das três etapas (LP, LI e LO), além de apresentar toda documentação de referência exigida. Quanto aos prazos de vigência de cada licença à Lei Estadual n. 14.249/2010 e suas alterações, estabelece os prazos de duração para cada licença inclusive para sua prorrogação.

Quanto aos limites de lançamento de efluentes, a CONAMA 430/11 e 410/09 estabelecem teores de referência quanto ao lançamento de substâncias com potencial tóxico presente nos efluentes industriais, entre eles a concentração de metais pesados. Como consequência da disposição final nos corpos hídricos é possível também enquadrar a CONAMA 454/12 que estabelece as diretrizes gerais e os procedimentos referenciais para o gerenciamento do material a ser dragado em águas sob jurisdição nacional, servindo de uso como parâmetro para qualidade de sedimentos do rio.

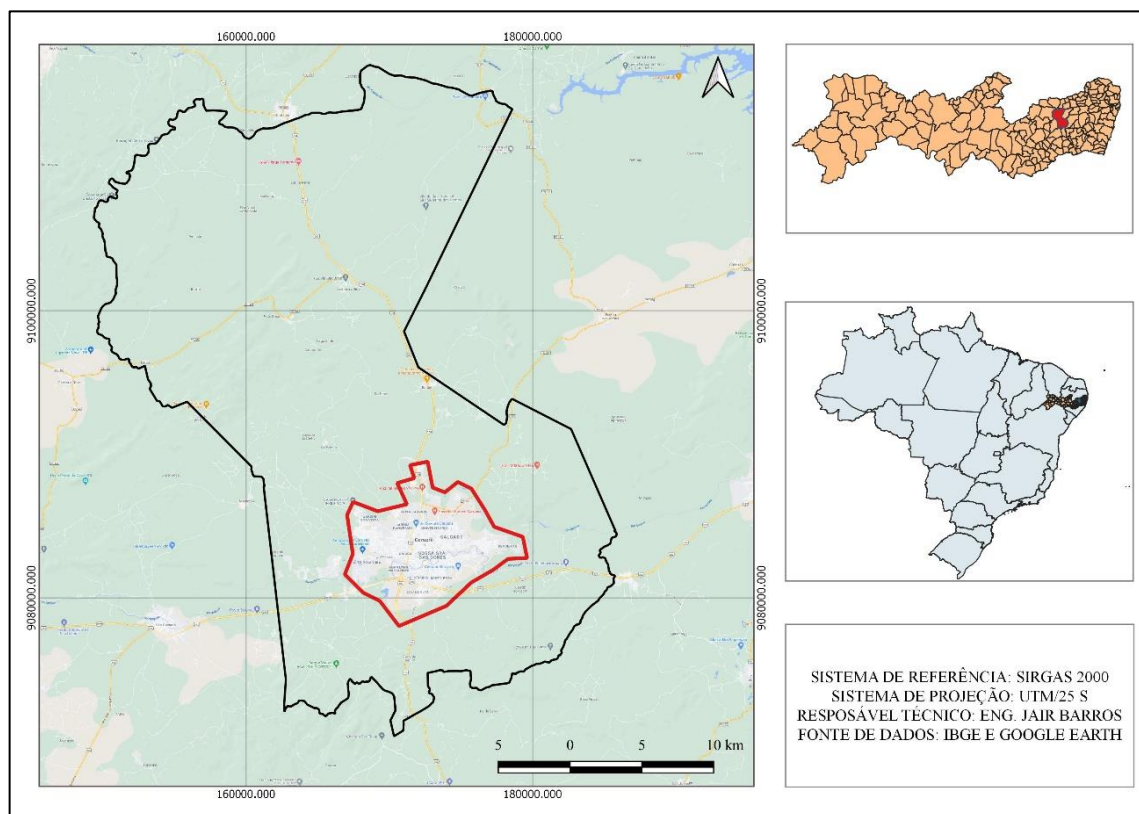
4 MATERIAL E MÉTODOS

4.1 Caracterização da área de estudo

O município de Caruaru está localiza-se na mesorregião do Agreste e na Microrregião do Vale do Ipojuca do Estado de Pernambuco, sua área municipal ocupa 928,1 km² o que corresponde a 0.94 % do Estado de Pernambuco (Figura 3). O município está disposto na unidade geoambiental do Planalto da Borborema, formada por maciços e outeiros altos, com altitude variando entre 650 a 1.000 metros. Seu relevo é geralmente movimentado, com presença de vales profundos e estreitos dissecados. Com respeito à fertilidade dos solos é bastante variada, com certa predominância de média para alta. É cortado por rios perenes de baixa vazão, sua vegetação é predominantemente Subcaducifólica e Caducifólica e com um clima tropical chuvoso, de verão seco, sendo que seu período chuvoso tem início em janeiro/fevereiro se estendendo a setembro (BELTRÃO *et al*, 2005).

De acordo com o último censo sua população é de 314.912 hab. e para ano de 2020 estima-se 365.278 pessoas, possui o 12º maior PIB do estado. Principais atividades econômicas são o comércio, prestação de serviços, indústria, educação, com destaque para o comércio de confecções, onde a cidade está inclusa no Arranjo Produtivo Legal (APL) do Agreste pernambucano, sendo conhecida fora dos seus limites, como grande produtor e comercializador de produtos têxteis (IBGE, 2020; CARUARU, 2021).

Figura 3- Localização geográfica do município de Caruaru.



Fonte: Autor, 2022.

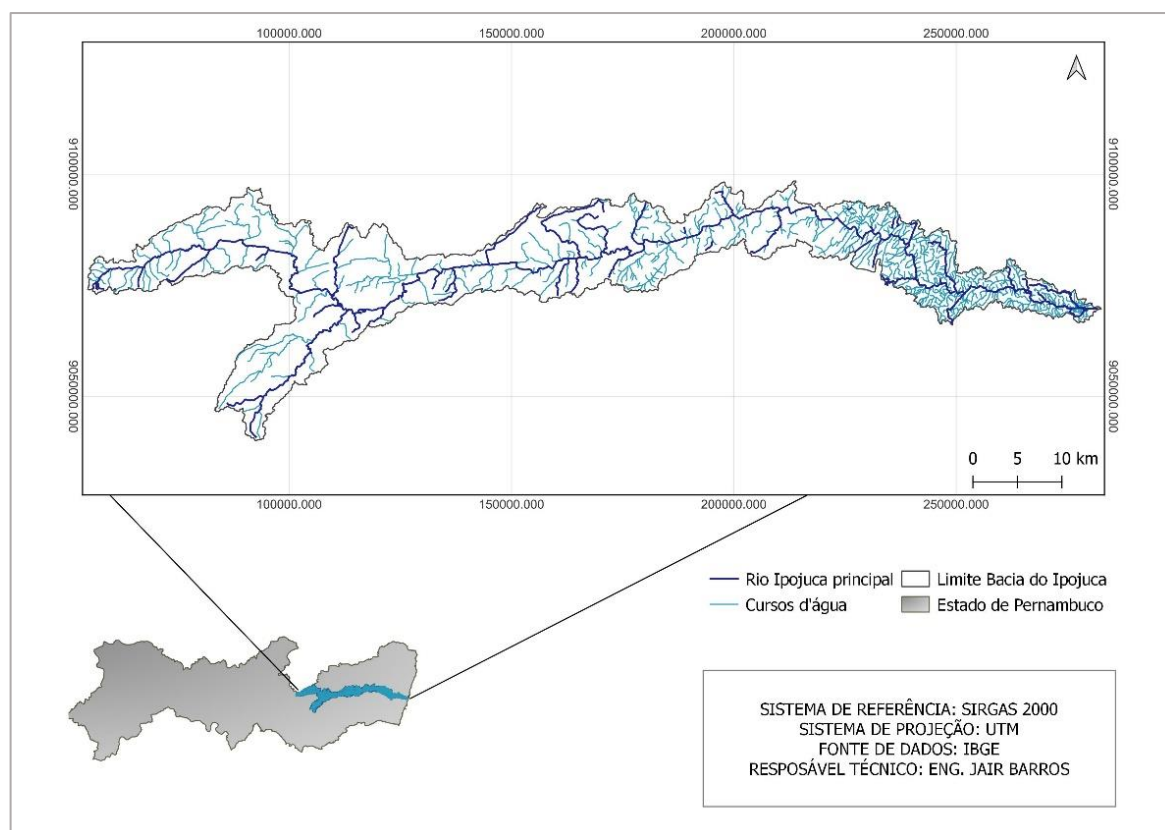
4.1.1 Rio Ipojuca

O município está inserido na bacia do Rio Ipojuca, que nasce em Arcoverde e desemboca na cidade de Ipojuca próximo ao porto de SUAPE. O mesmo abrange um percurso de 320 km de extensão, com um regime intermitente de suas águas, tornando-se perene a partir do trecho que corta Caruaru. Estão inseridos em sua bacia hidrográfica 25 municípios: Belo Jardim, Bezerros, Caruaru, Chã Grande, Escada, Gravatá, Ipojuca, Poção, Primavera, Sanharó, São Caetano, Tacaimbó, Agrestina, Alagoinha, Altinho, Amaraji, Arcoverde, Cachoeirinha, Pesqueira, Pombos, Riacho das Almas, Sairé, São Bento do Una, Venturosa, Vitória de Santo Antão (COMPESA, 2016).

De acordo com a Agência Pernambucana de Águas e Clima (APAC), a bacia do rio Ipojuca abrange uma área de 3.435,34 km², correspondendo a 3,49% da área do estado, como disposto na figura 3, e dentre os municípios que compõe, 14 possuem sua sede na bacia e outras 10 são parcialmente inseridas. A grande urbanização traz prejuízos ao corpo hídrico, visto a constante intervenção das atividades humanas em sua qualidade ambiental. As fontes de

poluição mais influentes são os despejos de efluentes domésticos, industriais, e a disposição inadequada de resíduos sólidos (SANTOS, 2020).

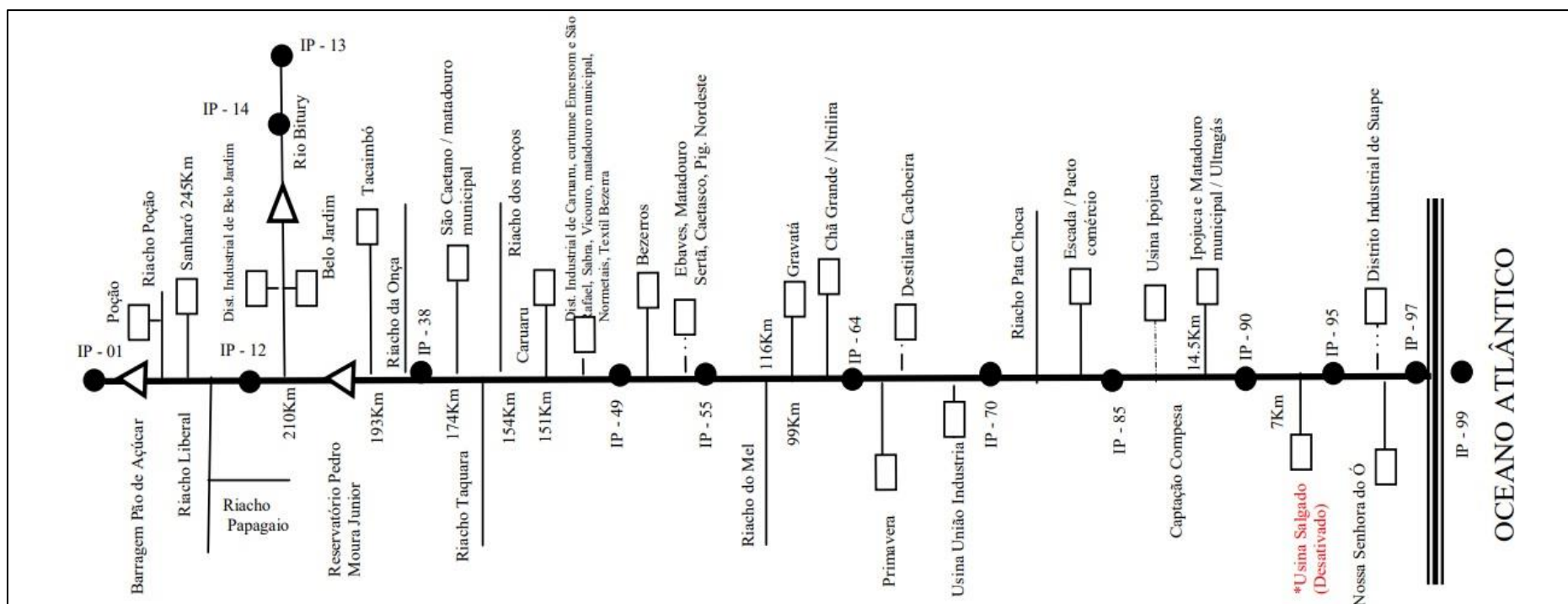
Figura 4- Bacia hidrográfica do Rio Ipojuca.



Fonte: Autor, 2023.

Quanto ao uso do solo, está inserido na sua bacia a ocupação urbana e industrial, áreas cultivadas com cana-de-açúcar, policultura e pecuária e áreas compostas de mata atlântica e manguezal. O uso de suas águas tem principalmente como finalidade o abastecimento público, recepção de efluentes domésticos, recepção de efluentes agro-industrial e industrial. As principais atividades industriais desenvolvidas na bacia do rio Ipojuca englobam produção de produtos alimentícios, minerais não-metálicos, sucroalcooleira, química, têxtil, metalúrgica, vestuário/artefatos/tecidos, couros, bebidas, produto farmacêutico/veterinário, perfumes/sabões/velas, material elétrico/comunicação, calçados, matéria plástica, agropecuária e borracha, como pode ser observado na figura 5 (CPRH, 2018).

Figura 5- Zonas homogêneas e estações de amostragem da rede de monitoramento da Bacia do Rio Ipojuca.

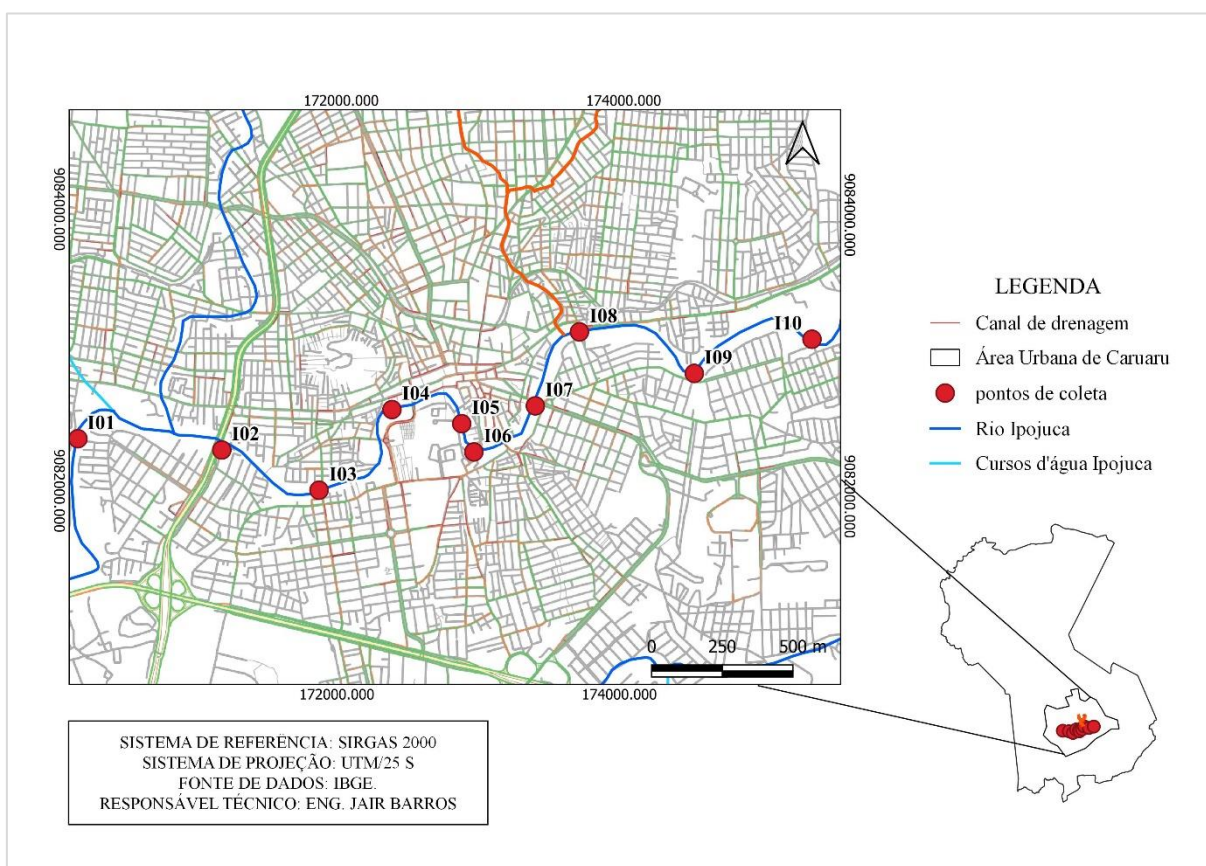


Fonte: CPRH, 2018.

4.2 Coleta das Amostras de sedimentos

A pesquisa foi executada com coleta de 10 (dez) amostras de sedimentos superficiais utilizando uma draga do tipo VanVeen espaçados de cerca de 500 metros (figura 6). A metodologia utilizada na coleta e interpretação dos dados seguiu os padrões e diretrizes estabelecidos pela USEPA (United States Environmental Protection Agency) em conjunto com resoluções CONAMA nº420/2009 e nº 454/2012 a fim de mensurar a o teor dos contaminantes e diagnosticar a qualidade dos sedimentos.

Figura 6- Pontos de coleta de sedimentos.

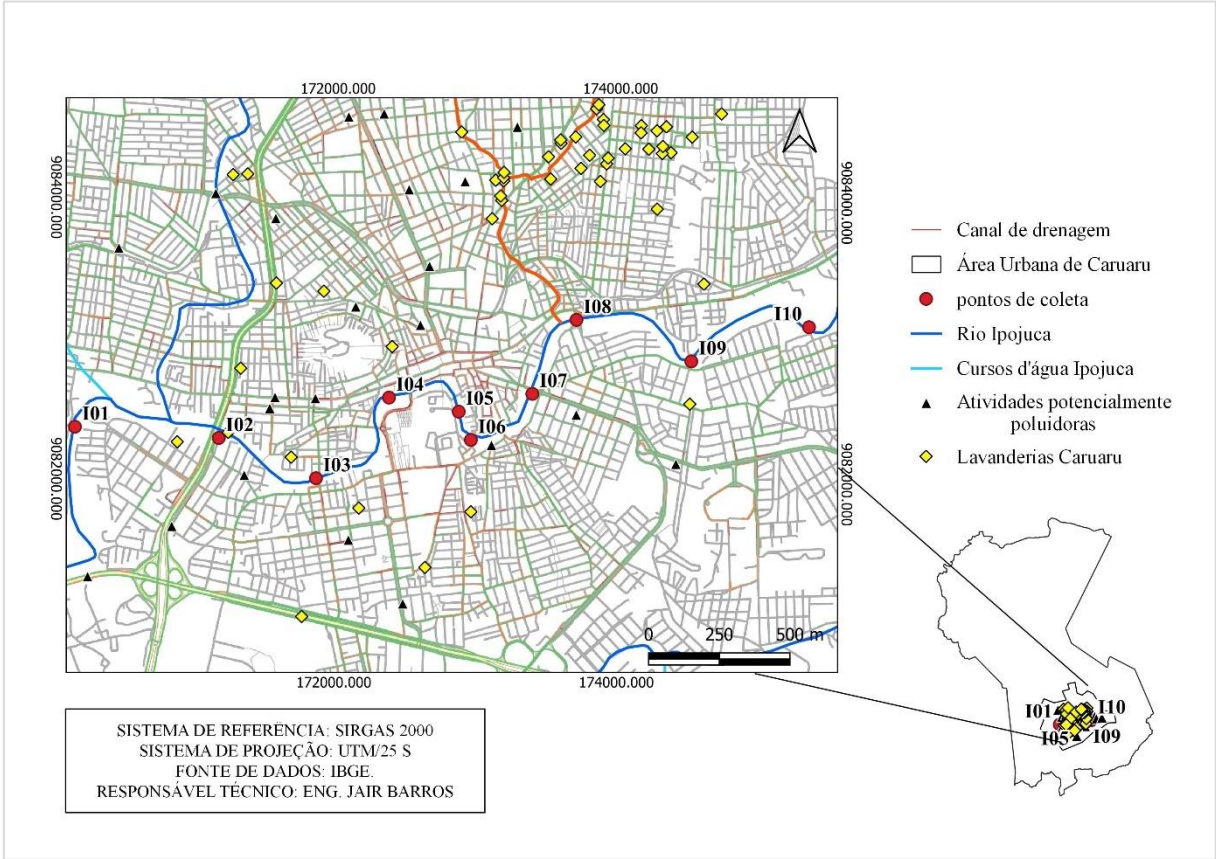


Fonte: Autor, 2023.

Para a coleta do material foram realizadas visitas de campo nos 10 pontos de monitoramento adquirindo assim as amostras. Os pontos de coleta foram escolhidos com base em análises anteriores, a fim de conseguir obter melhores resultados em termos de contaminação e evolução da concentração dos teores de metais pesados presente nos sedimentos durante o intervalo de tempo entre as análises. Os pontos foram definidos a partir de um zoneamento urbano, a fim de levantar as possíveis atividades, incluindo as lavanderias têxteis,

que podem influenciar na composição do sedimento, definindo assim um espaço amostral que englobe todo o trecho urbano do Ipojuca (figura 7). As amostras foram acondicionadas em sacos plásticos transparentes e etiquetados para sua identificação (imagem 1).

Figura 7- Zoneamento de atividades com potencial poluidor no perímetro urbano.



Fonte: Autor, 2023.

Figura 8- Coleta e identificação das amostras.



Fonte: Autor, 2023.

4.2.1 Preparo e análise das amostras de sedimentos

Todas as amostras foram preparadas, processadas e armazenadas no LAMTESA (Laboratório de Medicamentos, Tecnologias, Energias e Soluções Ambientais) da Universidade Federal Rural de Pernambuco. Todas as amostras passaram pelo o processo de secagem em estufa a uma temperatura de 60°C para secagem por 24 horas, sendo utilizado béqueres de 250 mL contendo o sedimento. Após a secagem as amostras foram submetidas a desagregação e homogeneização em almofariz de porcelana. Posteriormente as amostras foram peneiradas utilizando peneiras para análise granulométrica 90 mm/ μ m, obtendo assim apenas as partículas inferiores, sendo possível encontrar a maior quantidade de metais devido às suas características. Cerca de 10 gramas das amostras foram embaladas e identificadas com etiqueta adesivas (figura 9).

Figura 9- Preparo das amostras de sedimentos.



Fonte: Autor, 2023.

Todas as amostras preparadas no LAMTESA foram enviadas para análise no laboratório GEOSOL, sendo analisado as espécies químicas inorgânicas (incluindo os metais pesados), totalizando 37 (trinta e sete) elementos (Ag, Al, As, B, Ba, Be, Bi, Ca, Cd, Co, Cr, Cu, Fe, K, La, Li, Mg, Mn, Mo, Na, Ni, P, Pb, Sb, Sc, Se, Sn, Sr, Th, Ti, Tl, U, V, W, Y, Zn e Zr). Uma alíquota de 1,0g de cada amostra foi solubilizada com água-régia em placa aquecedora a 100°C por 12 horas. Posteriormente as amostras foram deixadas em repouso até atingirem temperatura ambiente. Ademais, as mesmas as foram filtradas, colocadas em balão volumétrico de 50 ml e o volume aferido com solução de HNO₃ 5%. As amostras após tais procedimentos foram analisadas pela técnica de espectrometria de emissão atômica com fonte de plasma indutivamente acoplado (ICP/AES).

4.3 Coleta, preparo e análise de amostras de solo

Considerando o solo como material de origem quanto a formação de sedimentos e sua influência na composição química, foram realizadas coletas do mesmo em áreas de influência do trecho analisado do rio Ipojuca (figura 10). Os locais de coleta foram selecionados buscando áreas com menor interferência antrópica possível, a fim de obter resultados quanto ao teor natural de metais no solo. Além das coletas de campo, também foram utilizados dados referentes a 10 amostras de solo disponíveis no Atlas geoquímico de Pernambuco. O preparo e análise das amostras seguiu o mesmo método aplicado para sedimentos. Diante dos resultados, foi possível comparar o teor de metais no solo com os dados de referência de qualidade

estabelecidos pelo CPRH e avaliar se houve influência deste, na presença de determinados metais.

Figura 10- Coleta e preparo do solo.



Fonte: Autor, 2023.

4.3.1 FE na avaliação quanto a origem dos metais

O Fator de enriquecimento foi umas das ferramentas utilizadas para avaliar o enriquecimento dos metais para o sedimento. O FE foi determinado utilizando como valores de referência a *Composition of the Continental Crust* e aplicando-os na fórmula descrita pela equação 1. Foi utilizado como elemento normalizador o Alumínio (Al), pois este seria a representação dos argilominerais, sendo o Al é predominante na composição natural dos sedimentos, podendo assim associar o transporte ao FE, uma vez que as partículas mais finas e leves, ou seja, os argilominerais, são facilmente carregados, enquanto as partículas maiores são mais pesadas e mais difíceis de serem transportadas, sendo essas pobres em alumínio (DAVIS; HOLLAND, 2005; NASCIMENTO et al. 2018). Quanto a escala usada para avaliar o grau de enriquecimento, foi utilizado os valores propostos por Sutherland (2000).

Quanto a toxicologia dos teores de metais encontrados, foram utilizados padrões de qualidade internacional estabelecidos pela USEPA, em seus valores de *Effect Range Low-ERL* que corresponde ao valor mínimo ou menor concentração de um metal para que se tenha um efeito tóxico baixo e o *Effect Range Medium-ERM*, que corresponde à faixa de valores onde se observam efeitos tóxicos muito elevados. Além dos dados supracitados, considerando a dragagem do material, também foram adicionados como dados de referência o teores de qualidade para destinação de material dragado estabelecidos pela CONAMA 454/12, como pode ser observado na tabela 3.

Tabela 3- Padrões de qualidade para sedimentos.

Metais	USEPA		CONAMA 454/12	
	ERL (mg/kg)	ERM (mg/kg)	Nível 1 (mg/kg)	Nível 2 (mg/kg)
—				
Arsênio (As)	8,2	70	5,9	17
Cádmio (Cd)	1,2	9,6	0,6	3,5
Cromo (Cr)	81	370	37,3	90
Cobre (Cu)	34	270	35,7	197
Chumbo (Pb)	47	220	35	91,3
Mercúrio (Hg)	0,15	0,71	0,17	0,486
Níquel (Ni)	21	52	18	35,9
Prata (Ag)	1	3,7	-	-
Zinco (Zn)	150	410	123	315

Fonte: USEPA, 1998; CONAMA, 2012.

4.4 Interpretação dos resultados

A integração dos dados foi elaborada, através de uso da quimiometria, ou seja, com técnicas estatísticas multivariadas, utilizando programa apropriado para processamento dos dados e os mapas de situação dos isotores foram confeccionados por geoespacialização em programas específicos. O uso dessa ferramenta para análise multivariada de dados, tem como base sua capacidade de extrair máxima quantidade e relevância de informações dos dados químicos, o que possibilita correlacionar os dados avaliados de acordo com as variantes (RUSCHEL, 2017).

Como parte inerente a quimiometria, foi utilizado o HCA ou AAH-Análise de Agrupamentos Hierárquicos, como técnica de análise exploratória e multivariada. O princípio desta técnica consiste em agrupar os dados segundo sua similaridade, sendo este um método não supervisionado. Em conjunto com PCA, possui importância devido à redução na dimensionalidade dos dados, identificando as amostras que apresentam anomalias ou semelhanças em seu comportamento quando dentro de um conjunto. Em síntese, sua função principal, foi reunir amostras de forma que as pertencentes ao um mesmo grupo sejam semelhantes entre si (FERREIRA, 2015; RUSCHEL, 2017).

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 Teor de metais encontrados nos sedimentos superficiais

Foi avaliado o trecho urbano do rio Ipojuca que corta a cidade de Caruaru (figura 7), o transecto em questão sofre constantemente com os impactos causados pelo desenvolvimento das atividades antrópicas, entre elas vale destacar o lançamento de efluentes industriais, efluentes domésticos, resíduos sólidos e a água resultante da precipitação de chuvas que lavam o perímetro urbano e escoam para o corpo hídrico podendo carrear diversas substâncias. Ao analisar as amostras coletadas nos 10 pontos distintos ao longo do trecho estudado, foi possível identificar o comportamento geoquímico dos metais pesados no sedimento.

Dos 37 elementos analisados foi possível identificar a presença de 27 destes nos sedimentos da área avaliada, grande parte destes elementos apresentaram baixa concentração, principalmente quando comparado ao teor dos metais pesados, que são os elementos que em baixas concentrações podem causar efeitos tóxicos ao meio ambiente e a saúde humana, e que podem ser monitorados através do uso da legislação ambiental. Os metais em questão são o As, Cr, Cu, Ni, Pb e Zn, sendo todos estes elementos presentes na lista da ATDRS, que apresenta uma relação das substâncias que representam ameaça a saúde humana e ao meio ambiente, considerando sua toxicidade, potencial de exposição e frequência com o qual é encontrado.

Para avaliar a princípio a concentração e consequente qualidade dos sedimentos foi estabelecido como padrão de qualidade os valores determinados pela USEPA para ERL e ERM, além da resolução CONAMA 454/12 que determina e classifica os valores de Nível 1 (limiar abaixo do qual prevê-se baixa probabilidade de efeitos adversos à biota) e Nível 2 (limiar acima do qual prevê-se um provável efeito adverso à biota). E para avaliar o enriquecimento dos elementos foi calculado o FE, podendo ser constatado que há enriquecimento por metais nos pontos analisados.

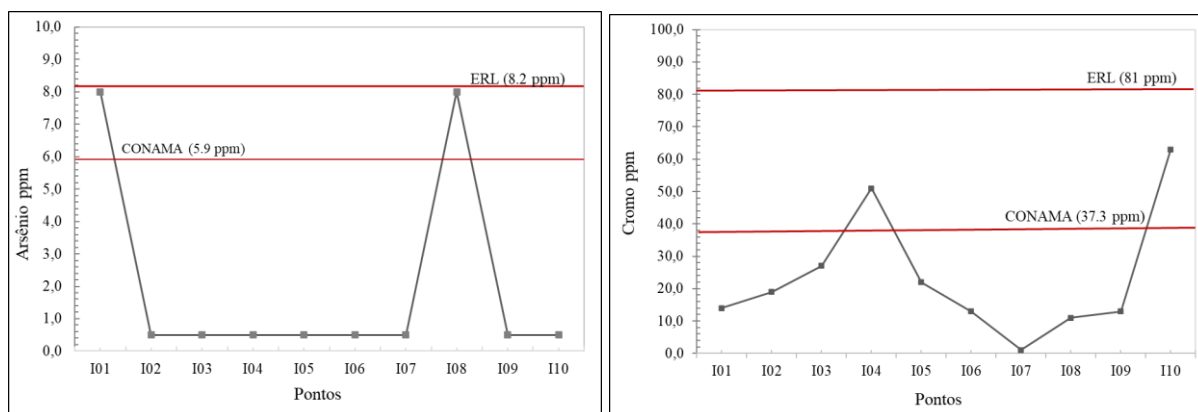
Dentre os pontos monitorados foi possível observar que o I04 apresentou elevadas concentrações para quase todos os metais pesados, com exceção apenas do As, o que levanta a questão de alto potencial toxicológico do sedimento nesse ponto, sendo que a concentração do Cu, Cr, Ni, Pb e Zn excederam os limites de qualidade estabelecido pelos órgãos ambientais em questão. O ponto I04 encontra-se em uma curva feito pelo rio Ipojuca (figura 7), onde há acúmulo de argila, essa fração que compõe o sedimento é mais propensa ao acúmulo de metais devido as suas características (porosidade e granulometria), o fluxo de escoamento da água nessa área não é turbulento favorecendo assim a precipitação dos metais, outro ponto é a influência de uma das maiores feiras livres da cidade, onde são realizados diversos tipos de

atividade e comercializado uma grande variedade de produtos, podendo ser um agente potencializador de contaminação neste ponto. Todos esses fatores podem estar contribuindo para o acúmulo excessivo destas substâncias.

O As foi encontrado em concentrações abaixo dos limites estabelecidos pela USEPA e CONAMA em oito dos 10 pontos amostrais, sendo que o ponto I01 e I08 apresentaram uma concentração de 8 mg/kg⁻¹, estando no limite de valor mínimo ou menor concentração de um metal para que se tenha um efeito tóxico baixo segundo o ERL e acima do Nível 1 estabelecido pela legislação nacional (figura 11), levantando assim uma probabilidade de causar algum efeito mínimo adverso à biota. O I08 sofre influência direta do despejo de efluentes indústrias têxteis e domésticos, podendo potencializar o teor desta substância.

Para o Cr, dois pontos apresentaram concentrações acima do limiar abaixo do qual prevê-se baixa probabilidade de efeitos adversos à biota, estabelecido pelo CONAMA, como pode ser observado na figura 11. O ponto I04 demonstrou uma concentração de 51 mg/kg⁻¹ excedendo o limiar mínimo em 14 mg/kg⁻¹, apresentando assim toxicidade baixa, principalmente quando comparado ao valor mínimo imposto pelo ERL. Para área de monitoramento I10 a concentração do metal também excedeu o mínimo estabelecido pela legislação nacional de 37,3 mg/kg⁻¹, com uma concentração de 63 mg/kg⁻¹. Embora a concentração nos dois pontos esteja abaixo dos padrões internacionais, segundo o estabelecido pelo CONAMA, os sedimentos nesses pontos já podem apresentar potencial tóxico a biota.

Figura 11- Concentração de As e Cr no trecho urbano do rio Ipojuca.



Fonte: Autor, 2023.

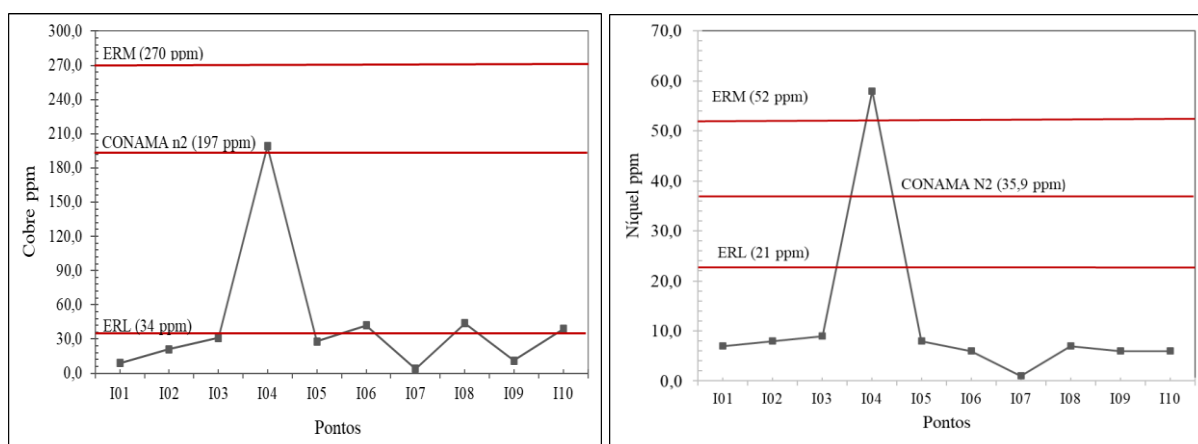
Zhuang et al (2021), investigou e explorou a qualidade ambiental a montante do rio Danjiang através da geoacumulação de metais e metaloides no compartimento geoquímico do rio. Entre os elementos analisados estavam o As, Cr, Cu, Ni, Pb e Zn, assim como nas análises feita para o rio Ipojuca todos os outros elementos, exceto o As, excederam em algum ponto os padrões de qualidade. Para o As foi possível rastrear sua fonte, estando ela associada as

atividades industriais, enquanto o Cr estava relacionado a composição natural, divergindo do caso Ipojuca, onde o elemento tem associação ao descarte de efluentes têxteis.

O Cu, dentre os metais pesados, foi o que mais apresentou concentrações acima da faixa de efeito baixo fixada pelo ERL, sendo observado nos pontos I06, I08 e I10, proporcionando um efeito tóxico mesmo que em menor proporção. O ponto I04 apresentou um limiar acima do N2 estabelecido pelo Conama, possuindo alto potencial de causar efeitos adversos a biota, com uma concentração de 199 mg/kg⁻¹, como pode ser observado na figura 12. Com uma considerável concentração ao longo do trecho avaliado, é necessário levantar um alerta quanto ao potencial de contaminação do Cobre, além de rastrear suas fontes de contribuição visando sua mitigação.

Já com relação ao Níquel a situação em termos de poluição e contaminação mostram-se mais brandas, como pode ser visto na figura 12, sendo o ponto I04 o único que apresentou estado crítico de concentração para o metal. Neste ponto o metal possui uma concentração alarmante de 58 mg/kg⁻¹, ultrapassando a faixa de efeito elevado (ERM) e o limiar N2, indicando que esse metal apresenta ameaça a biota do ponto analisado. Como já mencionado, o ponto em questão possui algumas características que podem potencializar o acúmulo de metais, todavia considerando que no espaço amostrado os níveis para o Ni estão baixos, é possível que haja contribuição pela atividade antrópica no I04.

Figura 12- Concentração de Cu e Ni no trecho urbano do rio Ipojuca.

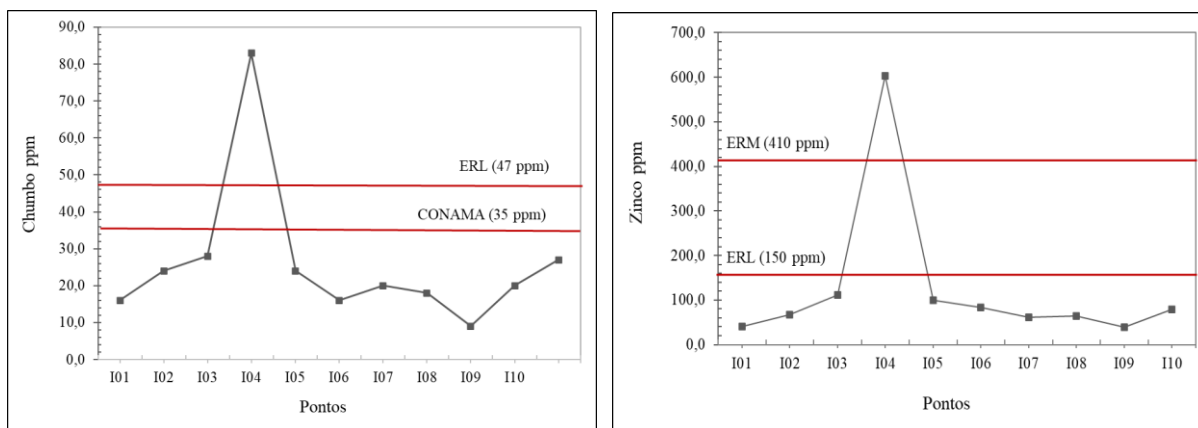


Fonte: Autor, 2023.

A presença de Pb e Zn também pôde ser constatado nas amostras de sedimentos, porém assim como o níquel os dois metais apresentaram concentração abaixo do limiar N1 e também abaixo do teor mínimo estabelecido pelo ERL em nove dos dez pontos amostrais. Apenas no ponto I04 o chumbo e o zinco apresentaram concentrações acima da faixa de efeito baixo e de efeito elevado (ERM) respectivamente, com teor de 83 mg/kg⁻¹ para Pb, oferecendo certo risco

ambiental em termos de toxicidade e 603 mg/kg para o Zn, como pode ser observado na figura 13, com elevado potencial de causar efeitos adversos a biota.

Figura 13- Concentração de Pb e Zn no trecho urbano do rio Ipojuca.



Fonte: Autor, 2023.

Ao longo das décadas as fontes de poluição para sedimentos foram sofrendo mudanças, de acordo com o panorama global, entre as décadas de 1970 e 1990 a principal fonte de metal em sedimentos originou-se através de atividades de mineração e da manufatura de produtos, já entre o período de 2000 a 2010 a principal fonte era resultado do descarte de lixo doméstico. Isso sugere que as fontes metálicas mudaram das atividades iniciais de produção para a descarga secundária de resíduos contaminados com metais ao longo do tempo (NIU et al. 2021).

A fonte variou tanto em função do tempo quanto a região geográfica, como por exemplo na América do Norte as principais fontes foram de mineração e manufatura, enquanto a Europa foi o descarte inadequado de resíduos (NIU et al. 2021). Este fato é notado para o estudo em questão, onde as principais fontes de poluição são os despejos no rio ipojuca de resíduos sem tratamento adequado. Ao analisar o mapa unifilar (figura 5), através das estações de amostragem da rede de monitoramento da Bacia do Ipojuca, foi possível identificar algumas atividades com potencial poluidor e que contribuem com a composição metálica do compartimento geoquímico do corpo hídrico, na região de Caruaru por exemplo tem-se a presença do distrito industrial, polo têxtil e curtumes.

Os valores médios dos metais pesados ficaram abaixo do limiar mínimo tanto para o Conama quanto para os valores de ERL e ERM, com exceção do cobre e zinco que apresentaram um valor médio de $42,80 \text{ mg/kg}^{-1}$ e $124,80 \text{ mg/kg}^{-1}$ respectivamente, mostrando uma certa excedência com relação a concentração mínima estabelecida pelos órgãos ambientais para que já apresente algum efeito tóxico (tabela 4). Grande parte dos demais elementos analisados

apresentaram concentrações médias baixas, porém alguns tiveram concentração um pouco acima de alguns metais, como o Ba e Sr. Relacionado a efeito tóxico, há uma determinada ausência de valores de referência para os demais metais, dificultando a avaliação para toxicidade.

Através da aplicação do desvio padrão foi possível observar a homogeneidade na distribuição das amostras do transecto analisado, indicando assim o quão uniforme está o conjunto de dados, ou seja, quanto maior o desvio padrão, o conjunto de dados está mais distante da média Tabela 4. Os metais pesados apresentaram uma dispersão alta, variando significativamente o teor das amostras, sendo o Pb o de menor dispersão, com um coeficiente de variação de 76%. Para os demais elementos que apresentaram maior grau de variação no conjunto de dados, ou seja, a concentração dessas substâncias foi mais heterogenia ao longo do trecho onde os sedimentos foram analisados, tem-se respectivamente o Mo, Zr, Ca, Sr, Ba, Be, Co e Mg.

Tabela 4- Concentração média, valor máximo e desvio padrão para os metais presentes nas amostras de sedimentos do trecho urbano do rio Ipojuca em Caruaru-PE.

	Al	Ca	Fe	K	Mg	Mn	La
			mg.kg⁻¹				
Média	0,97	0,37	1,63	0,21	0,18	0,02	39
Valor Máximo	2,06	1,23	3,01	0,36	0,47	0,04	84
Valor Mínimo	0,42	0,16	0,97	0,11	0,09	0,01	12,00
Desvio Padrão	0,48	0,29	0,71	0,07	0,11	0,01	21,54
	Na	P	Ti	Ba	Be	Co	Li
			mg.kg⁻¹				
Média	0,05	0,10	0,06	160,50	0,75	3,50	11,40
Valor Máximo	0,11	0,47	0,09	467,00	2,00	8,00	21
Valor Mínimo	0,02	0,03	0,03	73,00	0,50	1,50	5,00
Desvio Padrão	0,03	0,13	0,02	110,11	0,46	2,13	5,89
	Mo	Sr	Th	V	Y	Zr	Sc
			mg.kg⁻¹				
Média	0,85	30,60	9,20	17,10	8,10	2,11	1,80
Valor Máximo	4	94	18	43	19	5	3,00
Valor Mínimo	0,50	17,00	5,00	9,00	3,00	0,50	1,50
Desvio Padrão	1,05	21,42	4,60	9,85	4,46	1,78	0,60
	As	Cr	Cu	Ni	Pb	Zn	-
			mg.kg⁻¹				
Média	2,00	23,40	42,80	11,60	25,8	124,80	-

Valor Máximo	8,00	63,00	199	58,00	83,0	603,00	-
Desvio Padrão	3,00	18,23	53,77	15,60	19,7	160,87	-
Valor Mínimo	0,50	1,00	4,00	1,00	9,00	39,00	
ERL	8,2	81	34	21	47	150	-
ERM	70	370	270	52	220	410	-
CONAMA N1	5,9	37,7	35,7	18	35	123	-
CONAMA N2	17	90	197	35,9	91,3	315	-

Fonte: Autor, 2023.

5.2 Qualidade do solo em termos de poluição e contaminação de metais pesados

Os principais elementos que constituem os sedimentos são o solo e a decomposição de rochas ou material de origem, exercendo influência direta nos componentes presente neste compartimento. Com base nesse princípio foi realizada análise de amostras de solo na área de influência do rio Ipojuca, a fim de conhecer sua composição geoquímica e avaliar se há algum tipo de poluição ou contaminação e posteriormente ver a relação de contribuição do solo local na distribuição dos metais no sedimento. Na tabela 5 é possível observar a concentração média encontrada dos elementos analisados. Com a finalidade de averiguar a qualidade do solo em termos de poluição e contaminação, os teores encontrados foram comparados ao VRQ e VP estabelecido pelo CPRH nº07/2014 e CONOMA nº 420/2009 respectivamente.

Tabela 5- Concentração média, máxima, desvio padrão, VRQ e VP para solos e sedimentos.

	Al	Ca	Fe	K	Mg	Mn	La
	Mg/kg⁻¹						
Média	1,60	0,54	2,61	0,46	0,38	0,07	86,00
Máximo	1,66	0,76	3,66	0,54	0,40	0,08	111,00
Desv. P.	0,06	0,225	1,05	0,085	0,02	0,015	25
CMS	0,97	0,37	1,63	0,21	0,18	0,02	39
	Na	P	Ti	Ba	Be	Co	Li
	Mg/kg⁻¹						
Média	0,18	0,17	0,11	445,50	2,00	12,00	14,00
Máximo	0,32	0,26	0,15	701,00	2,00	17,00	15,00
Desv. P.	0,145	0,09	0,045	255,5	0	5	1
CMS	0,05	0,10	0,06	160,50	0,75	3,50	11,40
	Mo	Sr	Th	V	Y	Zr	Sc

	Mg/kg⁻¹						
Média	0,50	33,00	9,00	38,00	27,00	3,50	5,50
Máximo	0,50	39,00	13,00	48,00	41,00	5,00	7,00
Desv. P.	0	6	4	10	14	1,5	1,5
CMS	0,85	30,60	9,20	17,10	8,10	2,11	1,80
	As	Cr	Cu	Ni	Pb	Zn	-
	Mg/kg⁻¹						
Média	0,50	13,00	14,00	8,00	19,50	61,00	-
Máximo	0,50	22,00	15,00	10,00	27,00	74,00	-
Desv. P.	0	9	1	2	7,5	13	-
VRQ	0,60	35,00	5,00	9,00	13,00	35,00	-
VP	15,00	75,00	60,00	30,00	72,00	300,00	-

*VRQ – Valor de Referência de qualidade; *VP – Valor de Prevenção; *CMS – Concentração Média no Sedimentos

Fonte: Autor, 2023.

Através dos dados fornecidos pela legislação, foi possível investigar a qualidade do solo em função de sete elementos, sendo eles: Ba, As, Cr, Cu, Ni, Pb, Zn. Todos os elementos, com exceção do Ba, apresentaram concentração média abaixo do VP (tabela 5), não oferecendo risco de ocorrer alterações da qualidade do solo quanto às suas funções principais e disciplinar a introdução de substâncias químicas no mesmo. Já em relação ao VRQ, a concentração média Ba, Cu, Pb, Zn excederam as concentrações indicando que este solo não tem qualidade para ser considerado limpo quanto a ser utilizado em ações de prevenção da poluição do solo, das águas subterrâneas e no controle de áreas contaminadas. Todavia as amostras de solo não apresentam índice de contaminação por metais pesados nem alteração da sua qualidade.

5.3 Fator de enriquecimento aplicado aos metais nos sedimentos

O FE é um índice amplamente utilizado como uma ferramenta na avaliação da extensão da poluição dos metais pesados, por meio dele é possível expressar a relação entre a abundância do elemento de interesse e um elemento de referência, sem origem antrópica significativa (AMORIM, 2012; PRESTON et al. 2013). Considerando a influência de fontes exógenas na composição metálica do sedimento foi aplicado o uso desta ferramenta para os metais pesados com maior potencial tóxico, considerando ainda os teores encontrados. O FE foi determinado para os metais As, Cr, Cu, Ni, Pb e Zn, a fim de estabelecer uma diferença entre os metais que estão ocorrendo de origem natural e os advindos de fontes exógenas, como atividade antrópica.

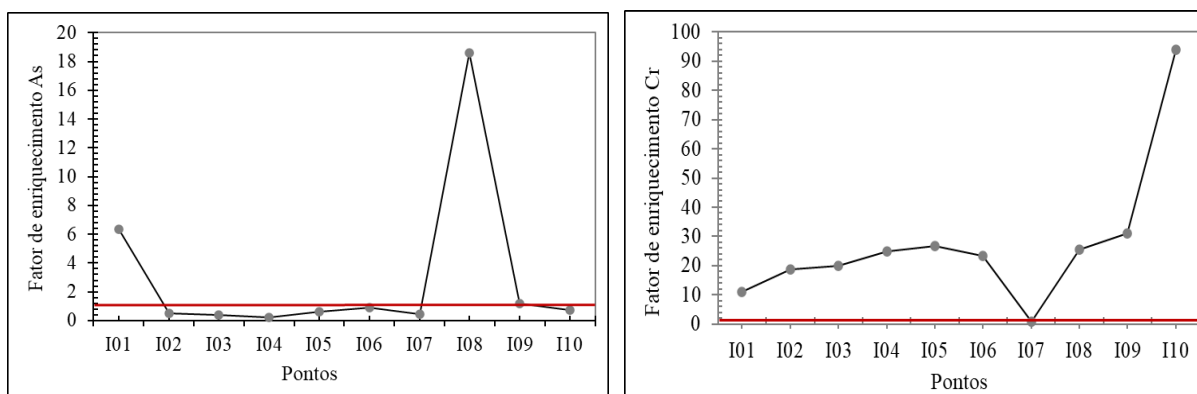
O Fator de enriquecimento encontrado acima de 1, ou seja, $FE > 1$ é um informativo de baixo enriquecimento pelo elemento em questão, ou seja, é um indicativo de que parte da contribuição para o teor do metal nos sedimentos esteja ocorrendo de material não-crustais, de forma que as atividades antrópicas podem estar contribuindo de forma relevante na deposição de metais (SUTHERLAND, 2000; FENG et al., 2004). Para um bom indicativo de que não há contribuição externa na geoquímica do sedimento o Fe deve ser inferior a 1.

Para o As, os resultados obtidos mostraram que houve enriquecimento significativo no ponto I04, com o $FE > 5$ e no ponto I08 variando na faixa de FE entre 5 e 20, apresentando também enriquecimento significativo para o metal, como pode ser observado na figura 14. Os demais pontos mantiveram-se na faixa de depleção, ou seja, a contribuição de arsênio nos demais pontos, de acordo com a análise pelo fator, advém de fontes naturais seja por contribuição do solo, que apresenta média baixa de As como pode ser visto na tabela 5, ou da decomposição das rochas. Com um enriquecimento significativo observado nos dois pontos supracitados, fica evidente a contribuição antrópica para o aumento nas concentrações no sedimento. Segundo Andrade e Rocha (2016) o elemento pode chegar ao curso d'água através da mineração, uso de agrotóxicos, combustão de carvão ou madeira e queima de resíduos urbanos.

Os resultados obtidos para o Cromo quanto a aplicação do FE, foram alarmantes, onde apenas o ponto I07 apresentou faixa de depleção. Para os pontos I04, I05, I06, I08, I09 e I10 o enriquecimento variou de alto para extremamente alto, com um mínimo de $FE = 23$ no ponto I06 e máxima de $FE = 94$ no I10 (figura 14). Isso implica que as fontes de Cr se originam de forma exógena, ou seja, não está ocorrendo de forma natural. Todavia a sua concentração nos sedimentos ainda não é tão crítica, pois apenas dois pontos amostrais excederam o valor mínimo estabelecido pelo ERL, porém com o lançamento contínuo de efluentes e outros resíduos esses teores podem aumentar oferecendo risco ambiental.

Uma Possível fonte de cromo, são efluentes gerados por curtumes, nas etapas do processo de beneficiamento do couro existe o curtimento mineral, que é feito à base de cromo (sulfato básico de cromo trivalente), método este amplamente utilizado devido as vantagens econômicas que apresenta, como: curto tempo de processo de curtimento e qualidade final do produto (RODRIGUES; SOUZA; SOUSA, 2010). Em Caruaru, existe empresas de curtimento de couro, como pode ser visto no mapa unifilar da figura 5, que possivelmente contribuem para a concentração de cromo no rio Ipojuca.

Figura 14- Fator de Enriquecimento dos elementos As, Cr.



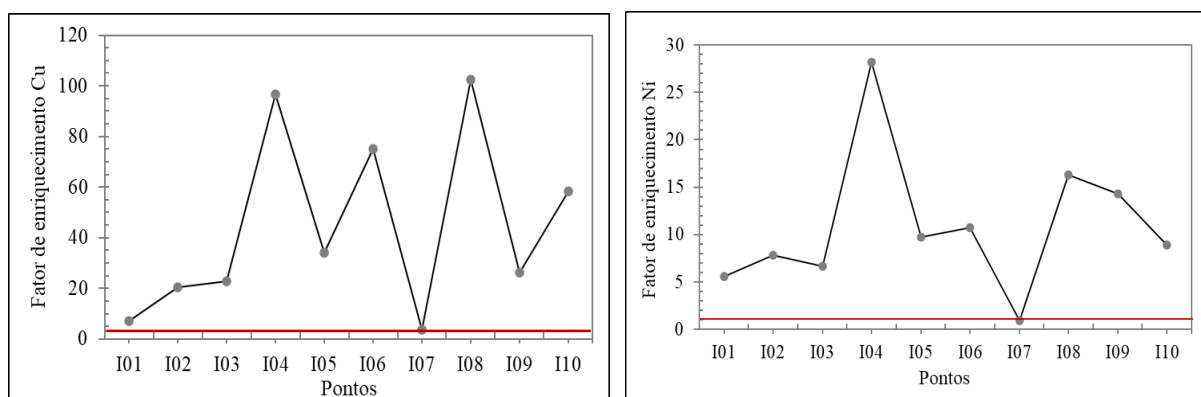
Fonte: Autor, 2023.

O cobre, em termos de toxicidade apresentou concentração média com certo potencial tóxico e parte considerável dos pontos amostrados estavam acima do limiar mínimo para fins de causar efeito tóxico aos organismos. Quando aplicado a ferramenta do fator, foi constatado um enriquecimento variando de alto para extremamente alto em 8 dos pontos analisados (figura 15), com FE= 21 para I02 e FE=102 para o I08, sendo ainda que o restante das amostras também apresentou um enriquecimento variando de moderado a significativa. Ou seja, há contribuição externa para o teor de Cu nos sedimentos do rio Ipojuca e essa concentração já apresenta traços de contaminação.

Diversas fontes antrópicas podem estar contribuindo com o lançamento de cargas de efluente e resíduos sólidos ricos em cobre. Dentre estas, indústrias metalúrgicas, mineração, queima e descarte de resíduos sólidos urbanos (CETESB, 2022) estão entre as atividades exógenas com capacidade de atuar como agente potencializador da poluição por Cu. Dentre as atividades antrópicas, considerando o seu polo e potencial poluidor, os resíduos e efluentes têxteis também são um grande potencializador para a poluição, de acordo com Cogo (2011) na sua composição podem conter metais pesados, entre eles Cu, Cr, Ni e Pb, proveniente dos corantes.

Os resultados obtidos para o Níquel assim como o Cu, apresentou alto índice para enriquecimento nos sedimentos, variando de significativa a muito alto para 9 dos pontos amostrais, com exceção apenas do ponto I07, que não apresentou FE>1 (figura 15). O teor de Ni nos sedimentos estão dispostos em concentrações menores que os demais metais pesados, todavia é possível notar que a origem do mesmo no compartimento geoquímico não ocorre apenas de origem natural, mas também por meio de atividades externas.

Figura 15- Fator de Enriquecimento dos elementos Cu e Ní.

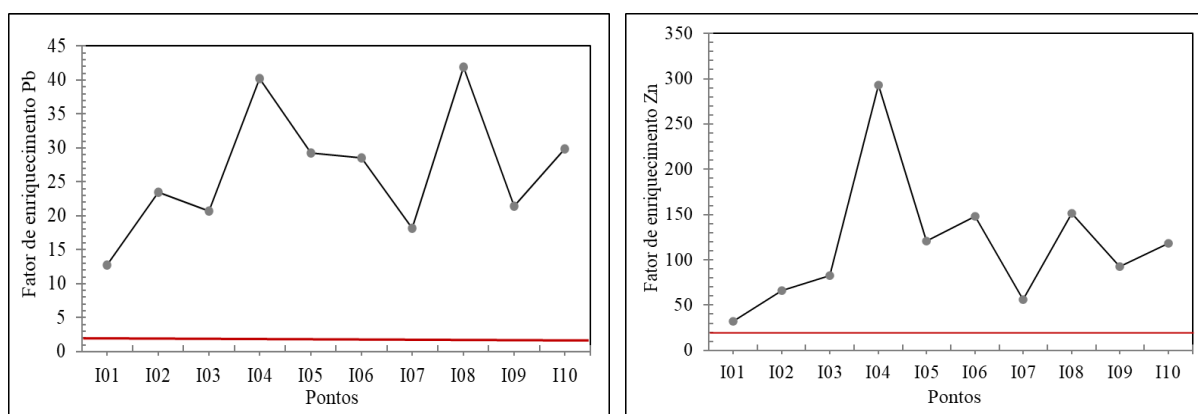


Fonte: Autor, 2023.

Os elementos chumbo e o zinco também apresentaram concentração no Ipojuca, enriquecido por fonte externas. O Pb variou de enriquecimento significativo a extremamente alto ao longo do transecto, com um valor mínimo de FE = 13 e um máximo de FE = 42. O Zn assim como o Ni e Cu, demonstrou alta relevância quanto a contribuição externa ou antrópica para sua disposição no sedimento. A faixa de enriquecimento do mesmo foi de muito alto para extremamente alto, chegando a um valor de FE > 40. Em termos de contaminação o chumbo e o zinco apresentaram pelo menos um ponto crítico ao longo do trecho urbano do rio.

Além da contribuição natural, os teores dos metais ao longo do trecho de caruaru, sofrem interferência direta das atividades antrópicas, principalmente o despejo de efluentes industriais, que devido as elevadas cargas de substâncias nocivas à saúde ambiental e consequente complexidade química, funcionam como agente potencializador para a poluição e contaminação do recurso hídrico. Com a avaliação do efeito tóxico, usando como base as diretrizes nacionais e a legislação ambiental vigente, e o uso do fator de enriquecimento, foi possível observar que dentre os metais o Cu foi o elemento de maior relevância, apresentando efeito tóxico e enriquecimento majoritariamente ocorrendo de fontes antrópicas.

Figura 16- Fator de Enriquecimento dos elementos.



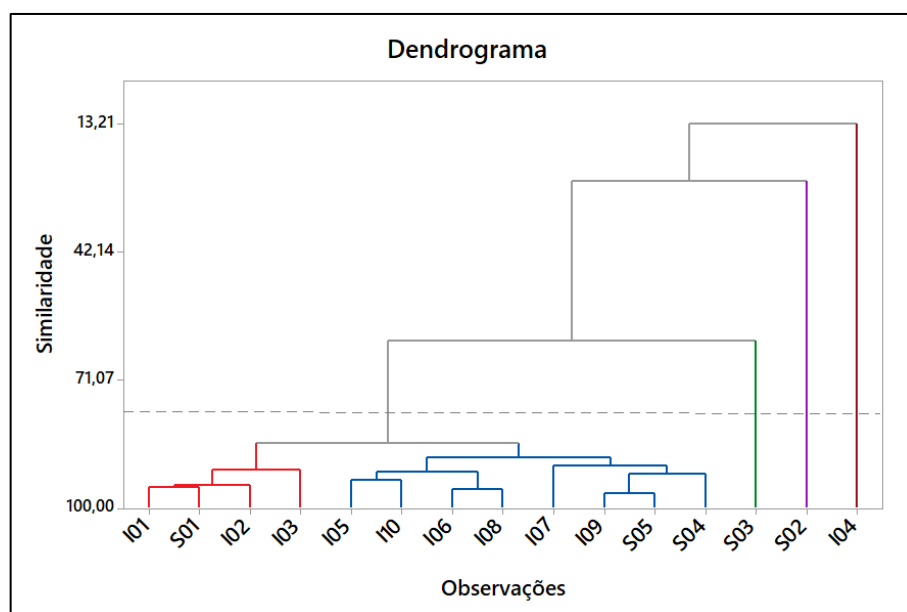
Fonte: Autor, 2023.

5.4 Análise integrada dos dados

A interpretação conjunta dos dados deste trabalho se baseou nas respostas do método estatístico multivariado Análise de Agrupamentos Hierárquicos (AAH), uma vez que o dendrograma consiste em uma representação gráfica em formato de árvore, ilustrando a disposição das séries de dados em grupos baseada em sua similaridade ou distância euclidiana. Neste trabalho, como o objetivo foi a comparação das análises químicas dos solos e dos sedimentos próximos ao trecho urbano do rio Ipojuca em Caruaru, um dendrograma foi usado para mostrar a relação ou similaridade entre diferentes amostras baseado em suas características químicas.

A figura 17 mostra o gráfico de AAH resultante das amostras coletadas de solos e sedimentos no entorno do rio Ipojuca, evidenciando em cada agrupamento a sua tendência de relação geoquímica. Assim, no sentido de montante para jusante, observa-se que as amostras I01, I02 e I03 de sedimentos possuem influência (relação) com a amostras de solo S01. A referida amostra de solo foi coletada em uma área com reconhecida atividade agrícola, mas que recentemente está sob ações de terraplenagem, e isso sugere que o transporte deste material da superfície influenciou a composição do rio Ipojuca nos pontos I01, I02 até o ponto I03.

Figura 17- Dendrograma para as amostras de solos e sedimentos.



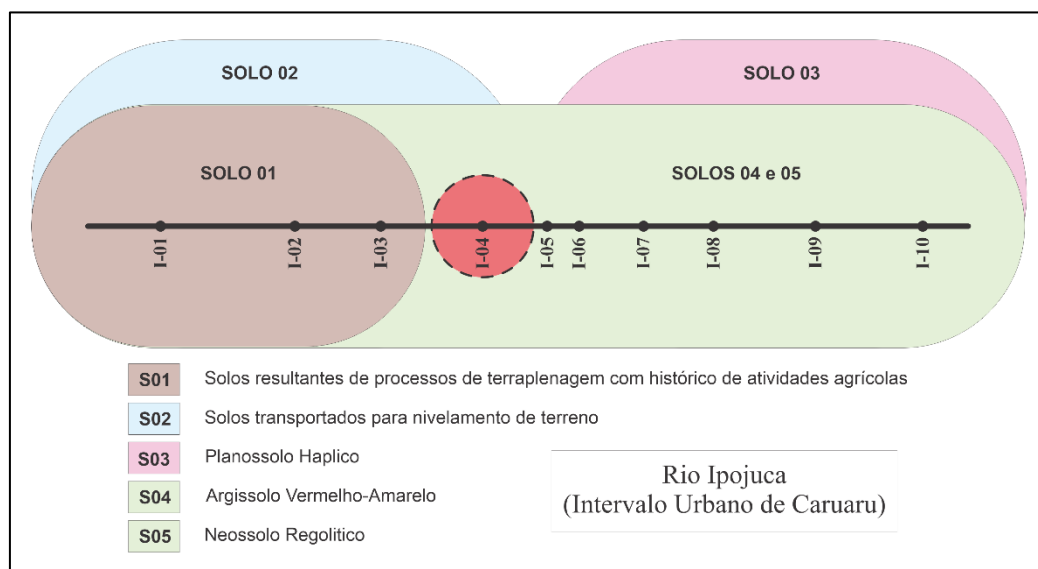
Fonte: Autor, 2023.

Seguindo o sentido do rio, mas não o sentido do dendrograma da figura 17, observa-se que amostra I04 possui agrupamento completamente distinto as outras amostras. Em campo, foi possível observar que o ponto I04 está localizado em uma região próxima a muitas residências que estão à margem do rio Ipojuca, sofrendo influência de esgotos sem tratamento e resíduos sólidos e líquidos diversos proveniente da densa ocupação urbana local. Além de ser observado que o ponto I04 está uma região de sombra do rio Ipojuca, ou seja, com grande curvatura em seu curso, é possível que tal característica possa ter acumulado material fino em seus sedimentos como argilominerais, e por consequência, tenha acumulado em demasia metais pesados e outras partículas pelo rio.

O outro agrupamento observado no dendrograma contém as demais amostras de sedimento (I05, I06, I07, I08, I09 e I10) juntamente com as amostras de solo S04 e S05. Esse comportamento sugere que a composição dos sedimentos do rio Ipojuca de forma geral recebe influência direta dos solos analisados S04 e S05. É possível sugerir também, que as demais amostras de sedimento já interpretadas (S01, S02, S03 e S04) uma vez já foram formados sofrendo a influência do transporte dos solos S04 e S05, mas que, após as atividades de terraplanagem, os solos I01, I02 e I03 receberam novas contribuições do solo S01. Bem como a amostra I04 que por condições geográficas do rio, teve sua composição alterada pelo acúmulo de material de fontes difusas e diferentes em relação aos solos locais. Finalizando a interpretação do dendrograma, observa-se que as amostras de solo S02 e S03, também não possuem agrupamento com as amostras de sedimento, sugerindo que mesmo compondo a

composição pedológica local, possuem baixa ou praticamente nenhuma influência em relação ao conteúdo das amostras de sedimento do rio Ipojuca.

Figura 18- Diagrama de influência dos solos na composição dos sedimentos baseado na AAH.



Fonte: Autor, 2023.

A figura 18 mostra de forma lúdica a área de atuação dos solos na composição química dos sedimentos, destacando que a idade de tais eventos, de acordo com a interpretação da AAH, é que os sedimentos I01, I02 e I03, sejam mais recentes, uma vez que as obras de terraplanagem estão em pleno curso durante a época da coleta dessas amostras.

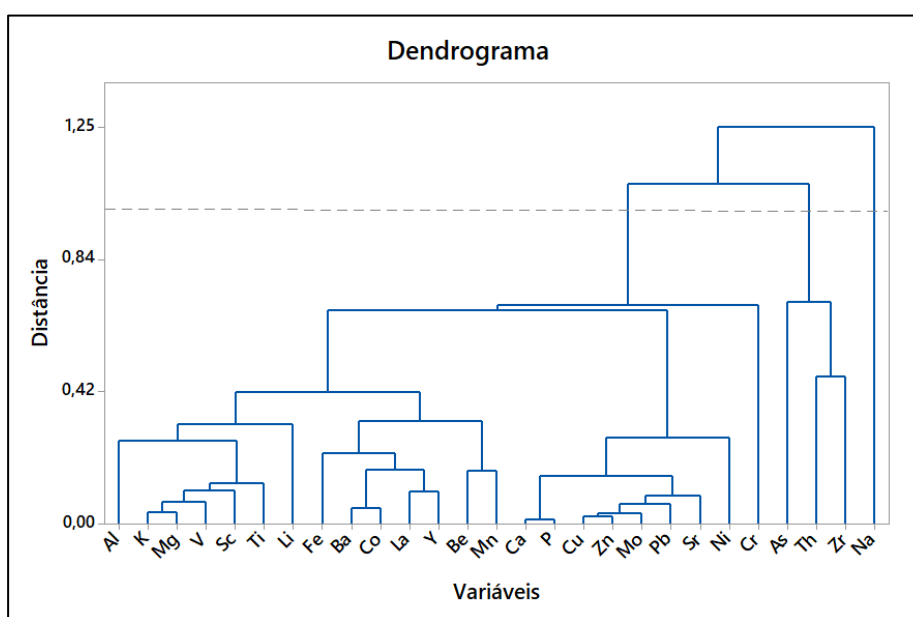
Da mesma forma, o outro dendrograma, desta vez confeccionado com as variáveis analisadas, mostrou a forte dependência do método multivariado com os elevados teores apresentados pela amostra I04 de sedimento do rio Ipojuca. Embora se observe que existam agrupamentos que foram influenciados pelos altos teores de elementos presentes no solo S03 e no sedimento I04, não significando que exista influência direta, mas que seja resultante da elevada concentração em relação aos demais pontos analisados. O mesmo se observa para o ferro e o seu agrupamento, que se encontra relacionado com Ba, Co, La, Y, Be e Mn, que são simultaneamente enriquecidos nos solos mais distantes do rio Ipojuca e no ponto I04.

Observa-se também que a relação entre o Ca e o P é evidenciado devido à presença elevada desses dois elementos na amostra I04 e no solo S02, que, na mesma situação do solo S03, não possui influência na formação dos sedimentos, mas que por estar mais enriquecido, apresenta-se semelhante ao ponto I04. Para os elementos e metais pesados (Cu, Zn, Mo, Pb, Sr e Ni), esse agrupamento está diretamente relacionado ao ponto I04, unicamente. Isso reforça que existe maior preocupação quanto a qualidade dos sedimentos neste ponto, e que, ações de

despoluição como dragagens, precisam ter cuidado elevado quanto à disposição deste material retirado do leito do rio, sendo recomendado que não se utilize como substrato para fins agrícolas ou outra finalidade, sem o devido estudo e quantificação de sua carga tóxica.

O cromo apresenta-se de certa forma desconectado deste agrupamento dos metais pesados, pelo fato de que existem amostras de solo ricas em cromo, possivelmente de origem geológica. Ainda se observa que, os elementos Th, Zr e Na, podem ser atribuídos a estes como sendo de origem pedológica na condição de transporte para os sedimentos, uma vez que apresentam teores mais elevados nos solos. Por fim, o As que ora se apresenta mais elevado no solo S01, ora na amostra I08, o agrupamento deste elemento apresenta-se descaracterizado dos demais grupos do dendrograma, provavelmente devido à ausência de estudos contínuos de contribuição do solo para os sedimentos.

Figura 19- Dendrograma das variáveis analisadas



Fonte: Autor, 2023.

6 CONCLUSÃO

O trecho do rio Ipojuca avaliado, apresentou índices de poluição por metais pesados de acordo com as análises químicas. Todos os metais pesados (As, Cr, Cu, Ni, Pb, Zn) excederam os limites de qualidade, estabelecidos pela USEPA e CONAMA, em pelo menos um dos pontos amostrados. O Cu em termos de concentração e toxicidade foi elemento de maior destaque, sua concentração média está acima do limite baixo para que haja efeito tóxico nos organismos, podendo esse efeito tóxico ser observado em pelo menos quatro dos pontos amostrais do trecho urbano do rio em Caruaru. O Zn também apresentou uma concentração média acima do limiar mínimo estabelecido pelo órgão ambiental, porém sua distribuição ao longo do transecto foi menos relevante quando comparado ao Cu.

O ponto I04 apresenta índices alarmantes de contaminação para todos os metais pesados necessitando de mitigação na forma de dragagem e disposição final adequada, pois encontra-se extremamente enriquecido por metais. O uso do fator de enriquecimento demonstrou que nos sedimentos do rio Ipojuca, há contribuição de origem antrópica, além disso foi constatado através do zoneamento e rastreamento quanto a origem das espécies químicas, que o polo têxtil não é o único contribuinte para poluição por espécies inorgânicas, mais dada sua dimensão é um agente potencializador para contaminação. Todos os metais pesados apresentaram um coeficiente de variação elevada, ou seja, as concentrações ao longo dos sedimentos do rio são heterogêneas.

Através da análise integrada dos dados observou-se que existe relação solo/sedimento no que diz respeito a contribuição geoquímica do solo na composição do compartimento geoquímico do rio, ou seja, os solos da região contribuem diretamente na distribuição das espécies químicas no sedimento, principalmente em pontos que o solo sofre interferência antrópica. Por fim, é notório que há necessidade de melhor gestão e gerenciamento dos resíduos sólidos e dos efluentes, por parte do poder público visando causar menores impactos ao Ipojuca, além do mais é necessário estabelecer critérios quanto aos níveis e toxicidade para os demais metais, pois há um déficit de informações por parte dos órgãos de regulação e fiscalização.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

APAC - Agência Pernambucana De Águas e Clima-. **Bacias Hidrográficas-Rio Ipojuca**. Recife-PE. Disponível em: http://old.apac.pe.gov.br/pagina.php?page_id=5&subpage_id=17. Acesso em: 02 jul. 2021.

AGRESTETEX. **Confecção de jeans: o panorama atual no Brasil**, 2022. Disponível em: <https://agrestetex.com.br/confeccao-de-jeans-confira-o-panorama-atual-no-brasil/>. Acesso em: 24 mar. 2022.

AGRESTETEX. **Conheça o mercado de confecções do agreste pernambucano**, 2021. Disponível em: <https://agrestetex.com.br/confeccao-de-jeans-confira-o-panorama-atual-no-brasil/>. Acesso em: 24 mar. 2022.

AKHTAR, M. F.; ASHRAF M.; JAVEED A.; ANJUM A. A.; SHARIF A.; SALEEM M.; MUSTAFA G.; ASHRAF M.; SALEEM A.; AKHTAR B. Association of textile industry effluent with mutagenicity and its toxic health implications upon acute and sub-chronic exposure. **Environmental monitoring and assessment**, v. 190, p. 1-13, 2018. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s10661-018-6569-7>. Acesso em: 01 mai. 2023.

ALLEONI, L. R. F.; PEREZ D. V.; JÚNIOR J. M.; MELLLO J. W. V. Definição dos valores orientadores de metais pesados em solos. 2009. Disponível em: <https://www.alice.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/980641/1/artigodaniel.pdf>. Acesso em: 25 mai. 2023.

ALVES, J. R. S.; DE LIMA, A. F. REMEDIAÇÃO DE EFLUENTE INDUSTRIAL EM LAVANDERIAS DO POLO TÊXTIL NO AGRESTE PERNAMBUCANO. **International Journal of Management-PDVG**, v. 2, n. 1, 2022.

AMORIM, E. P. **Avaliação da concentração de metais e outros elementos de interesse em amostras de sedimentos dos estuários de Santos/São Vicente e Cananéia, Estado de São Paulo, Brasil**. 2012. Tese de Doutorado, 350 fl. Universidade de São Paulo-USP.

ANDRADE, D. F.; ROCHA, M. S. A toxicidade do arsênio e sua natureza. **Revista Acadêmica Oswaldo Cruz**. Ano, v. 3, p. 102-111, 2016. Disponível em: http://www.revista.oswaldocruz.br/Content/pdf/Edicao_10_Andrade_Daiene_Flor.pdf. Acesso em: 01 mai. 2023.

ANDRADE, M. L. A. de; CUNHA, L. M. da S.; GANDRA, G. T.; RIBEIRO C. C. Níquel: novos parâmetros de desenvolvimento. 2000. Disponível em: <https://web.bndes.gov.br/bib/jspui/handle/1408/16922>. Acesso: 20 mai. 2023.

ANDREAZZA, R.; CAMARGO F. A. de O.; ANTONIOLLI Z. I.; QUADRO M. S.; BARCELOS A. A. Biorremediação de áreas contaminadas com cobre. **Revista de ciências agrárias**, v. 36, n. 2, p. 127-136, 2013. Disponível em: <https://revistas.rcaap.pt/rca/article/view/16290/13248>. Acesso em: 20 mai. 2023.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS-ABNT. **NBR 9800**: Critérios para lançamento de efluentes líquidos industriais no sistema coletor público de esgoto sanitário. Rio de Janeiro, 1987.

ATSDR - Agency for Toxic Substances and Disease Registry. **ATSDR's Substance Priority List**, 2022. Disponível em: <https://www.atsdr.cdc.gov/spl/index.html>. Acesso em: 16 mai. 2021.

BALBINOTI, J. R.; BALBINOTI, T. C. V.; DE ARAÚJO, J. H. B. Monitoramento e quimiometria da emissão de monóxido de carbono veicular no município de Campo Mourão/PR. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 10, n. 03, p. 666-673, 2017.

BELTRÃO, B. A.; MASCARENHAS J. de C.; JUNIOR L. C. de S.; GALVÃO M. J. da T. G.; PEREIRA S. N. **Projeto cadastro de fontes de abastecimento por água subterrânea: estado de Pernambuco: diagnóstico do município de Caruaru**. CPRM, 2005. Disponível em: https://rigeo.cprm.gov.br/xmlui/bitstream/handle/doc/15833/Rel_Caruaru.pdf?sequence=1&isAllowed=y. Acesso em: 02 jul. 2021.

BIONDI, C. M. Teores naturais de metais pesados nos solos de referência do estado de Pernambuco. Tese de Doutorado, 70 p. **Recife: Universidade Federal Rural de Pernambuco**, 2010.

BOTLE, A., SALGAONKAR, S., TIWARI, R. et al. Breve situação da contaminação das águas superficiais dos rios da Índia por metais pesados: uma revisão com índices de poluição e avaliação de riscos à saúde. *Environ Geochem Health* 45, 2779–2801 (2023). <https://doi-org.ez19.periodicos.capes.gov.br/10.1007/s10653-022-01463-x>. Acesso em: 20 jun. 2023.

BRASIL. Lei Complementar Nº 140, de 08 de dezembro de 2011. Fixa normas, nos termos dos incisos III, VI e VII do **caput** e do parágrafo único do art. 23 da Constituição Federal, para a cooperação entre a União, os Estados, o Distrito Federal e os Municípios nas ações administrativas decorrentes do exercício da competência comum relativas à proteção das paisagens naturais notáveis, à proteção do meio ambiente, ao combate à poluição em qualquer de suas formas e à preservação das florestas, da fauna e da flora; e altera a Lei nº 6.938, de 31 de agosto de 1981. Brasília-DF. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/lcp/lcp140.htm. Acesso: 06 jul. 2021.

BRASIL. **Lei Federal, nº 6.938, de 31 de agosto de 1981**. Dispõe sobre a Política Nacional do Meio Ambiente, seus fins e mecanismos de formulação e aplicação, e dá outras providências. Brasília-DF. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/l6938.htm. Acesso em: 01 jul. 2021.

BRASIL. Resolução **CONAMA Nº 237**, de 19 de dezembro de 1997. Dispõe sobre o licenciamento ambiental e dá outras providências. Ministério do Meio Ambiente (MMA). Disponível em: <http://www2.mma.gov.br/port/conama/res/res97/res23797.html>. Acesso em: 06 de jul. de 2021.

BRASIL. Resolução **CONAMA Nº 410**, de 04 de maio de 2009. Prorroga o prazo para complementação das condições e padrões de lançamento de efluentes, previsto no art. 44 da Resolução nº 357, de 17 de março de 2005, e no art. 3o da Resolução nº 397, de 3 de abril de 2008. Ministério do Meio Ambiente, Brasília-DF. Disponível em: <http://www2.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=603>. Acesso em: 08 jul. 2021.

BRASIL. Resolução **CONAMA Nº 430**, de 13 de maio de 2011. Dispõe sobre as condições e padrões de lançamento de efluentes, complementa e altera a Resolução no 357, de 17 de março de 2005, do Conselho Nacional do Meio Ambiente-CONAMA. Ministério do Meio Ambiente, Brasília-DF. Disponível em: <http://www2.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=646>. Acesso em: 08 jul. 2021.

CÂMARA, A. M. Corantes azo: características gerais, aplicações e toxicidade. 2017. 94f. Monografia (Trabalho de Conclusão de Curso). Universidade Federal do Rio Grande do Norte. Disponível em: <https://ubibliorum.ubi.pt/bitstream/10400.6/2480/1/Disserta%c3%a7%c3%a3o%20final.pdf>. Acesso em: 24 abr. 2023.

CARDOSO, N. F. Adsorção de corantes têxteis utilizando biossorventes alternativos. 2012. 52f. Tese (Doutorado) – Instituto de Química, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Programa de Pós Graduação em Química, 2012. Disponível em: <https://www.lume.ufrgs.br/handle/10183/63143>. Acesso em: 20 abr. 2023.

CARUARU. Dados Socioeconômicos e Geográficos. **Prefeitura de Caruaru-PE**, 2021. Disponível em: https://visitecaruaru.com.br/pt/Sobre_Caruaru/Dados_Socioeconomicos_e_Geograficos/10/. Acesso em: 02 jul. 2021.

CASTILHOS, Z. C.; DE CAPITANI E. M.; DE JESUS I. M.; BIDONE E. D.; DE MELLO W. Z.; LIMA M. de O.; FAIAL K. R. F.; MATAVELI L. R. V.; DE ARAUZ L. J.; DA SILVA L. I. D.; FERREIRA A. P.; TÁVORA R. S.; MERTENS F. Avaliação da contaminação ambiental por Arsênio e estudo epidemiológico da exposição humana em Paracatu-MG-Brasil. Revista Fronteiras: Journal of Social, Technological and Environmental Science, v. 9, n. 1, p. 186-211, 2020. Disponível em: <https://pdfs.semanticscholar.org/fd69/115ec3288bc1f4bdd7d95d679a7e50b76ae8.pdf>. Acesso em: 16 mai. 2023.

CETESB-Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental. Ficha de informação toxicológica-Arsênio. São Paulo/SP. 2017. Disponível em: <https://cetesb.sp.gov.br/laboratorios/wp-content/uploads/sites/24/2013/11/Arsenio.pdf>. Acesso em: 16 mai. 2023.

CETESB-Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental. Ficha de informação toxicológica-Cádmio. São Paulo/SP. 2022a. Disponível em: <https://cetesb.sp.gov.br/laboratorios/wp-content/uploads/sites/24/2022/02/Cadmio.pdf>. Acesso em: 16 mai. 2023.

CETESB-Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental. Ficha de informação toxicológica-Chumbo. São Paulo/SP. 2022b. Disponível em: <https://cetesb.sp.gov.br/laboratorios/wp-content/uploads/sites/24/2022/02/Cadmio.pdf>. Acesso em: 16 mai. 2023.

CETESB-Companhia Ambiental do Estado de São Paulo. **Apêndice P- Perfis Sedimentares**. Cetesb-São Paulo, 2019. Disponível em: <https://cetesb.sp.gov.br/aguas-interiores/wp-content/uploads/sites/12/2020/09/Apendice-P-Perfis-Sedimentares.pdf>. Acesso em: 21 mai. 2023.

CHERFI, Abdelhamid; GACI, Samira Ouardia Abdoun. Food survey: levels and potential health risks of chromium, lead, zinc and copper content in fruits and vegetables consumed in Algeria. **Food and chemical toxicology**, v. 70, p. 48-53, 2014. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0278691514002270>. Acesso em: 20 mai. 2023.

COGO, M. DA C. Estudo de caracterização e disposição dos resíduos de uma indústria têxtil do estado do Rio Grande do Sul. **Trabalho de Diplomação em Engenharia Química**. UFRS, 48 fls, 2011. Disponível em: <https://www.lume.ufrgs.br/handle/10183/38373>. Acesso em: 09 jul. 2023.

COMPESA - Companhia Pernambucana De Saneamento. Plano de Comunicação do Programa de saneamento Ambiental da Bacia Hidrográfica do Rio Ipojuca-Mapeamento, análises das áreas e dos Públicos. v.1, p. 01-192. Recife-PE, 2016. Disponível em: https://servicos.compesa.com.br/wp-content/uploads/2016/02/volume1_plano_executivo-ilovepdf-compressed.pdf. Acesso em: 02 jul. 2021.

CONAMA - Conselho Nacional do Meio Ambiente. Resolução nº 420 de 28 de dezembro de 2009. Dispõe sobre critérios e valores orientadores de qualidade do solo quanto à presença de substâncias químicas e estabelece diretrizes para o gerenciamento ambiental de áreas contaminadas por essas substâncias em decorrência de atividades antrópicas. Disponível em: <https://cetesb.sp.gov.br/areas-contaminadas/wp-content/uploads/sites/17/2017/09/resolucao-conama-420-2009-gerenciamento-de-acrs.pdf>. Acesso em: 01 jun. 2023.

CONAMA - Conselho Nacional do Meio Ambiente. Resolução nº430, de 13 de maio de 2011. Dispõe sobre as condições e padrões de lançamento de efluentes, complementa e altera a Resolução nº 357, de 17 de março de 2005. Disponível em: <https://www.legisweb.com.br/legislacao/?id=114770#:~:text=Disp%C3%B5e%20sobre%20as%20condi%C3%A7%C3%B5es%20e,Nacional%20do%20Meio%20Ambiente%2DCONAMA>. Acesso em: 16 mai. 2023.

CONAMA - Conselho Nacional do Meio Ambiente. **Resolução nº 454, de 01 de novembro de 2012**. Estabelece as diretrizes gerais e os procedimentos referenciais para o gerenciamento do material a ser dragado em águas sob jurisdição nacional. Ministério do Meio Ambiente. Disponível em: <http://www2.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=693>. Acesso em: 01 jul. 2021.

CORINGA, J. do E. S.; PEZZA L.; CORINGA E. de A. O.; WEBER O. L. dos S. Distribuição geoquímica e biodisponibilidade de metais traço em sedimentos no Rio Bento Gomes, Poconé-MT, Brasil. **Acta Amazonica**, v. 46, p. 161-174, 2016.

CPRH - Companhia Pernambucana do Meio Ambiente. Instrução Normativa Nº 7 de 07 de julho de 2014. Estabelece os valores de referência da qualidade do solo (VRQ) do Estado de Pernambuco quanto à presença de substâncias químicas para o gerenciamento ambiental de áreas contaminadas por essas substâncias. Disponível em: <https://www2.cprh.pe.gov.br/wp-content/uploads/2022/09/Instrucao-Normativa-CPRH-No-7-2014.pdf>. Acesso em: 01 jun. 2023.

CPRH - Companhia Pernambucana do Meio Ambiente. Relatório Bacia Hidrográfica do Rio Ipojuca, 2018. Disponível em

DA SILVA, R. F. Degradação de corante de efluente têxtil por processo oxidativo avançando. 2015. Tese Doutorado- Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 21 dez 2015. Disponível em: <https://repositorio.ufpe.br/bitstream/123456789/17383/1/TESE%20VERSAO%20CD.pdf>. Acesso em: 11 abr. 2023.

DA SILVA COSTA, J. R. Efeitos da toxicidade do cromo em plantas. **Revista Intertox de Toxicologia, Risco Ambiental e Sociedade**, v. 13, n. 1, p. 45-46, 2020. Disponível em: <http://autores.revistarevinter.com.br/index.php?journal=toxicologia&page=article&op=view&path%5B%5D=463>. Acesso em: 20 mai. 2023.

DE OLIVEIRA, E. A. Estudo do potencial de utilização da biomassa de *Luffa cylindrica* na descontaminação de efluentes contendo íons metálicos e corantes têxteis. 2007. 164 fls. Tese (Doutorado)- Universidade Estadual de Maringá, 2007. Disponível em: <http://repositorio.uem.br:8080/jspui/handle/1/3925>. Acesso em 25 abr. 2023.

DE SÁ CAVALCANTI, R. L.; DO NASCIMENTO, C. W. A. Definição de teores naturais de metais pesados e avaliação da vulnerabilidade à contaminação em solos de referência do estado de pernambuco. **Jornada de Ensino, Pesquisa, Extensão da UFRPE**, 2009. Disponível em: <http://www.eventosufrpe.com.br/jepex2009/cd/resumos/r0131-1.pdf>. Acesso em: 26 mai. 2023.

DOS SANTOS, C. R.; GUEDES, M. do C. Corantes Têxteis: uma abordagem no ensino de química sobre interações intermoleculares. In: X edição, o Workshop de Ensino e Aprendizagem – p.48, 2014. Disponível em: <https://www.unifaccamp.edu.br/wea/arquivo/pdf/revista2013-2014.pdf#page=48>. Acesso em: 25 abr. 2023.

DOS SANTOS SILVA, J. G.; JUNIOR, R. S. M.; LOBATO, A. K. de C. L. Coagulantes Naturais Utilizados no Tratamento de Efluentes em Indústrias Têxteis. **Cadernos de Prospecção**, v. 13, n. 5, p. 1450, 2020. Disponível em: <https://periodicos.ufba.br/index.php/nit/article/view/35129>. Acesso em: 20 jun. 2022.

FADIGAS, F. de S.; SOBRINHO N. M. B. do A.; MAZUR N.; DOS ANJOS L. H. C.; FREIXO A. A. Concentrações naturais de metais pesados em algumas classes de solos brasileiros. **Bragantia**, v. 61, p. 151-159, 2002. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/brag/a/jhrTyPvvhpTLq4TsRrH7xHg/?format=pdf&lang=pt>. Acesso em: 25 mai. 2023.

FENG, H.; HAN X.; ZHANG W.; YU L. A preliminary study of heavy metal contamination in Yangtze River intertidal zone due to urbanization. **Marine pollution bulletin**, v. 49, n. 11-12, p. 910-915, 2004. Disponível em: [ciencedirect.com/science/article/pii/S0025326X04002358?casa_token=ZacAcAh674EAAAAA:HYs_M4K12dWtJXHicYnfHEh2YrLGS8LFhyXjs416YBKLT-IfSCtvYqpc-jCQnzg7--nRgB_Bxg](https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0025326X04002358?casa_token=ZacAcAh674EAAAAA:HYs_M4K12dWtJXHicYnfHEh2YrLGS8LFhyXjs416YBKLT-IfSCtvYqpc-jCQnzg7--nRgB_Bxg). Acesso em: 09 jul. 2023.

FERREIRA, M. M. C. **Quimiometria: conceitos, métodos e aplicações**. Editora da UNICAMP, 2015. Disponível: <https://books.google.com.br/books?hl=pt-BR&lr=&id=a5OnDwAAQBAJ&oi=fnd&pg=PA13&dq=Quimiometria:+conceitos,+m%C3%A9todos,+e,+aplica%C3%A7%C3%B5es&ots=ULFGDGE0PC&sig=jbycP->

GDtL5kMCXG4r34cuCmx_k#v=onepage&q=Quimiometria%3A%20conceitos%2C%20m%C3%A9todos%20e%20aplica%C3%A7%C3%B5es&f=false. Acesso em abr. 2022.

GARCÍA, P. E. P.; CRUZ, M. I. A. Los efectos del cadmio en la salud. *Revista de Especialidades Médico-Quirúrgicas*, v. 17, n. 3, p. 199-205, 2012. Disponível em: <https://www.redalyc.org/pdf/473/47324564010.pdf>. Acesso: 19 mai. 2023.

GARCÍA, Perla Esmeralda Pérez; CRUZ, María Isabel Azcona. Los efectos del cadmio en la salud. **Revista de Especialidades Médico-Quirúrgicas**, v. 17, n. 3, p. 199-205, 2012.

GILI, I. **Tratamento de efluentes por eletrólise: estudo de caso para efluentes têxteis**. 2015. 102 f. Dissertação - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis. Disponível em: <https://repositorio.ufsc.br/handle/123456789/136499>. Acesso em: 10 jun. 2022.

GLOBO G1. Produção de uma calça jeans pode consumir até 100 litros de água. Globo portal G1, 2022. Disponível em: <https://g1.globo.com/globo-reporter/noticia/2022/07/29/producao-de-uma-calca-jeans-pode-consumir-ate-100-litros-de-agua.ghtml>. Acesso em: 24 mar. 2022.

GONTIJO, B.; BITTENCOURT, F. Arsênio: uma revisão histórica. *Anais Brasileiros de Dermatologia*, v. 80, p. 91-95, 2005. Disponível: <https://www.scielo.br/j/abd/a/fjc46gXhB8pV35SVs8m76jn/?lang=pt>. Acesso: 16 mai. 2023.

GONZALEZ, K. R. Toxicologia do níquel. **Revista intertox de toxicologia risco ambiental e sociedade**, v. 9, n. 2, p. 30-54, 2016. Disponível em: https://d1wqtxts1xzle7.cloudfront.net/50922485/toxicologia-do-niquel-_242-1090-1-PB-libre. Acesso: 20 mai. 2023.

GUARATINI, C. C.; ZANONI, M. V. B. Corantes têxteis. *Química nova*, v. 23, p. 71-78, 2000. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/qn/a/Hn6J5zNqDxVJwX495d4fnLL/?format=pdf&lang=pt>. Acesso em: 25 abr. 2023.

HONGYU, K.; SANDANIELO, V. L. M.; DE OLIVEIRA JUNIOR, G. J. Análise de componentes principais: resumo teórico, aplicação e interpretação. **E&S Engineering and science**, v. 5, n. 1, p. 83-90, 2016. Disponível em: <https://periodicoscientificos.ufmt.br/ojs/index.php/eng/article/view/7599>. Acesso em: 28 dez. 2021.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA-IBGE. Brasil/Pernambuco/Caruaru, Panorama, 2020. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/pe/caruaru/panorama>. Acesso em: 02 jul. 2021.

LIMA, V. F.; MERÇON, F. Metais pesados no ensino de química. *Química nova na escola*, v. 33, n. 4, p. 199-205, 2011. Disponível em: <https://www.ufjf.br/baccan/files/2012/11/199-CCD-7510.pdf>. Acesso: 01 mai. 2023.

LIRA, E. B. de S. Monitoramento Geoquímico e Ambiental da Qualidade dos Sedimentos no Rio Ipojuca no Polo Têxtil do Agreste de Pernambuco - Brasil. Dissertação de Mestrado. UFRPE. Recife. 51 p. 2019.

LOSKA, Krzysztof et al. Use of enrichment, and contamination factors together with geoaccumulation indexes to evaluate the content of Cd, Cu, and Ni in the Rybnik water reservoir in Poland. **Water, Air, and Soil Pollution**, v. 93, p. 347-365, 1997. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/bf02404766>. Acesso em: 21 mai. 2023.

MANZINI, F. F.; SÁ, K. B. de; PLICAS, L. M. de A. Metais pesados: fonte e ação toxicológica. **Fórum ambiental da alta paulista**, p. 800-815, 2010. Disponível em: <https://repositorio.unesp.br/handle/11449/122484>. Acesso: 10 mai. 2023.

MOREIRA, F. R.; MOREIRA, J. C. Os efeitos do chumbo sobre o organismo humano e seu significado para a saúde. **Revista Panamericana de Salud Pública**, v. 15, n. 2, p. 119-129, 2004. Disponível em: <https://www.scielo.org/pdf/rpsp/v15n2/20821.pdf>. Acesso em: 19 mai. 2023.

DO NASCIMENTO, L. P.; REIS, D. A. ; ROESER, H. M. P. ; SANTIAGO, A. DA F. . Geochemical assessment of metals in fluvial systems affected by anthropogenic activities in the Iron Quadrangle. **Engenharia Sanitaria e Ambiental**, v. 23, n. 4, p. 767-778, 2018. Disponível em: <https://www.cabdirect.org/globalhealth/abstract/20193036720>. Acesso em: 26 jun. 2023.

NIEBISCH, C. H.; FOLTRAN C.; DOMINGUES R. C. S.; PABA J. Assessment of Heteroporus biennis secretion extracts for decolorization of textile dyes. *International Biodeterioration & Biodegradation*, v. 88, p. 20-28, 2014. Disponível: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0964830513004241>. Acesso: 12 mar. 2022.

NIU, Y.; CHEN F.; LI Y.; REN B. Trends and sources of heavy metal pollution in global river and lake sediments from 1970 to 2018. **Reviews of Environmental Contamination and Toxicology Volume 257**, p. 1-35, 2021. Disponível em: https://link.springer.com/chapter/10.1007/398_2020_59. Acesso em: 25 jul. 2023.

OLIVEIRA, E. M. da S. Avaliação de Metais (Al, As, B, Ba, Bi, Ca, Cd, Co, Cr,Cu, Fe,K, Mg, Mn, Mo, Na, Ni, P, Pb, Sb, Sc, Se, Sn ,Sr, V, Zn) em Liposarcus pardalis (Bodó) e Prochilodus Cearensis (Curimatã). 2018. 49 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Química Bacharelado) - Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2018. Disponível em: <https://repositorio.ufc.br/handle/riufc/38987>. Acesso em: 10 mai. 2023.

PASCALICCHIO, Á. A. E. Contaminação por metais pesados. Annablume, 2002. Disponível em: https://books.google.com.br/books?hl=pt-BR&lr=&id=dgVt_2gdRuoC&oi=fnd&pg=PA5&dq=metais+pesados+&ots=edMEh6cSxT&sig=QC--Zs6Tg-GC00RTG9ctrUHxyJM#v=onepage&q=metais%20pesados&f=false. Acesso: 10 mai. 2023.

PAVESI, Thelma et al. **Importância toxicológica da exposição a níquel, cobalto e cromo: a dermatite de contato a metais e a susceptibilidade genética a cromo**. 157f. 2020. Tese de Doutorado. Disponível: <https://www.arca.fiocruz.br/handle/icict/47643>. Acesso: 20 mai. 2023.

PERNAMBUCO. **Lei nº 14.249, de 17 de dezembro de 2010**. Dispõe sobre licenciamento ambiental, infrações e sanções administrativas ao meio ambiente, e dá outras providências. Disponível em: http://www.cprh.pe.gov.br/ARQUIVOS_ANEXO/Lei%20Est%2014249;141010;20101228.pdf. Acesso em: 11 jul. 2021.

PINTO, R. B. Remoção do corante têxtil preto de remazol B de soluções aquosas usando adsorventes a base de casca de pinhão. 2012. 82f. Dissertação (Mestrado) – Instituto de Química, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Programa de Pós Graduação em Química, 2012. Disponível em: <https://www.lume.ufrgs.br/handle/10183/55478>. Acesso em: 20 abr. 2023.

PIZATO, E.; LOPES A. C.; ROCHA R. D. C.; BARBOSA A. de M.; DA CUNHA M. A. A. Caracterização de ef eluente têxtil e avaliação da capacidade de remoção de cor utilizando o fungo *Lasiodiplodia theobromae* MMPI. *Engenharia Sanitaria e Ambiental*, v. 22, p. 1027-1035, 2017.

PRESTON, W.; NASCIMENTO C. W. A.; BIONDI C. M.; JUNIOR V. S. de S.; DA SILVA W. R.; FERREIRA H. A. Valores de referência de qualidade para metais pesados em solos do Rio Grande do Norte. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 38, p. 1028-1037, 2014. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbcs/a/fW4k5fL6kzsmbGH35Yr9D9S/?format=pdf&lang=pt>. Acesso em: 01 jun. 2023.

QUEIROGA M. **Polo de Confecções fica acima da média no Índice de confiança dos empresários.** Folha de Pernambuco, 2022. Disponível em: <https://www.folhape.com.br/economia/polo-de-confeccoes-fica-acima-da-media-no-indice-de-confianca-dos/230548/>. Acesso em: 24 mar. 2022.

QUEIROZ, M. T. A.; QUEIROZ C. A.; ALVIM, L. B. A.; SABARÁ M. G.; LEÃO M. M. D.; DE AMORIM, C. C. Reestruturação na forma do tratamento de efluentes têxteis: uma proposta embasada em fundamentos teóricos. *Gestão & Produção*, v. 26, 2019.

QUEIROZ, E. C. **Efeitos toxicológicos do cádmio em *Geophagus brasiliensis* (Peciformes: cichlidae).** 2016. 51f. Tese (Doutorado) Universidade Vila Velha – ES. Disponível em: <https://repositorio.uvv.br/bitstream/123456789/411/1/DISSERTA%c3%87%c3%83O%20FINAL%20DE%20EMANUELLE%20CARNEIRO%20QUEIROZ.pdf>. Acesso em: 19 mai. 2023.

RODRIGUES, M. A.; SILVA, P. P.; GUERRA, W. C. **Química nova na escola**, v. 34, n. 3, p. 161-162, 2012. Disponível em: http://qnesc.sbq.org.br/online/qnesc34_3/10-EQ-37-10.pdf. Acesso em: 20 mai. 2023.

RODRIGUES, T.; SOUZA, J.; SOUSA, M. Indústria do couro: aspectos, impactos e plano de melhoria ambiental para um curtume no interior do estado de goiás. **ENCICLOPEDIA BIOSFERA**, v. 6, n. 10, 2010. Disponível em: <https://conhecer.org.br/ojs/index.php/biosfera/article/view/4657>. Acesso em 09 jul. 2023.

RODRIGUEZ-ESPINOSA P. F.; JORGE FONSECA-CAMPOS; OCHOA-GUERRERO K. M.; HERNANDEZ-RAMIREZ A. G.; TABLA-HERNANDEZ J.; MARTÍNEZ-TAVERA E.; LOPEZ-MARTÍNEZ E.; JONATHAN M.P., Identifying pollution dynamics using discrete Fourier transform: From an urban-rural river, Central Mexico, *Journal of Environmental Management*, Volume 344, 2023, <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0301479723009611>. Acesso em 26 jun. 2023.

RUSCHEL, C. F. C. Aplicação de ferramentas quimiométricas e técnicas espectroscópicas na análise de combustíveis. 2017. Disponível em: <https://www.lume.ufrgs.br/handle/10183/163889>. Acesso em: 28 dez. 2021.

SANTANA, F. de F. V. Toxicologia do arsenato, arsenito, cádmio, chumbo, cromo e níquel em testículos de camundongos Swiss adultos após exposição crônica por via intraperitoneal. 2021. 61 f. Dissertação (Mestrado em Biologia Celular e Estrutural) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa. 2021. Disponível em: <https://www.locus.ufv.br/handle/123456789/28042>. Acesso em: 20 mai. 2023.

SANTOS, G. C. dos. Estudos sobre a síntese e caracterização fotoquímica e fotofísica de derivados quinolínicos com estrutura doador-pi-aceptor, para utilização como corantes sensibilizadores de dispositivos eletrônicos orgânicos. 2019. 119 fls. Tese (Doutorado) - Universidade Estadual Paulista, Bauru-SP, 2019. Disponível em: <https://repositorio.unesp.br/handle/11449/190781>. Acesso em: 25 abr. 2023.

SANTOS, Á. B. da S. **Multimediação inclusiva como objeto de aprendizagem para conservação do Rio Ipojuca**. 2020. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Pernambuco, Recife-PE, 2020.

SANTOS, J. B. dos. **Qualidade ecotoxicológica do sedimento de Caraguatatuba, SP**. 2016. 117 f. Dissertação (mestrado). Universidade de São Paulo. Disponível em: <https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/21/21134/tde-12092016-101126/en.php>. Acesso em: 12 ago. 2022.

SÃO PAULO. **Deliberação Normativa CONSEMA nº 01/2018 De 13 de novembro de 2018**. Fixa tipologia para o licenciamento ambiental municipal de empreendimentos e atividades que causem ou possam causar impacto ambiental de âmbito local, nos termos do Art. 9º, inciso XIV, alínea “a”, da Lei Complementar Federal nº 140/2011. CETESBE, São Paulo-SP. Disponível em: <https://cetesb.sp.gov.br/licenciamentoambiental/wp-content/uploads/sites/32/2019/05/Delibera%C3%A7%C3%A3o-Consema-n%C2%BA-01-2018.pdf>. Acesso: 08 jul. 2021.

SABINO, C. V. S.; LAGE, L. V.; NORONHA, C. V. Variação sazonal e temporal da qualidade das águas em um ponto do Córrego Gameleiras usando técnicas quimiométricas robustas. **Engenharia Sanitaria e Ambiental**, v. 22, p. 969-983, 2017. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/esa/a/NhNNQDC7rKGQmVtzYTXY6tk/?format=html&lang=pt>. Acesso em: 2 jan. 2022.

SCHIFER, T. dos S.; JUNIOR, S. B.; MONTANO, M. A. E. Aspectos toxicológicos do chumbo. **Infarma**, v. 17, n. 5-6, p. 67-71, 2005. Disponível em: https://www.researchgate.net/profile/Marco-Aurelio-Montano/publication/266371414_ASPECTOS_TOXICOLOGICOS_DO_CHUMBO/links/5ed09e8c299bf1c67d26fb30/ASPECTOS-TOXICOLOGICOS-DO-CHUMBO.pdf. Acesso: 19 mai. 2023.

SILVA, B. L.; XAVIER, M. G. P. Inovação e tecnologia em lavanderias de jeans do polo têxtil do agreste Pernambucano e a implementação das atividades de reuso de água. **Brazilian Journal of Development**, v. 6, n. 6, p. 41458-41476, 2020. Disponível em: <https://ojs.brazilianjournals.com.br/ojs/index.php/BRJD/article/view/12342/10345>. Acesso em: 11 abr. 2021.

SINAIT - Sindicato Nacional dos Auditores Fiscais do Trabalho. Polo de confecções do Agreste de Pernambuco é alvo de fiscalizações. -, 2013. Disponível em: <https://www.sinait.org.br/site/noticia-view?id=7056%2Fpolo-de-confeccoes-do-agreste-de-pernambuco-e-alvo-de-fiscalizacoes>. Acesso em 01 jul. 2021.

SOUTO, J. M. P. Estudo do Comportamento Químico e Ambiental de Efluentes Industriais e Resíduos Sólidos Oriundos de Lavanderias do Polo Têxtil no Agreste Pernambucano. Dissertação de Mestrado. UFRPE- Recife. 114 p. 2017.

SRIVASTAVA, N. K.; MAJUMDER, C. B. Novel biofiltration methods for the treatment of heavy metals from industrial wastewater. *Journal of hazardous materials*, v. 151, n. 1, p. 1-8, 2008. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0304389407013933>. Acesso em: 10 mai. 2023.

SUTHERLAND, R. Bed sedimento-associado a vestígios de metais em um córrego urbano, Oahu, Havaí. *Geologia Ambiental* **39**, 611–627 (2000). <https://doi.org/10.1007/s002540050473>. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s002540050473#citeas>. Acesso em: 22 jun. 2023.

USEPA. Methods for Collection, Storage and Manipulation of Sediments for Chemical and Toxicological Analyses: Technical Manual. EPA 823-B-01-002. U.S. Environmental Protection Agency, Office of Water, Washington, DC, 2001. Disponível em: <https://www.epa.gov/ocean-dumping/methods-collection-storage-and-manipulation-sediments-chemical-and-toxicological>. Acesso em: 22 jun. 2023.

VARELLA, C. A. A. Análise de componentes principais. Seropédica: Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, 2008. Disponível em: https://d1wqtxts1xzle7.cloudfront.net/52069850/analise_de_componentes_principais-with-cover-page-v2.pdf?Expires=1641834498&Signature=UnJWLaJ8peOU2XLgTNOFsgAdtff0B0oyxOHetRTAWOeyP5iCdxnNio7In-KiVyt-M122mLqLqzABbSkLUD1YFy5TI0tCMnCFPIMBW4Q3rCSKNpPJfTPurv6~y1vrRaylPeqr8ti7YfsQYrlBpJbYa99xhPY-2M~GXBSC-4RfnR66uh6uW2GDyIBArkDIYpHTJzeuIoU1eERFoE8TeT6RItna3wjFnBaKq6Mb9D5c122OgQdX6navN0edvnnCjWX9BQZPmyNUylVBZHcdwRjlQDN3FzoerSXMvsPTal~luz26MfkD3mEZMLHr97i04urC4Pc9Pf4d-NPRnL~3H3Thg__&Key-Pair-Id=APKAJLOHF5GGSLRBV4ZA. Acesso em: 26 dez. 2021.

TULCAN R. X. S.; OUYANG W.; GUO Z.; LIN C.; CUI X.; JINGYI H.; MENGCHANG H. Industrial impacts on vanadium contamination in sediments of Chinese rivers and bays, *Science of The Total Environment*, Volume 873, 2023, 162379, ISSN 0048-9697. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0048969723009956>. Acesso em: 25 jun. 2023.

DAVIS, Andrew M.; HOLLAND, Heinrich D. (Ed.). **Treatise on geochemistry. 1. Meteorites, comets, and planets**. Elsevier Pergamon, 2005.

ZANONI, M. V. B.; YAMANAKA, H. Corantes: Caracterização Química. Toxicológica, Métodos de Detecção e tratamento. 1ª Edição, São Paulo: Cultura Acadêmica, 2016. Disponível

em: https://www.researchgate.net/profile/Guilherme-Bessegato/publication/312660699_Analise_critica_dos_processos_empregados_no_tratamento_de_efluentes_texteis_Capitulo_13/links/58879285aca272b7b4525785/Analise-critica-dos-processos-empregados-no-tratamento-de-efluentes-texteis-Capitulo-13.pdf. Acesso: 25 abr. 2023.

ZHUANG, Sukai et al. Ascertaining the pollution, ecological risk and source of metal (loid) s in the upstream sediment of Danjiang River, China. *Ecological Indicators*, v. 125, p. 107502, 2021. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1470160X21001679>. Acesso em: 20 jun. 2023.