



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

ELIZABETE BUONORA DE SOUZA LIRA

MONITORAMENTO GEOQUÍMICO E AMBIENTAL DA QUALIDADE
DOS SEDIMENTOS NO RIO IPOJUCA NO POLO TÊXTIL DO
AGRESTE DE PERNAMBUCO - BRASIL

RECIFE

2019

ELIZABETE BUONORA DE SOUZA LIRA

**MONITORAMENTO GEOQUÍMICO E AMBIENTAL DA QUALIDADE
DOS SEDIMENTOS NO RIO IPOJUCA NO POLO TÊXTIL DO
AGRESTE DE PERNAMBUCO - BRASIL**

Dissertação apresentada à Universidade Federal Rural de Pernambuco, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental, para obtenção do título de Mestre em Engenharia Ambiental.

Orientador: Prof. Dr. Alex Souza Moraes

Co-orientador: Prof. Dr. Romildo Morant de Holanda

RECIFE

2019

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
Sistema Integrado de Bibliotecas da UFRPE
Biblioteca Central, Recife-PE, Brasil

L768m Lira, Elizabete Buonora de Souza
Monitoramento geoquímico e ambiental da qualidade dos
sedimentos no Rio Ipojuca no Polo Têxtil do Agreste de Pernambuco
- Brasil / Elizabete Buonora de Souza Lira. – Recife, 2019.
54 f.: il.

Orientador(a): Alex Souza Moraes.

Coorientador(a): Romildo Morant de Holanda.

Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal Rural de
Pernambuco, Programa de Pós-Graduação em Engenharia
Ambiental, Recife, BR-PE, 2019.

Inclui referências.

1. Geoquímica ambiental 2. Poluição urbana 3. Monitorização
Ambiental 4. Sedimentos fluviais 5. Ipojuca, Rio, Bacia (PE) I.
Moraes, Alex Souza, orient. II. Holanda, Romildo Morant de,
coorient. III. Título

CDD 628

ELIZABETE BUONORA DE SOUZA LIRA

**MONITORAMENTO GEOQUÍMICO E AMBIENTAL DA QUALIDADE DOS
SEDIMENTOS NO RIO IPOJUCA NO POLO TÊXTIL DO AGRESTE DE
PERNAMBUCO - BRASIL**

Dissertação apresentada à Universidade Federal Rural de Pernambuco, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental, para obtenção do título de Mestre em Engenharia Ambiental.

Aprovado em: ___/___/___

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Alex Souza Moraes
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental
Universidade Federal Rural de Pernambuco

Prof. Dr. Marcus Metri Corrêa
Departamento de Tecnologia Rural
Universidade Federal Rural de Pernambuco

Prof. Dr. Jandyson Machado Santos
Departamento de Química
Universidade Federal Rural de Pernambuco

AGRADECIMENTOS

À Deus, pela saúde e força durante todo meu desenvolvimento acadêmico e pessoal.

Ao meu orientador e amigo, Prof. Dr. Alex Moraes por toda estrutura, apoio, disponibilidade, conselhos, risadas, momentos de desabafos, pelos ensinamentos que me proporcionou durante a minha jornada acadêmica. Principalmente por ser um exemplo de Professor/Orientador, levarei todos os seus ensinamentos para sempre comigo, tanto em minha vida profissional quanto pessoal.

Ao Prof. Dr. Vicente, por ter depositado sua confiança em mim, pelo apoio logo no início quando eu ainda era Aluna Especial no Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental.

Ao Prof. Dr. Romildo Morant de Holanda, pela disponibilidade do Laboratório de Materiais de Construção para realização do meu experimento.

Ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental da Universidade Federal Rural de Pernambuco, pela oportunidade de realizar este curso de Mestrado.

À FACEPE - Fundação de Amparo a Ciência e Tecnologia de Pernambuco, pela disponibilização da Bolsa.

Ao Departamento de Química, por disponibilizar todo apoio durante o processo.

Aos Professores e Walquíria, que efetivamente me acompanharam em minha caminhada nas disciplinas cursadas no Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental, pelo apoio, ensinamentos e orientações.

Aos meus Pais, Marilu Aquino e Edesildo Buonora, e meu irmão Eduardo Buonora, pelos incentivos, base familiar, conselhos, orientações e todo o amor incondicional.

À Edja Máximo, pela grande parceria, conselhos, orientações, por estar presente nesta trajetória da minha vida pessoal e profissional.

Aos meus queridos amigos (as), Tassia Camila, Taís Patu, Djalma, Erika Gonçalves, Mirela, Fabrício, Rodrigo e Nívia, Cleuma, Thaís Povoas, pelos momentos de apoio, de força, de conselhos e ombro amigo, pela descontração entre tantas outras coisas, as quais não tenho palavras para descrever.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Mapa de localização da área de estudo no município de Caruaru-PE.	28
Figura 2. Diagrama Unifilar da área de estudo no município de Caruaru-PE.....	29
Figura 3. Coleta das amostras de sedimentos no trecho em estudo do rio Ipojuca, município de Caruaru-PE.	26
Figura 4. Fator de Enriquecimento em sedimentos superficiais dos elementos As, Cr, Ni e Pb no rio Ipojuca, Caruaru-PE.....	37
Figura 5. Concentração dos elementos As, Cr, Cu, Ni, Pb e Zn com seus respectivos valores de ERL e ERM.	38
Figura 6. Gráfico dos pontos amostrais obtidos pela Análise de Componentes Principais.....	41
Figura 7. Gráfico dos elementos enriquecidos obtidos pela Análise de Componentes Principais.....	41
Figura 8. Assinatura Geoquímica do Rio Ipojuca.	43

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Elementos encontrados em atividades situadas em áreas urbanas.....	18
Tabela 2. Categorias de Classificação dos Sedimentos pelo Fator de Enriquecimento.	23
Tabela 3. Valores padrões de ERL e ERM descritos por Long <i>et al.</i> (1995;1998) e adotado pela USEPA.....	25
Tabela 4. Níveis de classificação do material segundo Conama 454/2012.....	25
Tabela 5. Coordenadas dos pontos amostrais em um trecho do rio Ipojuca localizado no Centro Urbano do município de Caruaru - PE.	27
Tabela 6. Média das concentrações e desvio padrão dos metais presentes nas amostras de sedimentos do trecho do rio Ipojuca em Caruaru - PE.....	34

LISTA DE SIGLAS

ABIT - Associação Brasileira da Indústria Têxtil e de Confecção

ACP - Análise de Componentes Principais

APAC – Agência de Pernambucana de Águas e Clima

CPRM - Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais

CONAMA - Conselho Nacional do Meio Ambiente

MMA - Ministério do Meio Ambiente

FE - Fator de Enriquecimento

EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

USEPA - United States Environmental Protection Agency

ERL - Effect Ranger Low

ERM - Effect Ranger Medium

ICP/AES - Espectrometria de Emissão Atômica com fonte de plasma indutivamente acoplado

SUMÁRIO

RESUMO.....	9
ABSTRACT	10
1. INTRODUÇÃO	11
2. OBJETIVOS.....	14
2.1 Objetivo Geral.....	14
2.2 Objetivos Específicos.....	14
3. REVISÃO DE LITERATURA	15
3.1 A importância da Geoquímica Urbana	15
3.2 Indicadores de Qualidade Ambiental dos Sedimentos.....	20
3.2.1 Fator de Enriquecimento - FE	22
3.2.2 Toxicologia dos sedimentos	23
4. MATERIAL E MÉTODOS	26
4.1 Área de Estudo.....	27
4.2 Procedimentos Experimentais.....	30
4.2.1 Análise dos elementos químicos	30
4.2.2 Avaliação da qualidade ambiental dos sedimentos	30
4.2.3 Análise Estatística	31
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO	32
5.1 Concentrações de metais em sedimentos superficiais	32
5.2 Avaliação da contaminação por metais e aspectos toxicológico dos sedimentos.....	35
5.3. Análise de Componentes Principais.....	40
6. CONCLUSÃO	45
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	47

RESUMO

A qualidade dos sedimentos do rio Ipojuca no polo têxtil é influenciada pela contribuição de diversas fontes de materiais oriundos da zona urbana e industrial na cidade de Caruaru-PE. Este estudo tem por finalidade analisar os sedimentos do Rio Ipojuca no trecho urbano na cidade de Caruaru-PE, observando e comparando as concentrações dos metais com padrões internacional e nacional, para avaliar a vulnerabilidade ambiental. Os pontos amostrais foram definidos baseados pelas zonas com proximidade das lavanderias existentes no centro urbano do município. O estudo foi realizado através das determinações das concentrações de 24 elementos químicos, distribuídos em 14 amostras de sedimentos superficiais no rio Ipojuca e no riacho do Salgado. Os resultados obtidos indicaram que existe grande concentração de metais potencialmente poluentes como As, Cr, Cu, Ni, Pb e Zn, comparando com limites internacionais e ainda mostraram elevados valores para o Fator de Enriquecimentos desses mesmos metais. A análise de componentes principais evidenciou um agrupamento de algumas amostras do rio Ipojuca com o riacho salgado, associando sua baixa qualidade com a carga poluidora oriunda de zonas com densa presença de lavanderias têxtis e outras atividades de comércio em geral. Assim, foi possível caracterizar, geoquimicamente, o rio Ipojuca em dois setores com maior e menor grau de vulnerabilidade ambiental, sendo o mais crítico aquele que recebe aporte de material diretamente das atividades comerciais próximas ao seu curso. Tais resultados sugerem alto risco de exposição à saúde humana, sugerindo a necessidade de melhorar a gestão dos efluentes que são descartados no rio Ipojuca no trecho urbano da cidade de Caruaru.

Palavras-chave: Geoquímica ambiental, Poluição Urbana, Análise de Componentes Principais.

ABSTRACT

The quality of sediments of the Ipojuca river in the textile pole is influenced by the contribution of several sources of materials from the urban and industrial zone in the city of Caruaru-PE. The purpose of this study was to analyze the sediments of the Ipojuca River in the city of Caruaru-PE, observing and comparing the concentrations of the metals with international and national standards to assess environmental vulnerability. The sample points were defined based on the zones with proximity to the laundries existing in the urban center of the municipality. The study was carried out through determinations of the concentrations of 24 chemical elements, distributed in 14 samples of surface sediments in the Ipojuca River and the Salgado Creek. The results indicate that there is a high concentration of potentially polluting metals such as As, Cr, Cu, Ni, Pb and Zn, comparing them with international limits and still showed high values for the same metals enrichment factor. The analysis of main components evidenced a grouping of some samples of the Ipojuca River with the salty creek, associating its low quality with the polluting load coming from areas with dense presence of textile laundries and other commercial activities in general. Thus, it was possible to characterize, geochemically, the Ipojuca river in two sectors with greater and lesser degrees of environmental vulnerability, the most critical being the one that receives input directly from the commercial activities close to its course. These results suggest a high risk of exposure to human health, suggesting the need to improve the management of the effluents that are discarded in the Ipojuca River in the urban stretch of the city of Caruaru.

Keywords: Environmental Geochemistry, Urban Pollution, Principal Component Analysis.

1. INTRODUÇÃO

O surgimento das atividades industriais se tornou um marco histórico no setor econômico e ambiental do Brasil. A priori era apenas considerada uma atividade para fins artesanais onde se explorava o algodão, a lã, a seda e entre outras fibras naturais. Com o crescimento populacional as exigências pela qualidade do produto e pela durabilidade, a produção têxtil passou por mudanças para acompanhar o ritmo das demandas (SILVA; MENEZES, 2013). Desta forma a evolução da indústria têxtil se tornou eminente com a modernização por meio de máquinas, equipamentos, a utilização de fibras sintéticas e artificiais além da utilização de produtos químicos para dar a coloração ao tecido.

O desenvolvimento industrial desencadeou diversos problemas ambientais, onde o ecossistema estuarino é, até os dias atuais, o mais fragilizado, pois recebe os poluentes de diversas atividades humanas desenvolvidas nos centros urbanos das grandes metrópoles. O processo de beneficiamento de tecidos passa por diversas etapas, entre elas podem-se destacar a tinturaria e lavagem, onde é encontrada uma maior quantidade de produtos químicos contaminantes. Os metais traço são considerados poluidores e são encontrados inseridos em várias formas químicas e em compartimentos ambientais, como por exemplo, na atmosfera, na água, no solo e no sedimento (LICÍNIO *et al.*, 2015).

Diante do aumento das pesquisas nas áreas de ciência do solo e poluição ambiental, a comunidade científica vem reconhecendo a importância do papel do solo nestes ambientes urbanizados (BIONDI, 2010). Tais considerações nestes ambientes estão se tornando fonte de estudos mais aprofundados quanto ao monitoramento ambiental e, conseqüentemente, abrindo oportunidades para novos estudos, como o da geoquímica dos rios e seus afluentes. O estudo da geoquímica dos rios urbanos trata de uma área que é fundamental para o conhecimento das interferências que ocorrem nas áreas urbanas, de modo geral, obter informações sobre os danos que as bacias hidrográficas podem ser afetadas pelo aumento da extensão do solo impermeável nestes centros urbanos (CONNOR *et al.*, 2014).

No Agreste pernambucano existe grande predominância de indústrias têxteis situadas nos centros urbanos, onde realizam diversas atividades secundárias, como tinturaria, lavanderias, costuras, ou seja, todo o processo de beneficiamento de roupas, especificamente do jeans. Segundo Abit (2015), Pernambuco é tido como segundo maior estado produtor têxtil e de confecção da região Nordeste e Norte e o oitavo principal produtor do Brasil, assumindo

2,9% do total do faturamento nacional. Ainda segundo Abit (2017), a indústria têxtil encerrou o ano com um crescimento de aproximadamente 3,5% na produção de vestuário, e com a perspectiva para o ano de 2018, apresente um crescimento de 2,5% na produção de vestuário, 4% na produção têxtil, nas exportações um possível crescimento de 5%, tanto em quantidade, quanto em valores, e as importações devem aumentar 10% em quantidade e 15% em valores.

Apesar do crescimento econômico do Agreste pernambucano favorecer o desenvolvimento urbano e o aumento dos índices de emprego e renda, o setor ambiental está sendo desconsiderado em sua totalidade, já que nem todas as indústrias detêm de uma estação de tratamento dos seus efluentes para minimizar os danos ambientais. O município de Caruaru, localizado no Agreste-PE, está inserido na Bacia Hidrográfica do rio Ipojuca, salientando que o rio Ipojuca passa por Caruaru, corta sua região de influência e abrange mais de vinte municípios, sendo que, nesta região, os impactos negativos aos recursos hídricos são constantes (CONDEPE, 2011).

Algumas lavanderias apresentam uma média de 100.000 litros de efluentes descartados por dia, cada uma, durante um período de produção elevada (MORAES, 2013). Esse grande volume de efluentes lançados nos corpos aquáticos nas cidades de Caruaru, Toritama e Santa Cruz do Capibaribe, levanta uma questão acerca do montante acumulado de compostos de elevada carga poluidora, principalmente os metais pesados que se depositam nos sedimentos e perduram desde o início das atividades das lavanderias nessas cidades.

Os rios são a principal fonte de sedimentos oceânicos e o ambiente costeiro e marinho são os últimos sumidouros para a maioria dos sistemas fluviais (SLATTERY; PHILLIPS, 2011). Conforme Maletić *et al.* (2018), o sedimento é um componente essencial e dinâmico de todos os sistemas aquáticos e considerado grande reservatório de substâncias tóxicas de origem antropogênica. De modo geral, os sedimentos podem ser definidos como uma coleção de partículas minerais e orgânicas encontradas no fundo do rio, fornecedores de substrato para uma grande variedade de organismos, além de desempenhar importante papel nos processos de assimilação, transporte e deposição dos contaminantes (ESPINDOLA *et al.*, 2009). Dessa forma, os sedimentos constituem-se em fontes de contaminação primária para os organismos bentônicos e de contaminação secundária para coluna d'água (ADAMS, 1995).

Os resíduos das indústrias têxteis são coloridos, possuindo grande capacidade de poluir o ambiente, pois evita que ocorra absorção de luz na água, sendo assim, considerar a escolha de um corante com baixo potencial de degradação poderá resultar em um efluente de melhor qualidade ambiental (GUARANTINI; ZANONI 2000). Conforme Almeida *et al.*

(2016), a utilização dos corantes que vão desde os orgânicos e inorgânicos, resultam em uma solução com uma complexa carga poluente, que é habitualmente descartada nos corpos hídricos sem o devido tratamento.

Os efluentes das lavanderias industriais são heterogêneos, isto é, nos remete a uma complexidade de substâncias no efluente gerado, devido aos insumos e substâncias utilizadas na produção e no próprio tratamento do efluente final, oriundos dos diversos tipos de processos que são realizados diariamente com distintas substâncias químicas (Buss *et al.*, 2015). Contudo, atualmente estão surgindo inúmeras maneiras para prevenir a contaminação dos corpos hídricos, surgindo assim a necessidade de se obter informações sistemáticas sobre os contaminantes existentes naquele ambiente, o qual está sofrendo pressões antrópicas. Desta forma, o monitoramento ambiental se enquadra como uma ferramenta indispensável para acompanhamento dessas áreas contaminadas. Segundo Sisino; Torres (2013), o monitoramento ambiental fundamenta a necessidade da investigação quanto à avaliação de exposição, da cinética ambiental e os efeitos tóxicos ao ambiente, sendo assim, o monitoramento é uma peça fundamental como mecanismo de controle e prevenção para identificação de possíveis impactos.

Uma das questões abordadas no monitoramento ambiental está na origem dos corantes e também dos demais insumos utilizados no processo das lavanderias, uma vez que tal matéria-prima é adquirida de forma aleatória através de importação direta e também da compra local, resultando na falta de controle do tipo de produto que é descartado nos corpos hídricos. Os processos que as lavanderias executam diariamente se tornam um dos pontos mais importantes a serem tratados com mais detalhamento no ramo científico e social.

Tendo em vista essas questões, esta pesquisa tem como principal objetivo trazer informações sobre o grau de poluição e contaminação do rio Ipojuca, no município de Caruaru, próximo ao Polo Têxtil do Agreste de Pernambuco, com intuito de tornar possível a aplicação de técnicas sustentáveis para minimizar os danos ambientais e nortear a gestão pública com as informações científicas fornecidas neste estudo.

2. OBJETIVOS

2.1 Objetivo Geral

Analisar a qualidade dos sedimentos do Rio Ipojuca no trecho urbano na cidade de Caruaru-PE, baseada na determinação de 24 elementos, visando observar e comparar as concentrações dos metais com padrões internacional e nacional, para avaliar a vulnerabilidade ambiental nas zonas próximas às lavanderias do Polo Têxtil do Agreste Pernambucano.

2.2 Objetivos Específicos

- Mapear o máximo de lavanderias registradas na cidade de Caruaru;
- Realizar um estudo prévio através de prospecção geoquímica em sedimentos de superfície para determinar as zonas mais anômalas e enriquecidas por metais pesados;
- Estudar a distribuição e comportamento das espécies químicas que podem causar toxicidade ao ambiente natural;
- Utilizar análise multivariada para o estudo dos agrupamentos de metais em zonas no interior do rio Ipojuca;
- Fornecer aos órgãos de gestão informações e suporte científico às tomadas de decisão quanto ao monitoramento e melhoria da sanidade ambiental do rio Ipojuca.

3. REVISÃO DE LITERATURA

3.1 A importância da Geoquímica Urbana

Nos últimos séculos a humanidade vem desenvolvendo diversos meios para o uso de produtos químicos com o intuito de obter diversos benefícios econômicos, porém esses produtos químicos aumentam os riscos ambientais associados à contaminação ambiental. Em dado momento na história do desenvolvimento da raça humana, onde surgiram diversos acidentes ambientais, tornou-se necessário instituir normas ambientais e punição para aqueles que causassem algum dano ao meio ambiente, deixando o mesmo poluído e/ou contaminado (BARROCAS, 2013). Conforme Sisino; Oliveira (2013), de modo geral entende-se que, contaminação é o aumento dos níveis naturais das substâncias e poluição é o resultado deste aumento, gerando danos evidentes aos organismos vivos e riscos à saúde humana.

Historicamente, dois grandes eventos retratam bem a disposição de substâncias tóxicas, a Revolução Industrial (século XVIII - XIX) e a Segunda Guerra Mundial, onde se iniciou a produção e dispersão de diversas substâncias perigosas ao meio ambiente e à saúde humana. A partir da Declaração de Estocolmo, foram elaboradas algumas recomendações sobre o controle das fontes de poluição, surgindo assim entidades responsáveis pela fiscalização ambiental das atividades poluentes (SÁNCHEZ, 2013).

A exploração dos recursos naturais e a poluição ambiental são problemas que vem sendo foco das atuais intervenções políticas e econômicas. Os pesquisadores de ciências naturais estão ampliando as discussões sobre a poluição ambiental encontrada nos centros urbanos, devido à concentração dos polos comerciais e industriais que vem tomando grandes proporções, de tal maneira que estão colocando em risco os recursos naturais ainda disponíveis (RECH, 2014). Considerando o crescimento populacional e o desenvolvimento urbano, os cientistas, os políticos e a sociedade civil, empenhados em abraçar as causas ambientais, veem se questionando em como será o futuro retrato mundial. De acordo com as Nações Unidas (2014), a população urbana em 2050 deverá aumentar cerca de 2,5 milhões e a proporção da população mundial que viverá em áreas urbanas, deverá aumentar 66% no mesmo ano.

Segundo Wong *et al.* (2006), o ambiente urbano em breve se tornará o *habitat* humano mais dominante no planeta e, como consequência, afetará os recursos naturais e a qualidade da saúde humana. De acordo com Sukhdev (2010), o impacto das cidades sobre os recursos naturais é, de fato, desproporcional à população que ocupa os centros urbanos. Na opinião de Ferreira *et al.* (2015), as cidades são definidas como um sistema complexo, repleto de tensões e problemas na relação população-ambiente, sendo demandadoras de insumos que pressionam o uso dos recursos. Diante desta tendência ambiental, os aglomerados urbanos estão sendo alvos-chaves para estudos ambientais, que tem como o objetivo trazer medidas preventivas e remediadoras dos possíveis danos que estão por vir.

A ramificação das ciências naturais nos fornece um rol de conhecimento em vários outros ramos da ciência, como na Física, Química, Biologia e a na Geologia, dessa forma, pode-se estudar com mais propriedade os impactos causados pela ação do homem. Conforme Rohde (2013), por meio das ciências naturais é possível compreender que as mudanças climáticas podem ser entendidas como uma modificação antropogênica nos ciclos biogeoquímicos, tendo como principal vetor dessa mudança o consumo abusivo dos materiais geológicos (petróleo, gás natural, carvão e turfa), os empreendimentos e as atividades comerciais e industriais.

Por outro lado, a geoquímica está mais relacionada à Ciência Geológica, sendo usada em prospecção de minerais e em questões de abundância, distribuição e valores ou limites dos elementos químicos presentes na terra (GUEDES, 2012). Segundo Rohde (2004), a geoquímica trata-se de uma compartimentação classificada como ciclo geoquímico, onde os elementos da natureza são estudados desde a sua fonte até sua deposição em rochas, solo ou sedimentos.

O estudo da geoquímica está trazendo diversas informações quanto à qualidade ambiental de determinada área em estudo, sendo possível descobrir o que está causando algumas incoerências ou anomalias nas concentrações de alguns elementos químicos. Para GUEDES (2012), os estudos das anomalias encontradas nos processos biogeoquímicos na biota classificou um novo ramo da geoquímica, conhecida com Geoquímica Ambiental. Segundo Carvalho (1989), o ramo da geoquímica ambiental estuda, analisa e entende as relações entre os elementos químicos que compõem a litosfera e o ambiente antrópico.

Ao longo do tempo, tais estudos voltados para geoquímica estão se tornando fundamentais para analisar a situação dos centros urbanos, onde os geoquímicos têm como principal objetivo avaliar a interação entre às atividades humanas e os recursos naturais, e de como afetará os ciclos biogeoquímicos. Do ponto de vista de Thornton (1990), o termo “Geoquímica Urbana”, surgiu para avaliar as complexas interações entre os elementos químicos e o ambiente urbano, considerando às atividades industriais e os parâmetros geoquímicos em aglomerados urbanos.

Por sua vez, Chambers *et al.* (2016), considera a geoquímica urbana uma exclusividade da geoquímica geral, partindo do ponto que ela explana sobre as intensas atividades antrópicas associadas aos centros urbanos, e as taxas e escalas dos processos biogeoquímicos influenciados por tais atividades. Ainda segundo os autores, não é só a geoquímica que aborda diversos ramos das ciências naturais, mesmo sendo um componente importante no conceito de metabolismo urbano.

Para tentar analisar o fluxo de massa e energia dos ambientes urbanos, o conceito de metabolismo urbano começa a interagir com a geoquímica urbana, quando Wolman (1965), afirmou que o metabolismo urbano é a quantificação das entradas e saídas de massa e energia de um determinado centro urbano em diversas escalas. Em estudo realizado por Broto *et al.* (2012), é exemplificada a utilização do conceito de metabolismo para descrever as interações entre os subsistemas urbanos, onde o mesmo caracteriza a cidade como um ecossistema incorporado em um sistema maior.

Entre diversas discussões sobre a definição e o papel da geoquímica urbana, Thornton (1991), reforça a preocupação com as complexas interações e relações entre os elementos químicos e seus compostos no ambiente urbano, a influência das atividades humanas e industriais do passado e do presente sobre estes e os impactos ou efeitos de parâmetros geoquímicos em áreas urbanas sobre a saúde de plantas, animais e humanos. Esse preceito demonstra claramente o quanto é fundamental inserir tal temática em estudos de vulnerabilidade ambiental, entre tantos outros estudos que venham a explicar sobre a qualidade ambiental dos ecossistemas em áreas urbanas.

Partindo disto, alguns pesquisadores se reuniram em Columbus, Ohio, Estados Unidos com o objetivo de formar o Grupo de Trabalho de Geoquímica Urbana organizado pela Associação Internacional de Geoquímica (IAGC) e encorajar outros geoquímicos a se envolverem com os problemas dos centros urbanos. O referido grupo definiu os principais temas a serem discutidos sobre geoquímica urbana, levando em consideração os problemas

atuais da qualidade ambiental e saúde dos seres humanos (CHAMBERS *et al.*, 2016). Esses grupos podem ser considerados uma inovação e incentivo para a gestão pública municipal, sendo um meio de obterem informações técnicas sem custo monetário.

Como um dos produtos da pesquisa, foi possível estabelecer uma lista (tabela 1) de principais possíveis fontes de elementos e compostos encontrados em atividades desenvolvidas em áreas urbanas que podem alterar ou apresentar anomalias ao meio ambiente.

Tabela 1. Elementos encontrados em atividades situadas em áreas urbanas.

CONSTITUINTES	FONTES
<i>Elementos maiores e menores</i>	
Na	Sal da estrada; estações de tratamento de águas residuais.
Ca	Materiais de construção, por exemplo, concreto, cimento, placa de gesso, carbonato de pedra.
Al	Tapume do edifício; automóveis; coagulante para tratamento de água potável.
Fe	Aço usado na construção civil; peças de automóveis.
P	Fertilizante; detergente para roupa; esgoto; desperdício de comida.
Ag	Joalheria; agentes antimicrobianos usados em fibras, sistemas de purificação de água, equipamentos médicos.
As	Madeira tratada com pressão; pesticidas.
B	Fibra de vidro; produtos de limpeza.
Br	Retardadores de fogo; pesticidas; aditivo de gasolina.
Cd	Baterias recarregáveis; pigmentos e revestimentos; tapume; energia fotovoltaica.
Cr	Chapeamento de metal soldado; tinta de estrada amarela (como cromato de chumbo); conservante de madeira; pesticidas.
Cu	Pastilhas de freio; tapume ou cobertura de edifícios; Fiação elétrica; Tubo curado no local (PVC); madeira tratada com pressão; pesticidas.
Li	Produtos farmacêuticos.
Mn	Exaustão veicular; liberações de usinas e produção de aço; recusa a incineração.
Pb	Pintura; gasolina com chumbo; canos e solda; baterias automotivas; incineração de resíduos urbanos; produção de cimento.
Zn	Aço galvanizado (por exemplo, tubos / bueiros, coberturas); tijolo; pneus; Tubo curado no local (PVC); Incineração de resíduos; escape de automóvel.
Ni, V	Chapeamento de metal soldado.
Elementos Terra Rara - ETR	Diversas aplicações tecnológicas, incluindo catalisadores, ligas metálicas, baterias, iluminação, produtos farmacêuticos e outras fontes médicas.

Fonte: CHAMBERS *et al.*, 2016.

Diante da diversidade de elementos encontrados nos centros urbanos, é possível estabelecer diversos cenários de contaminação do meio ambiente. Muitos metais urbanos, como o chumbo, cádmio, zinco e cromo encontram-se disponíveis para os organismos aquáticos, considerando que nos ambientes urbanos a poluição por metais representa uma ameaça direcionada aos ecossistemas aquáticos (SHEA; ROSE, 2007). Ressaltando que, os metais pesados biodisponíveis têm a capacidade de reduzir várias funções celulares de microrganismos e seus efeitos são dependentes da concentração (JACOB *et al.*, 2018).

As atividades humanas afetam os ciclos biogeoquímicos da maioria dos elementos e em nenhum outro lugar isso ocorre mais do que nos centros urbanos (GARDNER *et al.*, 2017). Os impactos que mais contribuem para a crescente taxa de poluição em centros urbanos são os causados pelo esgoto doméstico, fertilizantes agrícolas e efluentes industriais, despejados ou percolados (BARRETO *et al.*, 2013).

Contudo, há uma necessidade de ser deter de tais informações para execução de um planejamento voltado para o desenvolvimento dos ambientes urbanos saudáveis e sustentáveis e, desta forma, voltar o olhar para a qualidade ambiental urbana (WONG *et al.*, 2006). Com o passar das décadas, as técnicas aplicadas à geoquímica são utilizadas com intuito de adquirir tais conhecimentos, sendo assim, as exigências em nível de detalhamento sobre os elementos naturais se tornou maior, considerando que os elementos já estavam presentes na terra há milhares de anos, mesmo em concentrações muito baixas (LICHT, 2001). Por esse motivo, com o aperfeiçoamento das técnicas analíticas laboratoriais, a cada década, mais e mais elementos são adicionados à lista dos elementos bioativos (DARNLEY *et al.*, 1995).

O desenvolvimento urbano associado à presença de atividades industriais dentro das áreas urbanas leva a vários graus de contaminação do solo (THORNTON, 1990). Compreender de que maneira o processo de urbanização impacta os processos geoquímicos tem grandes consequências em relação à qualidade da água, do solo e do ar, da biodiversidade, do manejo de recursos e, em última instância, da saúde humana e do ecossistema (GARDNER *et al.*, 2017). Portanto, Medeiros (2016), alega que a realização de análises mais profundas dos elementos geoquímicos urbanos é fundamental para o entendimento sobre relações sinérgicas entre a urbanização e os elementos químicos da natureza.

3.2 Indicadores de Qualidade Ambiental dos Sedimentos

Em ambientes urbanizados, os ecossistemas aquáticos estão cada vez mais fragilizados devido às intensas atividades comerciais e industriais, ocasionando a poluição ambiental em um nível bastante elevado pelos metais adsorvidos aos sedimentos. Trata-se de um quadro atual em que os ecossistemas aquáticos localizados em centros urbanos se encontram. O crescimento urbano às margens de ecossistemas aquáticos vem causando a degradação da qualidade das águas, devido ao despejo de material residual, dessa forma tendo como consequência a eutrofização, a contaminação por metais pesados e toxicidade, que são considerados os parâmetros mais preocupantes por ocasionarem problemas diretos à saúde pública e à biota (TUNDISI, 2006).

Ainda segundo o autor, a eutrofização é o resultado do despejo de águas residuárias de esgotos não tratados, efluentes industriais e agrícolas, que tem como consequência o florescimento exagerado de cianobactérias com cepas tóxicas. Segundo Maletić *et al.* (2018), alguns contaminantes fluem dos descarte de resíduos industriais e municipais, enquanto outros do escoamento poluído de áreas urbanas e agrícolas. As indústrias que geram uma diversidade de resíduos nos processos industriais são passíveis de produzir compostos de um mesmo elemento, ou ainda, um mesmo processo pode gerar diferentes resíduos com diversos graus de periculosidade, de acordo com a matéria-prima (ou pureza) empregada, reagentes, entre outros. (BARROCAS, 2013).

A utilização de sedimentos de fundo como indicador da qualidade ambiental é um método mais fácil e com redução de erros, possibilitando obter um quadro real da contaminação por meio de determinadas equações matemáticas, além disso, ao distinguir camadas separadas do sedimento do fundo é possível avaliar as tendências para a mudança da poluição da água, do ar e do solo (LOSKA, 1997).

Os sedimentos são considerados compartimentos cruciais do ecossistema aquáticos, já que as substâncias poluentes permanecem associadas às suas partículas por longos períodos, isso se torna possível devido à sua capacidade de acumular compostos orgânicos e inorgânicos e assim podemos também obter uma fonte de registro histórico de poluição, além de os sedimentos permitirem a avaliação da qualidade dos sistemas fluviais (SANTOS, 2016). Conforme Monte (2014), a maior representatividade de concentração de metais pesados no ambiente se encontra nos sedimentos. Os metais pesados, em sua concentração natural, apresentam uma densidade acima ou igual de 5 g/cm³, porém, quando suas concentrações

passam do limite natural, passam a serem considerados como os contaminantes mais tóxicos e constantes no ambiente aquático (FRANCO, 2013).

Na geoquímica são utilizados diversos índices e fatores já estabelecidos em estudos referentes à qualidade ambiental, ao longo dos anos, onde são utilizados para estudar a distribuição e o comportamento biogeoquímico de metais em solos e sedimentos. Para avaliação da qualidade ambiental geralmente são utilizados os respectivos indicadores: índice de geoacumulação, fator de enriquecimento e índice de carga poluidora (MORAES, 2013).

O estudo sobre qualidade ambiental dos sedimentos no Brasil está se consagrando com o passar dos anos, isso vem ocorrendo devido aos resultados dos monitoramentos sistemáticos da poluição no ecossistema aquático urbano. As primeiras análises de qualidade dos sedimentos foram realizadas pela Federal Water Quality Administration e adotadas pela United States Environmental Protection Agency – USEPA (1973), com o objetivo de atender às demandas do gerenciamento dos resíduos de dragagem. O controle das características dos poluentes tem sido realizado desde 1976, pela legislação brasileira que também vem estabelecendo limites individuais de emissão de poluentes baseados nas orientações norte-americanas (BERTOLETTI, 2013). Porém, o rol de informações ainda não é suficiente, pois o Brasil ainda não dispõe de parâmetros ou padrões de qualidade de sedimentos que acatem as condições geológicas específicas de cada ambiente (NASCIMENTO *et al.*, 2018).

Devido à carência de tais informações científicas, fica difícil realizar uma análise comparativa e a aplicação dos indicadores, partindo do ponto que é necessário obter valores de referência local/regional. Em suma, geralmente são utilizados valores de referência mundial para realizar as devidas análises de qualidade ambiental do sedimento. Entretanto, a legislação brasileira conta com algumas normativas técnicas estabelecidas pelo CONAMA – Conselho Nacional de Meio Ambiente, que estabelece concentrações limites com objetivo de melhorar a qualidade ambiental. Entre elas destaca-se a resolução do CONAMA nº 420/2009, que “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” e a resolução do CONAMA nº 454/2012, que “estabelece as diretrizes gerais e os procedimentos mínimos para a avaliação do material a ser dragado em águas jurisdicionais brasileiras”.

Dessa forma, pode-se notar que as leis e normas brasileiras voltadas para qualidade ambiental do sedimento ainda é um ramo precário para os estudos da geoquímica. Porém, tal realidade não reprime iniciativas que estimulem as pesquisas científicas, que é a base para a

construção do arcabouço de leis e normas ambientais. Por exemplo, pode-se ressaltar as respectivas pesquisas realizadas por Licínio *et al.* (2015), Kasilingam (2016), Santolin (2015), Nascimento *et al.* (2018), Pompêo, *et al.* (2013), Torrezani *et al.* (2016), Silva (2016), entre outros pesquisadores que são referência para realização neste trabalho.

3.2.1 Fator de Enriquecimento - FE

O fator de enriquecimento é um indicador bastante utilizado para estudos da qualidade do solo e do sedimento, pois o mesmo indica o quanto a concentração do metal contaminante está presente em relação aos valores de *background* geoquímico (MORAES, 2013). Tal fator descreve bem a tendência geoquímica dos metais encontrados nas áreas de estudo. Para Salomons; Forstner (1984), o fator de enriquecimento do sedimento é um parâmetro que demonstra se o sedimento está sofrendo influência ou não, quanto ao conteúdo de metais (tabela 2). É uma grandeza expressa pela razão entre metais e um normalizado, que em geral é um elemento conservativo, isto é, aquele que se distribui mais homogêaneamente no meio e cujo comportamento ao longo do sistema mantém-se estável sem entradas artificiais (FORSTNER, WITTMANN, 1981).

No caso do fator de enriquecimento, um elemento de referência será tratado como normalizador, sendo este, inserido no cálculo para balancear as variações mineralógicas dos sedimentos (Qi *et al.*, 2010).

Equação 1:
$$FE = \frac{M_{sed}}{R_{sed}} / \frac{M_{bg}}{R_{bg}}$$

Sendo:

- M_{sed} = concentração medida do metal M no sedimento;
- R_{sed} = concentração do elemento normalizador R no sedimento;
- M_{bg} = concentração assumida como “background”, para o metal M;
- R_{bg} = concentração assumida como “background” do elemento normalizador R.

Para uma melhor averiguação do fator de enriquecimento nos sedimentos, convém utilizar um valor regional como referência, numa forma de reduzir interpretações errôneas. Conforme Moraes (2013), uma forma está na utilização de alumínio ou ferro para normalizar essas falsas interpretações. Ainda segundo autor, o alumínio é inerte nos sistemas aquáticos, está principalmente associado aos argilominerais, ainda que possa fazer parte, eventualmente, da composição de outros aluminossilicatos.

Tabela 2. Categorias de classificação dos sedimentos pelo fator de enriquecimento.

Categorias	Qualidade dos Sedimentos
FE ≤ 1	Não Enriquecido
FE 1 a 3	Pouco Enriquecido
FE > 3 a 5	Moderadamente Enriquecido
FE > 5 a 10	Enriquecimento Moderadamente Severo
FE > 10 a 25	Enriquecimento Severo
FE > 25 a 50	Enriquecimento Muito Severo
FE > 50	Enriquecimento Extremamente Severo

Fonte: Silva, 2016.

3.2.2 Toxicologia dos sedimentos

No decorrer do processo de contaminação ambiental no Brasil, surgiu a necessidade de estabelecer parâmetros e limites de poluição ambiental, assim o estudo da toxicidade veio ganhando força para garantir a proteção e melhoria da qualidade de vida do homem (OLIVEIRA-FILHO; SISINNO, 2013).

Em pesquisas voltadas para monitoramento geoquímico ambiental dos sedimentos, podemos analisar a toxicidade dos mesmos por meio de alguns métodos analíticos para os efluentes lançados em água doce. Conforme Bertoletti (2013), os métodos de ensaios seguem as normas brasileiras onde os organismos-teste são submetidos a diversas diluições dos efluentes líquidos por um determinado período de tempo. Outras normas brasileiras já aderem um método mais direto, como o estabelecido na resolução do Conama nº 454/2012, que trata do estabelecimento de diretrizes gerais e procedimentos referenciais para o gerenciamento do

material dragado (tabela 4). Tais níveis, de limiar de contaminação, seguem os preceitos internacionais como a Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos – USEPA e as Diretrizes de Qualidade Ambiental do Canadá (CEQGs).

Para avaliar o efeito tóxico em sedimentos, segundo a Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos – USEPA (1995), não existe um método único para se avaliar os impactos causados pela contaminação dos sedimentos, pois são vários fatores que podem afetar o ambiente. Entretanto, Espíndola *et al.* (2003), explica que, para estudos ecotoxicológicos de sedimentos, a utilização de organismos bentônicos são mais indicados, pois os mesmos vivem em contato direto com o sedimento. Tais procedimentos demandam de mais tempo e recursos. Porém existe outra forma mais rápida e direta de se obter informação sobre o efeito tóxico do contaminante, onde, segundo USEPA (1998), este método fornece um aspecto uniforme para avaliar os níveis de contaminantes dentro e entre os estuários.

A USEPA, a partir dos estudos realizados por Long *et al.* (1995;1998), definiu dois padrões de toxicidade, identificando nove metais que apresentaram efeitos ecológicos ou biológicos sobre os organismos, sendo estes mais encontrados nas atividades que degradam o meio ambiente. Tais padrões foram definidos por Long *et al.* (1995:1998) e adotados pela USEPA (tabela 3) em valores ERL (Effect Range Low) e o ERM (Effect Range Medium), onde podemos classificar como:

- Bons – todos os valores de concentração estão abaixo do ERL;
- Intermediários – alguns dos valores de concentração estão entre o ERL e ERM;
- Pobres – alguns dos valores de concentração superam o ERM.

Contudo, segundo Moraes (2013), esse método possui algumas limitações, devido a não interação de substâncias químicas múltiplas e de não considerar um possível mitigador de compostos orgânicos que podem complexar suas estruturas e neutralizar o efeito tóxico.

Tabela 3. Valores padrões de ERL e ERM descritos por Long *et al.* (1995;1998) e adotado pela USEPA.

Metal	ERL (mg kg⁻¹)	ERM (mg kg⁻¹)
Arsênio (As)	8,2	70
Cádmio (Cd)	1,2	9,6
Cromo (Cr)	81	370
Cobre (Cu)	34	270
Chumbo (Pb)	47	220
Mercúrio (Hg)	0,15	0,71
Níquel (Ni)	21	52
Prata (Ag)	1	3,7
Zinco (Zn)	150	410

Fonte: USEPA (1998).

Tabela 4. Níveis de classificação do material segundo Conama 454/2012.

Metais e Semi metais (mg.kg)	Nível 1	Nível 2
Arsênio (As)	5,9	17
Cadmio (Cd)	0,6	3,5
Chumbo (Pb)	35	91,3
Cobre (Cu)	35,7	197
Cromo (Cr)	37,3	90
Mercúrio (Hg)	0,17	0,486
Níquel (Ni)	181	35,91
Zinco (Zn)	123	315

Fonte: CONAMA (2012).

4. MATERIAL E MÉTODOS

A metodologia utilizada nesta pesquisa segue os padrões e diretrizes estabelecidas pela USEPA (United States Environmental Protection Agency), tendo como base para mensurar a contaminação dos sedimentos, as análises de concentrações de metálicos e análise de toxicidade dos sedimentos. Foram considerados os valores de referência dos limites ERL (Effect Range Low) e ERM (Effect Range Medium). Contudo, foram realizadas atividades de campo e de laboratório, bem como levantamento bibliográfico sobre o tema e a área abordada.

Inicialmente foi realizada uma avaliação exploratória da qualidade dos sedimentos superficiais para definição das zonas anômalas enriquecidas por metais. Para definição dos pontos amostrais, foi realizado um levantamento das lavanderias cadastradas no Sindicato da Indústria de Fiação e Tecelagem em Geral do Município de Caruaru – Sinditêxtil, com proximidade ao trecho do rio Ipojuca no centro urbano de Caruaru-PE. Todos os pontos de coletas foram georreferenciados (tabela 5). Os sedimentos foram coletados com o auxílio de uma draga tipo VanVeen.

Figura 1. Coleta das amostras de sedimentos no trecho em estudo do rio Ipojuca, município de Caruaru-PE.



Tabela 5. Coordenadas dos pontos amostrais em um trecho do rio Ipojuca, localizado no Centro Urbano do município de Caruaru-PE.

Pontos	UTM (S)	UTM (E)	Zona (L)
I01	9082369.96	170153.36	25
I02	9082297.38	171172.70	25
I03	9082017.06	171863.43	25
I04	9082593.68	172375.94	25
I05	9082497.31	172870.34	25
I06	9082296.93	172957.96	25
I07	9082627.73	173390.94	25
I08	9083155.53	173699.29	25
I09	9082866.59	174515.00	25
I10	9083115.64	175346.56	25
I11	9084199.56	173179.18	25
I12	9084484.14	172876.67	25
I13	9084793.83	173835.29	25
I14	9084984.15	173734.19	25

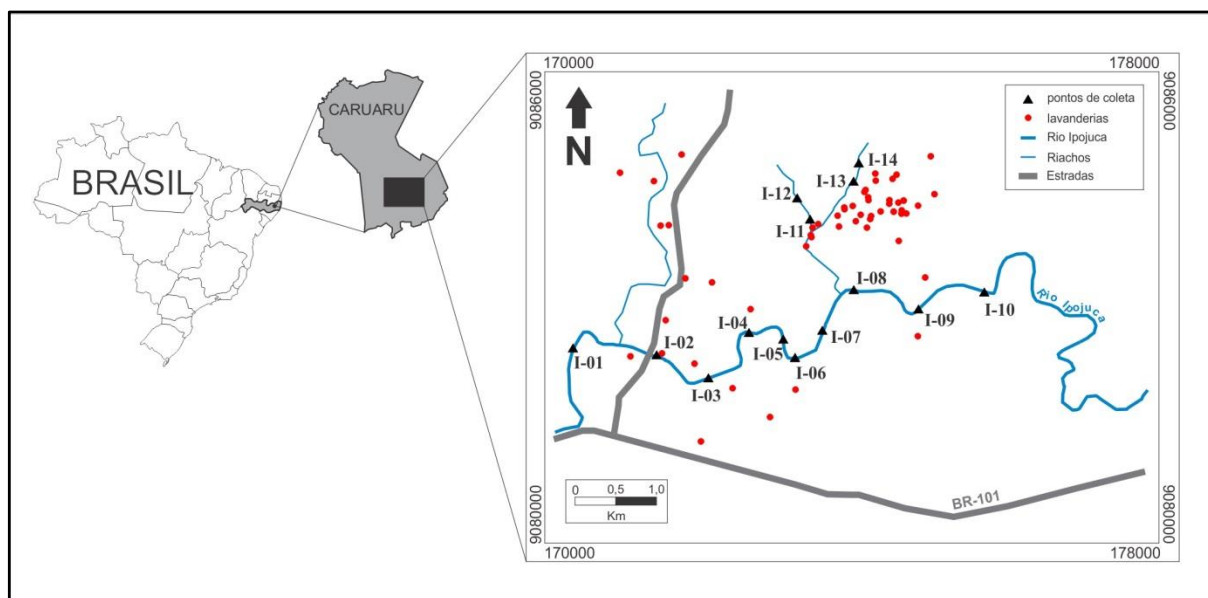
4.1 Área de Estudo

O presente trabalho de pesquisa abrange um trecho da Bacia do rio Ipojuca, localizado no centro urbano do município de Caruaru-PE, restringindo às zonas do rio Ipojuca próximas às indústrias têxteis. Entre os pontos amostrais, encontram-se o riacho Salgado e o riacho Mocós.

Com o levantamento das lavanderias realizado neste estudo, foi possível a elaboração do mapa de localização (figura 1), que retrata a realidade da concentração das lavanderias no entorno da área em estudo. As lavanderias estão representadas pela pontuação avermelhada, logo pode-se perceber a predominância de tal setor industrial. De acordo com o cadastro do Sindicato da Indústria de Fiação e Tecelagem em Geral do Município de Caruaru, existem aproximadamente 73 lavanderias cadastradas, além daquelas que estão em operação de maneira irregular.

A Bacia do rio Ipojuca ocupa uma área de 3.435,34 km², correspondendo a 3,49% da área do Estado de Pernambuco. O percurso do rio Ipojuca possui cerca de 320 km, com regime fluvial intermitente, perene nas proximidades da cidade de Caruaru-PE, nasce no sertão pernambucano, com curso fluindo pelo agreste, pela mata e desemboca no litoral (APAC, 2018). Ainda segundo o autor, o rio Ipojuca corta diversas sedes municipais, destacando-se: Bezerros, Caruaru, Escada, Chã Grande, Gravatá, Ipojuca, Primavera, São Caetano e Tacaimbó. Seu estuário foi bastante alterado nos últimos anos em decorrência da instalação do Complexo Portuário de Suape. Conforme Koenig *et al.* (2002), o rio Ipojuca recebe forte carga poluidora, pois nenhuma das cidades da sua bacia possui sistema adequado de esgoto sanitário, havendo em algumas pequenas extensões de redes coletoras com inadequada disposição final.

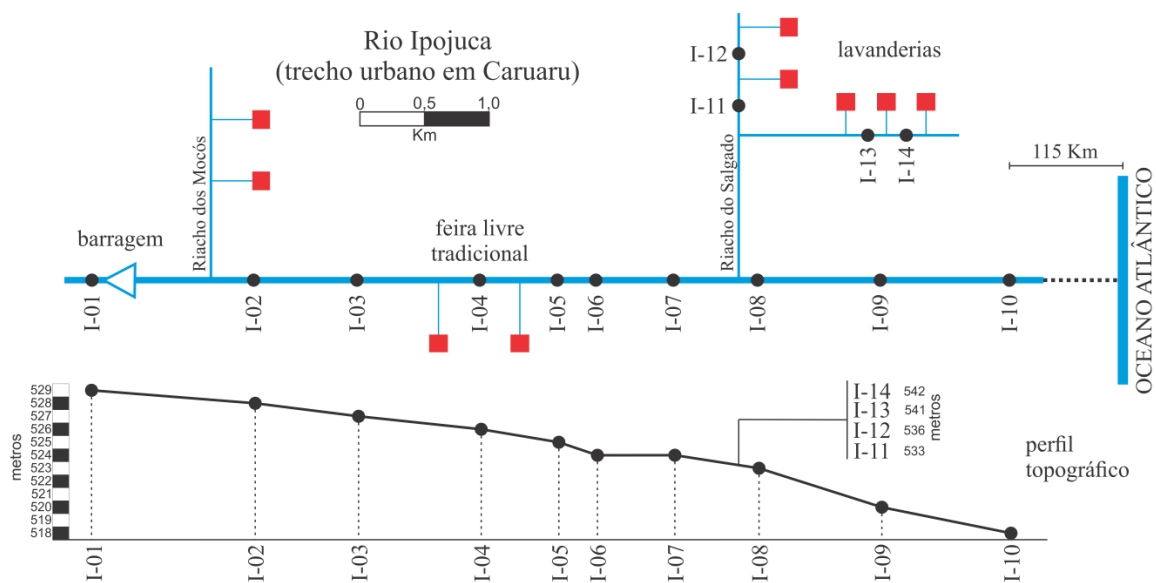
Figura 2. Mapa de localização da área de estudo no município de Caruaru-PE.



A região de Caruaru - PE enquadra-se em clima semiárido (BSh), conforme classificação de Köppen, pouca pluviosidade ao longo do ano, sendo junho e julho os meses mais chuvosos e outubro o mês mais seco (MEDEIROS, 2016; ALVARES *et al.*, 2013). A área do município que está inserida dentro da Bacia do Ipojuca é de aproximadamente 41,67%, sendo 11,31% desta área pertencente ao município (CONDEPE, 2011).

Entre os municípios que cortam a Bacia do rio Ipojuca, o município de Caruaru, localizado na Região de Desenvolvimento do Agreste Central, é o mais representativo, se falado do polo econômico, devido à intensificação do setor industrial têxtil (figura 2), ressaltando os problemas ambientais causados pelas pequenas e micro empresas de confecção de jeans e pela extração de madeira e areia (CONDEPE, 2011). Além disso, segundo Ribeiro (2016), o trecho em estudo, da Bacia do Rio Ipojuca, vem sofrendo influência direta das atividades têxteis e com o lançamento irregular dos esgotos domésticos (figura 2), salientando que as atividades informais do setor industrial vêm causando maior impacto ao recurso hídrico do município. Partindo dessas características, este trecho foi definido como nossa área de estudo para este trabalho.

Figura 3. Diagrama Unifilar da área de estudo no município de Caruaru-PE.



4.2 Procedimentos Experimentais

4.2.1 Análise dos elementos químicos

As amostras coletadas foram levadas ao Laboratório de Materiais de Construção, no Departamento de Tecnologia Rural da DTR/UFRPE e em seguida foram colocadas em estufa a 60°C para secagem por 24 horas. Posteriormente as amostras já secas passaram pelo processo de desagregação e homogeneização em almofariz de porcelana. Em seguida, separou-se aproximadamente 10g de cada amostra para serem enviadas ao Laboratório Geosol-Lakefield em Vespasiano-MG.

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. Por fim, as amostras foram filtradas, colocadas em balão volumétrico de 50 ml e o volume aferido com solução de HNO₃ a 5%. As amostras após tais procedimentos foram analisadas pela técnica de espectrometria de emissão atômica com fonte de plasma indutivamente acoplado (ICP/AES) os respectivos elementos em cada amostra: Al, Ca, Fe, K, Mg, Mn, Na, P, Ti, As, Ba, Be, Cr, Cu, La, Mo, Ni, Pb, Sr, Th, V, Y, Zn, Zr.

4.2.2 Avaliação da qualidade ambiental dos sedimentos

- Fator de enriquecimento

Para determinar o fator de enriquecimento, foram utilizados valores de referência UCC (Upper Continental Crust) descritos por Wedepohl (1995), com aplicação da fórmula descrita por Amorim (2012) e Thomas & Meybeck (1996), onde utilizaram o Alumínio (Al) como elemento normalizador.

Neste estudo também foi considerado para o cálculo do fato de enriquecimento, o *background* para o alumínio em sedimentos, pois tal elemento é considerado de baixa mobilidade natural no meio ambiente (NASCIMENTO, *et al.* 2018; CHEN *et al.*, 2007).

Segue abaixo fórmula utilizada neste estudo:

$$FE = \frac{[Elemento / Al]_{amostra}}{[Elemento_{UCC} / Al_{UCC}]_{background}}$$

- Toxicologia

As amostras de sedimento superficial foram comparadas aos parâmetros estabelecidos pela USEPA (1998), em seus valores de ERM, que corresponde ao valor mínimo para que se tenha um efeito tóxico baixo e ERL, que corresponde à faixa de valores onde se observam efeitos tóxicos mais elevados. Além de serem comparadas aos valores estabelecidos pela norma brasileira, Conama nº 454/2012, onde são estabelecidos dois níveis de limiar que podem causar algum efeito adverso à biota.

4.2.3 Análise Estatística

O procedimento estatístico aplicado neste estudo foi a Análise de Componentes Principais (ACP). Este método diz respeito aos métodos multivariados, onde se analisa a relação entre dois ou mais conjuntos de dados, ou seja, a interdependência entre variáveis (LATTIN, 2011). Por meio deste método, aplicado em estudos de assinaturas geoquímicas em sedimentos, é possível avaliar de forma contínua, com sobreposição de *clusters* ou agrupamentos de semelhantes conjuntos de dados (KASILINGAM *et al.*, 2016).

De acordo com Morais (2013), a aplicação do método multivariado torna possível identificar as assinaturas geoquímicas presente em testemunhos de sedimentos superficiais. Ainda, Virgillito (2006) afirma que, nas pesquisas geoquímicas, para melhor visualização do comportamento das espécies químicas, utiliza-se ACP individual para cada conjunto de amostras de solo ou sedimentos.

Neste estudo, foi realizado um tratamento prévio nos dados, quanto a escolha das variáveis, afim de obter um melhor confiabilidade nos resultados. Essas variáveis foram definidas após o pré-processamento dos dados, onde foram utilizados como variáveis os pontos amostrais e os dados brutos dos 24 elementos. Porém, com a utilização dessas variáveis, foi visto apenas algumas informações superficiais e que poderiam mascarar alguns resultados. Partindo disto, ficaram definidas neste estudo as seguintes variáveis: ponto amostral e o fator de enriquecimento dos 24 elementos químicos.

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 Concentrações de metais em sedimentos superficiais

O trecho do rio Ipojuca em estudo trata-se de uma área localizada no centro urbano, que sofre influência direta de esgoto doméstico, dos resíduos de indústrias têxteis e principalmente do Polo comercial (Feiras Livres). Ao longo do trecho, foi possível verificar alguns comportamentos geoquímicos distintos devido as concentrações dos metais em alguns pontos amostrais.

Para análise da toxicidade foram utilizados os padrões adotados pela USEPA, em valores ERL e o ERM (figura 5). A avaliação do grau de contaminação dos sedimentos fluviais foi analisada por meio da comparação com os valores orientadores estabelecidos pela Resolução do Conama nº 454/2012, com classificação em 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 pelo cálculo do fator de enriquecimento.

Entre as amostras analisadas foi possível destacar três pontos que apresentaram valores significativos diante o grau de contaminação, os pontos I-04, I-06 e I-08. Contudo, apenas os pontos, I-01 e I-08 apresentaram concentrações de Arsênio (As) de 8 ppm, valores estes acima da classe 1 segundo valores estabelecidos no Conama nº 454/2012, existindo assim uma probabilidade de causar algum efeito mínimo adverso à biota. A concentração de As no rio Ipojuca foi um pouco menor do que a do rio Liaohe, localizado em um centro urbano da China (Ke *et al.*, 2017), com concentração média de As (9,88 ppm) próximo do limiar de contaminação baseado nos valores de qualidade do sedimento.

As demais amostras estão abaixo do limiar com 2,5 ppm respectivamente, valores esses estão dentro dos limites naturais, já que em média o teor de arsênio é de 2 ppm na crosta terrestre (BARROCAS, 2013). Uma das maiores fontes de concentração de As no ambiente ocorre em sedimentos argilosos, devido elevada adsorção por argilominerais, matéria orgânica e hidróxidos de Fe e Al (CUNHA; PESSANHA; SHINTAKU, 2013).

O arsênio, apesar de ser um elemento tóxico, ainda é bastante utilizado na produção vidros, ligas metálicas, na produção de pigmentos e em indústrias farmacêuticas (BARROCAS, 2013). As concentrações de arsênio retidas em corpos d'água por meio de depósitos naturais, por resíduos agrícolas, industriais e pela mineração, estão aumentando a

exposição humana, a doenças como a câncer e outros inúmeros efeitos patológicos (ANDRADE; ROCHA 2016).

Os teores de Cobre (Cu) em algumas amostras excederam os limites ecológicos, onde suas concentrações variaram de 39 ppm a 199 ppm respectivamente. Os outros pontos enquadraram acima da classe 1, foram encontrados nos pontos I-06 (42 ppm), I-08 (44 ppm), I-10 (39 ppm). Também foram encontrados valores similares na concentração de Cobre (41 mg.kg) no lago Dongting, China (We; Zeng, 2018), apresentando-se no limiar nas normas de qualidade para sedimento.

O cobre apresentou maior valor em apenas um ponto, acima da classe 2, o ponto I-04 com (199 ppm), o que pode está relacionado por ser uma área que sofre influência direta da urbanização e industrialização local. Salientando que, tal ponto está localizado por trás de uma grande Feira Livre de Caruaru (figura 2). Valores próximos de concentração de cobre em sedimentos foram encontrados em outros estudos que oscilaram entre 1,3 e 87,9 mg.kg⁻¹ no período úmido e de 5,1 a 147,7 mg.kg⁻¹ no período seco (NASCIMENTO, et al, 2018). O rio Imboaçú em São Gonçalo, região metropolitana do Rio de Janeiro, sofre com as mesmas pressões antrópicas do Rio Ipojuca, no estudo encontraram uma concentração de cobre no sedimento de 34,42 mg.kg⁻¹, valor um pouco abaixo do limiar estabelecido na classe 1 do Conama nº 454/2012, e mesmo assim foi considerado um rio poluído (NUNES *et al.*, 2017).

Com isso, podemos supor que o ponto I-04 apresentou um alto teor de poluição, considerando ainda que na classe 2 da supracitada resolução, o limiar é de 197 mg.kg⁻¹, o que ocasiona um maior chance de causar um efeito adverso à biota. Outro fato neste ponto, é a variedade de metais concentrados na área, Régis *et al.* (2018) alega que, a sinergia entre os contaminantes pode causar um efeito potencializado na toxicidade do elemento.

Entre os outros elementos químicos analisados, os encontrados no ponto I-04, demonstrou ser o mais crítico quanto a grande concentração dos metais. O ponto I-04 apresentou uma concentração acima do limite da classe 2 nas concentrações de Níquel-Ni (58 ppm), Zinco-Zn (603 ppm) e Cobre-Cu (199 ppm) e acima dos limites da classe 1 nos elementos Chumbo-Pb (83 ppm) e Cromo-Cr (51 ppm). Comparando aos valores máximos das concentrações de metais em sedimentos no Lago Dongping, afluente do rio Dawen, no oeste da China (Wang *et al.*, 2015), encontrou valores para As (38,5 mg.kg), Pb (41,3 mg.kg), Cr (102,8 mg.kg) e Zn (115,4 mg.kg), apresentando o mesmo risco ecológico e fonte de poluição encontrados no trecho deste estudo no rio Ipojuca. Ressaltando que no estudo de

Wang *et al.* (2015), concluíram que o rio Dawen recebe descarga de efluentes industriais do Lago Dawen.

O efeito adverso causado pela elevação dos teores dos metais em sedimentos, especificamente a presença de Cr, Pb, Cu, devido as propriedades de mobilidade e disponibilidade, apresentam um alto nível de risco de contaminação na camada superficial, já com teores de 45,50, 44,80 e 34,71 mg.kg respectivamente (LIN *et al.*, 2018).

Tabela 6. Média das concentrações e desvio padrão dos metais presentes nas amostras de sedimentos do trecho do rio Ipojuca em Caruaru-PE.

	Al	Ca	Fe	K	Mg	Mn
				%		
Média	0,89	0,43	1,62	0,20	0,18	0,02
Valor Máximo	2,06	1,23	3,01	0,36	0,47	0,04
* Wedepohl	7,74	2,95	3,09	2,87	1,35	0,53
	Na	P	Ti	Ba	Be	La
		%		mg.kg ⁻¹		
Média	0,05	0,09	0,07	159,64	0,68	34,93
Valor Máximo	0,11	0,47	0,17	467	2	84
* Wedepohl	2,57	0,07	0,31	668	3,1	32,3
	Mo	Sr	Th	V	Y	Zr
				mg.kg ⁻¹		
Média	0,82	32,14	5,11	16,21	8,07	1,89
Valor Máximo	4	94	18	43	19	5
* Wedepohl	1,4	316	10,3	53	27	237
	As	Cr	Cu	Ni	Pb	Zn
				mg.kg ⁻¹		
Média	3,29	19,36	36,21	9,57	23,57	111,14
Valor Máximo	8,0	63	199	58	83	603
* Wedepohl	2	35	14,3	18,6	17	52
** ERL	8,2	81	34	21	47	150
** ERM	70	370	270	52	220	410

* Valores de Background.

** USEPA

O elevado teor de zinco também foi bastante expressivo, mostrando assim um nível crítico de contaminação. Em um trecho urbano do Rio São Francisco, no município de Três Marias em Minas Gerais, apresentou teores similares de contaminação severa pelo Zinco ($741,2 \text{ mg.kg}^{-1}$), onde o limiar do nível 2 é de 315 mg.kg^{-1} , levando-os a concluir que a presença dos resíduos industriais de atividade alimentícias, vestuários e atividades hidrometalúrgicas podem estar relacionados a severidade da contaminação (SILVA *et al.*, 2018). A presença destes metais, além de indicar possíveis danos à saúde pública também revelam ser uma ameaça de contaminação aos organismos bentônicos, pois se encontram em contato direto com os sedimentos (PEJMAN *et al.*, 2015).

5.2 Avaliação da contaminação por metais e aspectos toxicológico dos sedimentos

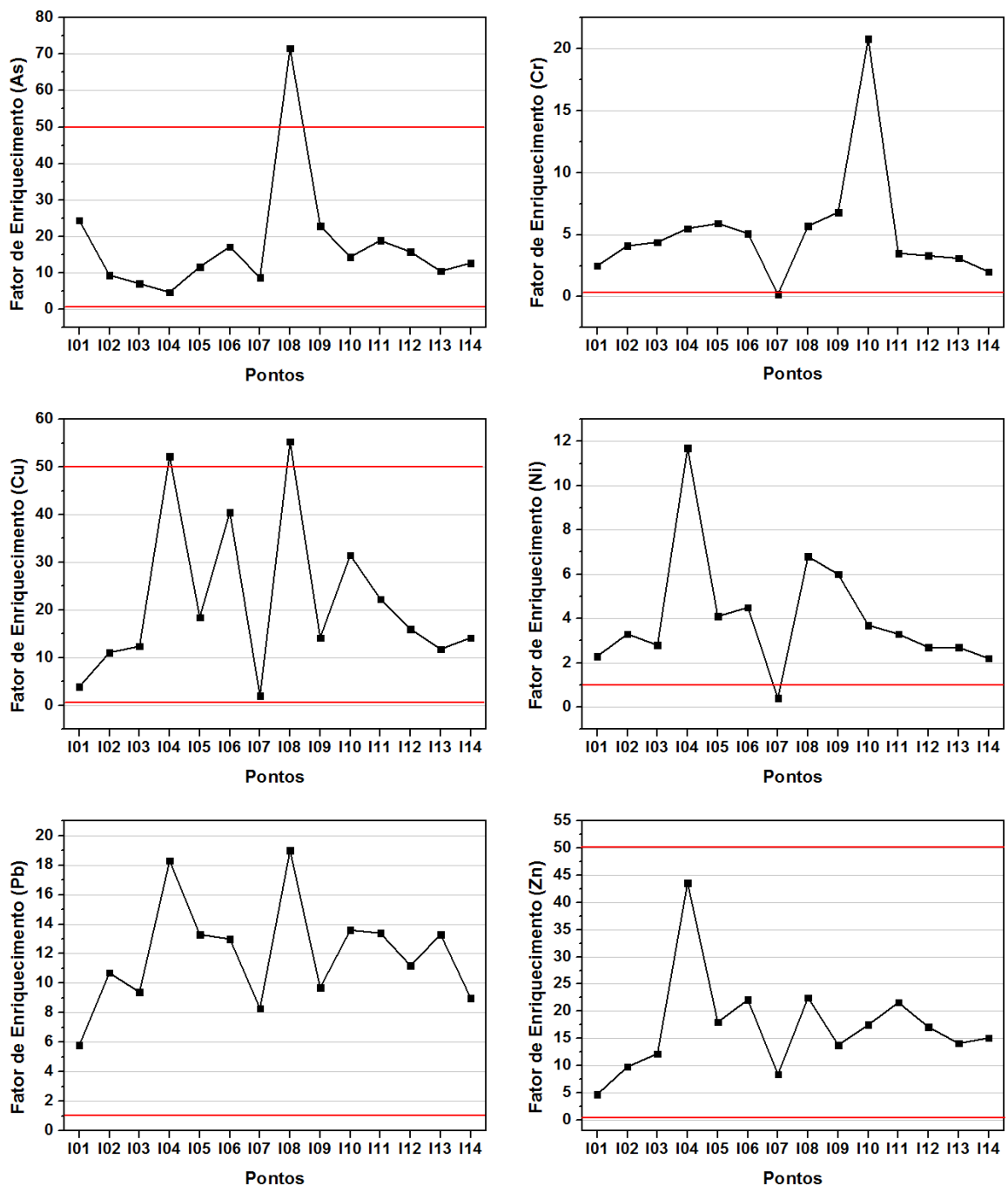
Avaliar a concentração dos elementos químicos, a fim de estabelecer o nível de contaminação ambiental, é fundamental para complementar os estudos das concentrações dos metais pesados nos sedimentos. O fator de enriquecimento utilizado neste trabalho teve como intuito, estabelecer a diferenciação entre os metais oriundos de atividades antrópicas e os de processo natural, avaliando o grau de influência antrópica no ambiente (GRESENS, 1967).

Os resultados mostraram que houve uma severa contaminação de As e Cu no ponto I-08, de Cu e Zn no ponto I-04 e Cu no ponto I-06 (figura 4), sendo classificado com enriquecimento extremamente severo. Na obtenção das médias foi verificado um enriquecimento significativo de As, Cr, Cu, Ni, Pb e Zn, onde apresentaram respectivamente às médias de $3,29 \text{ mg.Kg}^{-1}$, $19,36 \text{ mg.Kg}^{-1}$, $36,21 \text{ mg.Kg}^{-1}$, $9,57 \text{ mg.Kg}^{-1}$, $23,57 \text{ mg.Kg}^{-1}$ e $111,14 \text{ mg.Kg}^{-1}$ (tabela 6). Salientando que, aqueles valores acima de 1 apresentam um significativo teor de enriquecimento, ou seja, a possibilidade de ocorrer contaminação. Se o valor de FE apresentar entre 0,5 e 1, supõem-se que os metais podem ser inteiramente de materiais crustais ou processos naturais de intemperismo (ZHANG; LIU, 2002).

Entre os elementos analisados, As, Cr, Cu, Ni, Pb e Zn, apenas o arsênio, o cobre e o zinco (figura 4), foram os mais acumulados em pontos específicos de entrada de metais, o que representa o tipo de indústria que está influenciando na entrada desses elementos no rio Ipojuca, ainda nos mostra que a relação entre as fontes industriais e os elementos nestes ambientes urbanos estão inteiramente interligados (RATE, 2018). Os valores de As, Cu e Zn apresentaram um FE > 50, possivelmente devido à descarga de águas residuárias, aos resíduos de atividade indústria (predominantemente às lavanderias daquela região) e resíduos dos polos

comerciais. Os maiores valores de FE, juntamente com teor de argilominerais que compõem o sedimento, têm potencial para mobilidade e biodisponibilidade nos ecossistemas aquáticos (ISLAM, 2015). Além de que, os valores de $FE > 1$ nos informam que uma pequena parte do metal é fornecida a partir de materiais não-crustais, ou processos de intemperismo não naturais, de modo que, as fontes antropogênicas podem se tornar um importante contribuinte (FENG *et al.*, 2004).

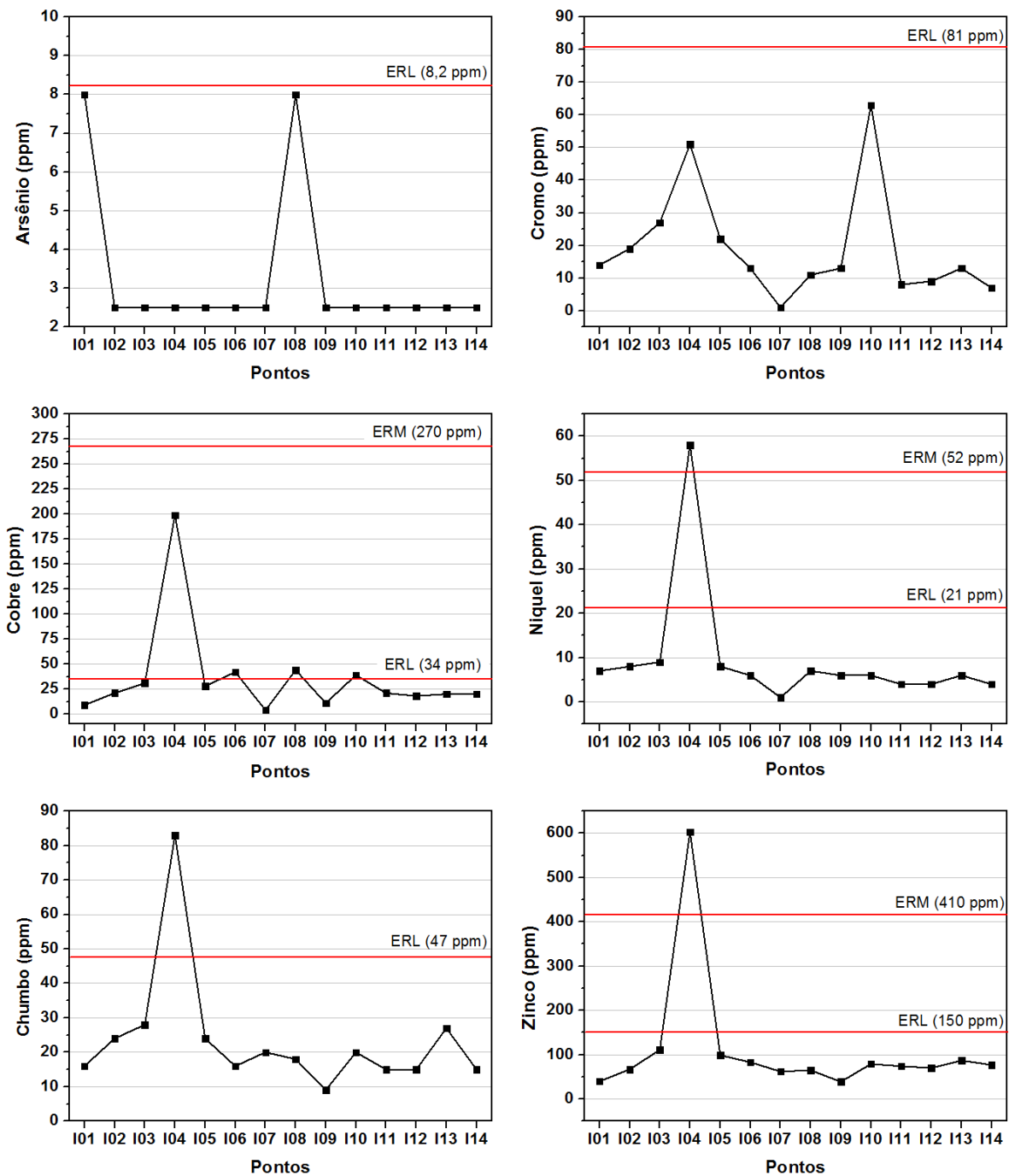
Figura 4. Fator de Enriquecimento em sedimentos superficiais dos elementos As, Cr, Cu, Ni, Pb e Zn no rio Ipojuca, Caruaru-PE.



Os valores de FE de Cr e Ni foram de pouco enriquecidos a enriquecimento severo, FE entre 3 a 25, com exceção ao ponto I-07, $FE \leq 1$ não enriquecido. Já nos valores de Pb, FE entre 5 e 20, valores entre moderadamente severo a enriquecimento severo. Em diversos pontos desta pesquisa foi verificado elevados valores de FE. De acordo com Islam (2015), os altos valores de FE indicam uma fonte antropogênica de metais pesados, oriundos de atividades industriais, urbanização, deposição de resíduos industriais e outros.

Na avaliação dos aspectos toxicológicos, utilizando os valores ERL e ERM foi possível verificar que alguns elementos apresentaram teor superior ao recomendável pela USEPA, como mostra na figura 5.

Figura 5. Concentração dos elementos As, Cr, Cu, Ni, Pb e Zn com seus respectivos valores de ERL e ERM.



Os dados nos informam que o único elemento que está abaixo dos valores de ERL e ERM é o Cromo em todos os pontos amostrais. Entretanto, os demais apresentaram valores iguais ou acima dos limites mínimo pra efeito tóxico. Pode-se observar que, o teor de Arsênio encontra-se no limiar do ERL no ponto I-08. Verificando assim o nível de poluição característica encontrado nos sedimentos em estudo. Os sedimentos contaminados por metais tóxicos se acumulam no tecido da biota levando então os elementos tóxicos a entrar na cadeia alimentar humana e assim ameaçar a saúde, além de causar a degradação e bioacumulação no ambiente (PEJMAN *et al.*, 2015; WANG *et al.*, 2012; ZHANG *et al.*, 2012).

As concentrações de Cu e Pb no ponto amostral I-04, apresentaram teores acima da faixa de efeito baixo (ERL) e no mesmo ponto, o Ni e Zn ultrapassaram a faixa de efeito elevado (ERM), indicando que esses metais apresentam ameaças aos organismos na área em estudo (figura 5). Nesta mesma área amostral, visualizamos os maiores teores dos metais pesados, o ponto I-04 é o mais relevante neste estudo devido as elevadas concentrações de poluentes, o que podemos deduzir que à amostra de sedimento pode ser predominantemente de textura argilosa. Já o ponto I-07, apresentou uma característica distinta dos demais, onde as amostras estavam dentro dos limites da USEPA. Diante disto, e das informações coletadas neste estudo podemos supor que, a topografia da área pode está influenciando no transporte destes sedimentos e ainda podemos supor que o curso alto e baixo de um rio pode influenciar nas diferenças significativas nos teores dos elementos biodisponíveis nos sedimentos (SILVA *et al.*, 2017).

O teor de chumbo ficou acima de ERL em apenas uma amostra, I-04 com 83 ppm, quase o dobro do valor recomendado pela USEPA (47 ppm), e nas demais amostras encontra-se inferior ao recomendado. Segundo Barrocas (2013), o Pb ocorre naturalmente na crosta terrestre com 13 mg.kg de concentração média. Vários sais de chumbo têm sido usados como pigmentos há milênios, visto que fornecem cores estáveis e brilhantes (BAIRD. 2002). Uma característica de contaminação por chumbo é que, quando o poluente é lançado no sedimento ou na água tende-se a se concentrar próximo às fontes, isso ocorre pela sua baixa solubilidade em água dos compostos de Pb (BARROCAS, 2013). Ainda sobre o mesmo local, ressaltamos que, a concentração de Zinco (603 ppm) e Níquel (58 ppm) são maiores que a de ERM (410 ppm e 52 ppm), apenas nesta amostra. Desta forma, podemos constatar em mais um estudo que o Ni e o Zinco têm efeitos biológicos frequentemente adversos em organismos aquáticos em toda a região investigada (PEJMAN *et al.*, 2015).

Outro elemento bastante representativo na área de estudo foi o Cobre (Cu), apresentando nível acima de ERL nos pontos, I-04, I-06, I-08 e I-10, respectivamente 199 ppm, 42 ppm, 44 ppm e 39 ppm, observa-se a concentração elevada no ponto I-04, mais uma vez apresentando um destaque em relação aos demais pontos amostrais. Em um estudo, realizado no Rio Peixe em Minas Gerais, foram encontrados valores de cobre acima do ERL, 147,7 mg.kg⁻¹ e 79,9 mg.kg⁻¹, a área deste estudo sofre influência direta das atividades agropecuárias e silviculturais (utilização de sulfato de cobre), e de esgoto doméstico (NASCIMENTO *et al.*, 2018). De acordo com Souza *et al.* (2015), conhecer as formas das ligações químicas nos sedimentos nos dá suporte para identificar às fontes de poluição, ainda sabe-se que sua especiação tem significado importante quanto à biodisponibilidade e à toxicidade.

5.3. Análise de Componentes Principais

Para a Análise de Componentes Principais – ACP, os dados foram combinados com duas variáveis, uma sendo o ponto da amostral de coleta e a segunda com as concentrações enriquecidas dos sedimentos. Assim, foi obtido pela análise comparativa, 40% da informação da variância em PC 1 e 20% em PC 2. Os elementos foram separados por grupos distintos apresentados nas figuras 6 e 7.

Observa-se na figura 6 que, a ACP compõe-se em 2 grupos, onde o grupo A é formado pelas amostras do eixo positivo do PC1, sendo elas I-04, I-06, I-08, I-09, I-10, I-11, I-12, I-13, I-14. Nestes grupos, foi possível correlacionar a concentração dos metais pesados, visto que, a maior diversidade e as maiores concentrações dos elementos estudados nesta pesquisa estão localizadas nestes grupos.

Já o grupo B, encontra-se no eixo negativo do PC1 e PC2 onde estão as amostras I-01, I-03 e I-05, já o I-02 e I-07 são os únicos no eixo positivo do PC2 deste grupo. Nesta porção amostral, I-02 e I-07, todas as concentrações dos elementos de As, Cr, Cu, Ni, Pb, Zn, encontram-se dentro dos padrões da USEPA, ou seja não apresentam riscos à biota e nem à saúde da população. Em pesquisas realizadas em um rio no trecho urbanizado na China, sugere-se que tais grupos de elementos podem ser originados de fontes naturais, como o intemperismo mineral e precipitação (WU *et al.*, 2017; WANG *et al.*, 2015).

Figura 6. Gráfico dos pontos amostrais obtidos pela Análise de Componentes Principais.

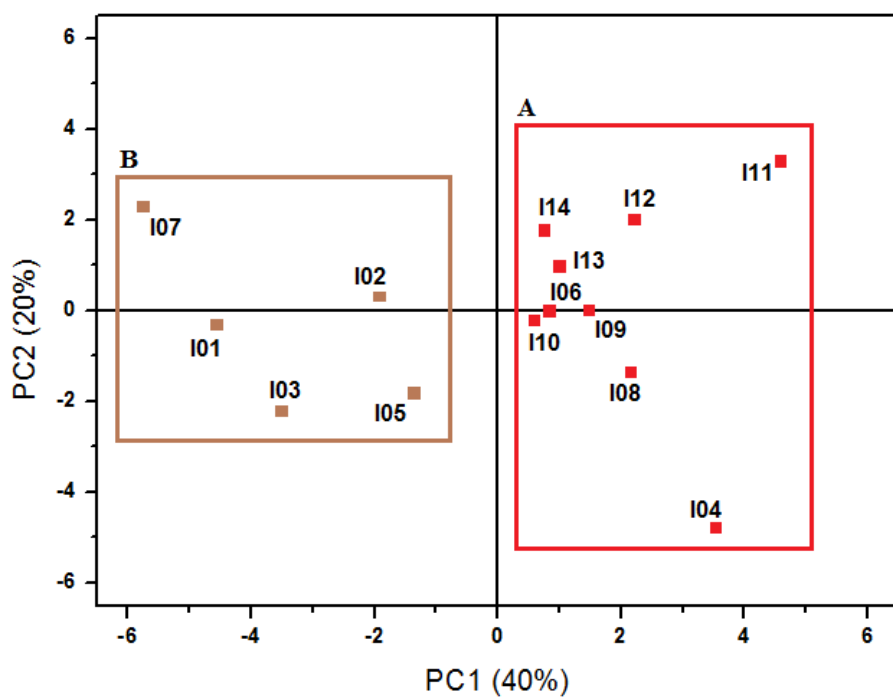
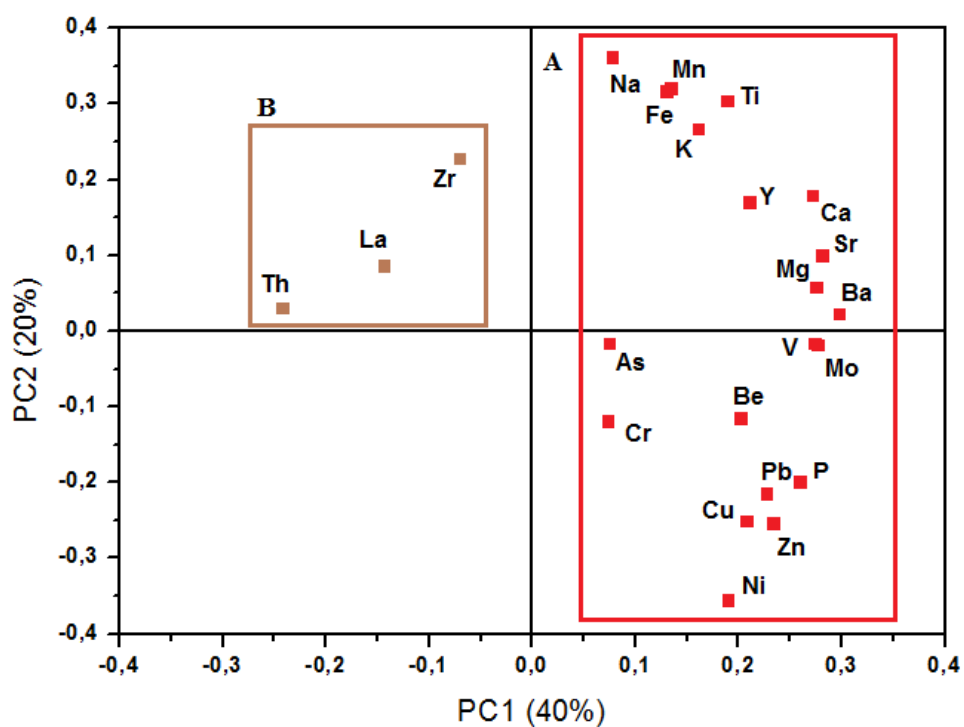


Figura 7. Gráfico dos elementos enriquecidos obtidos pela Análise de Componentes Principais.



A utilização deste método estatístico possibilitou ampliar a interpretação entre os elementos enriquecidos e os pontos amostrais. Ainda possibilitou retratar o comportamento geoquímico dos sedimentos no trecho em estudo (figura 8). Embora a ACP, seja um método de análise de dados descritivos, é possível adaptar sua aplicabilidade o que se torna útil para uma ampla variedade de situações e tipos de dados em várias disciplinas (JOLLIFFE; CADIMA, 2016).

A distribuição dos elementos apresentados no gráfico da figura 7, consta do resultado da análise multivariada dos elementos enriquecidos encontrados nas amostras de sedimentos. Da mesma forma, os dados também foram separados em grupos distintos, A e B. Com a compilação dos dados obtidos pela ACP, verificamos uma grande concentração dos elementos no grupo A, no eixo positivo do PC1 e PC2, observou-se que o maior foco de contaminação ambiental encontra-se neste eixo. Já o eixo positivo de PC2, a análise multivariada nos mostrou que o tório (Th), lantânio (La) e zircônio (Zr), foram representativos nos pontos I-01, I-02, I-03, I-05, I-07. Entre tais pontos, avaliamos que a proximidade de uma barragem no ponto I-01, a topografia e a pouca quantidade de lavanderias no entorno dos demais pontos pode ter influenciado na não interação entre os demais metais mais centralizados deste grupo.

Comparando os teores explícitos na figura 5 com as figuras 6 e 7, podemos analisar que as concentrações de Cu, Pb, Zn, P e Ni são bastante expressivos no ponto I-04, considerando que este ponto encontra-se por trás de um grande polo comercial de Caruaru, e os demais pontos então localizados ao longo do Centro Urbano do município de Caruaru-PE. Desta maneira podemos verificar que a urbanização produz cargas elevadas de diversos metais na rede fluvial. A Bacia do rio Sena, por exemplo, apresentam concentrações elevadas dos tais chamados metais urbanos, entre eles o chumbo, o cádmio, o cobre, e o zinco, em seu trecho urbano (ROSE; SHEA, 2007).

Ainda sobre o eixo positivo de PC1 e PC2, os resultados sugerem que nos pontos I-11, I-12, I-13 e I-14, apresentam um alta diversidade de concentrações de elementos (Na, Fe, Mn, Ti, K, Y, Ca, As, Sr, Mo, Mg, Ba), ressaltando que nestes pontos a concentração de lavanderias é maior em relação aos demais pontos amostrais, situam-se num ponto de maior elevação topográfica, assim nos possibilita relatar que devido a topografia do terreno este trecho apresenta um comportamento geoquímico distinto dos demais pontos amostrais e um maior aporte antropogênico dos metais para o ponto I-08.

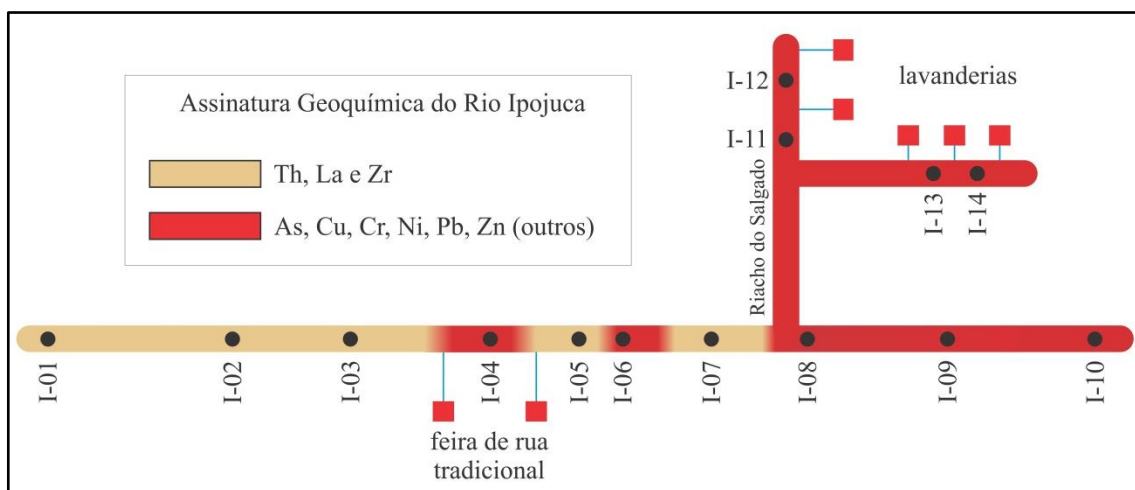
Contudo, podemos observar que neste eixo foram encontrados elementos que ao reagirem entre si formam o carbonato (Mg, Ca, Sr e Ba), muito utilizado no beneficiamento

de jeans. Os carbonatos são sais inorgânicos muito utilizados como corante têxtil, está sendo considerado como um dos principais poluentes, tornando-se necessário a aplicação de técnicas de correção mais avançadas (RAMAN, 2016, GHALY *et al.*, 2014, ROBINSON *et al.*, 2001). Esses elementos são bastante expressivos no eixo positivo de PC1, o que nos leva a constatar que, os pontos I-11, I-12, I-13 e I-14, trechos estes às margens do rio Salgado, contém contaminantes de característica da indústria de beneficiamento de jeans.

Ainda por meio da ACP, verificou-se que na área deste estudo existem dois comportamentos geoquímicos distintos (figura 8), iniciando a partir do trecho de interseção entre o rio Ipojuca e riacho Salgado. Conforme Ghaly *et al.* (2014), os efluentes de indústrias têxteis são complexos, consistem de corantes, álcalis, sais orgânicos e inorgânicos, ácidos e metais pesados. Por apresentarem tais características, os efluentes descartados de forma irregular podem causar diversos danos ao meio ambiente, por isso é fundamental a aplicação de meios para redução dos contaminantes em cursos d'água.

A propósito, a análise multivariada ainda nos mostrou que o grupo B (figura 6 e 7), demonstrou ser o trecho que não apresentou características de poluição, em contrapartida o grupo A (figura 6 e 7), apresentou ser o trecho mais poluído devido a concentração dos metais. Tal trecho está localizado no riacho Salgado, onde apresenta maior concentração de lavanderias em relação ao trecho do rio Ipojuca neste estudo.

Figura 8. Assinatura Geoquímica do Rio Ipojuca.



Pode-se verificar a distinção na figura 8, onde demonstra a assinatura geoquímica da área em estudo, principalmente a elevada concentração de metais em relação a grande quantidade de lavanderias. Conhecer o comportamento geoquímico dos sistemas fluviais urbanos trata-se de uma informação necessária para compreender a dinâmica e a sinergia entre a urbanização, a estrutura e função do fluxo geral (CONNOR, 2014). Diante disto, podemos constatar os trechos de maior vulnerabilidade ambiental no sentido da jusante e dois pontos específicos de maior concentração de metais pesados. Nestes dois pontos, I-04 e I-06, podemos considerar a presença das feiras populares, lançamento de esgoto doméstico e topografia do trecho a especificação da vulnerabilidade ambiental.

6. CONCLUSÃO

O trecho em estudo do rio Ipojuca apresentou um comportamento geoquímico característico de rios localizados em centro urbanos, onde os teores de metais pesados encontram-se acima ou nos limites estabelecidos pelos órgãos ambientais CONAMA e USEPA, ou seja, que sofre com as pressões antrópicas possibilitando para o aumento da poluição ambiental. O teores de metais pesados (As, Cr, Cu, Ni, Pb e Zn) no sedimento superficial do rio Ipojuca, apresentaram-se acima dos limites, evidenciando o trecho entre o riacho Salgado e rio Ipojuca. Ressaltando as concentrações de Cobre (Cu) e Zinco (Zn) no trecho I-04, onde é bem marcante a presença do polo comercial e de esgoto doméstico, visto que, os indicadores utilizados para avaliar da qualidade dos sedimentos variaram de enriquecimento muito severo a extremamente severo. Tal ponto pode ser considerado o mais poluído, conseqüentemente um trecho com maior vulnerabilidade ambiental, pois o mesmo ainda apresentou teores de toxidade acima de ERL e ERM, estabelecido pela USEPA.

De acordo com Análise de Componentes Principais, foi observado que existe um maior aporte nos pontos que correspondem ao trecho do riacho Salgado, I-11, I-12, I-13 e I-14, onde existe uma maior concentração dos metais pesados, baseado nos resultados da avaliação da qualidade dos sedimentos. Salientando o ponto I-08, ponto de encontro entre o riacho Salgado e o rio Ipojuca, apresenta valores acima do estabelecido de Arsênio (As) e Cobre (Cu), além de apresentarem teores de enriquecimento extremamente severo, ocasionando à contaminação do sedimento e por conseqüência acarretando danos à biota e à saúde humana.

A Análise de Componentes Principais possibilitou estabelecer a distinção do comportamento geoquímico da área em estudo e especificar o trecho com maior vulnerabilidade ambiental, onde a partir dos pontos I-08 até I-14, o comportamento geoquímico do sedimento muda, especificando este trecho do estudo sendo o mais poluído devido à influência direta das indústrias têxtil. Podemos verificar que, as amostras do lado negativo do eixo do PC1 e PC2 constam dos eixos que não apresentam poluição, apenas com os elementos terrígenos, já o eixo positivo, caracterizou expressivamente à poluição existente naquele trecho em estudo.

A área em estudo do riacho Salgado (I-08, I-11, I-12, I-13 e I-14), foi o trecho que apresentou maior concentração de metais pesados, devido a grande concentração de efluentes que são despejados pelas lavanderias do entorno, o que nos leva a concluir que o carreamento desses sedimentos contaminados por metais pesados para o rio Ipojuca vem contribuindo cada vez mais para a degradação do rio Ipojuca no trecho do Município de Caruaru-PE.

Diante disto, este trabalho contribuiu para o arcabouço científico quanto aos dados relativos ao comportamento geoquímico dos metais encontrados nos sedimentos do rio Ipojuca. Dessa forma, pode-se destacar neste estudo, que a realização de uma intervenção para contenção da poluição no ponto de encontro entre o riacho Salgado e o rio Ipojuca é uma forma de reduzir o carreamento dos sedimentos contaminados por metais pesados para o rio Ipojuca. Contudo, foi possível com esta pesquisa fornecer informações técnicas científicas para a gestão pública, quanto ao descarte dos efluentes e o acúmulo de metais nos sedimentos, para que se possam ser elaboradas medidas mitigatórias e preventivas para redução da contaminação do meio ambiente, e proporcionar alternativas sustentáveis. Ainda sugere-se que este estudo seja ampliado até a jusante, a fim de continuar o monitoramento com objetivo de verificar até onde vai a extensão do dano causado pela poluição urbana.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ADAMS, W. L. Aquatic toxicology testing methods. In: HOFFMAN, D. J.; RATTNER, B. A.; BURTON Jr., G. A.; CAIRNS Jr., J. **Handbook of ecotoxicology**. Ewis Publisher: CRC Press, 1995. p. 25-46.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA TÊXTIL E DE CONFECÇÃO. **Pernambuco recebe Circuito Abit/Texbrasil**. ABIT, 2015.

_____. Setor têxtil e de confecção brasileiro fecha 2017 com crescimento. **Notícias Abit**, São Paulo, 08 de dezembro de 2017.

ALVARES, C.A.; STAPE, J.L.; SENTELHAS, P.C.; GONÇALVES, J.L.M.; SPAROVEK, G. Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**. vol. 22 n°. 6, p. 711 – 728, 2013.

ALMEIDA, E. J. R.; DILARRI, G.; CORSO, C. R. A indústria têxtil no Brasil: uma revisão dos seus impactos ambientais e possíveis tratamentos para os seus efluentes. **Boletim das Águas**, Rio Claro, 2016. Disponível em: <<http://conexaoagua.mpf.mp.br/boletim-das-aguas/edicao-2016/>>. Acesso em 20 jan. 2018.

ANDRADE, D. F.; ROCHA, M. S. A toxicidade do arsênio e sua natureza. **Revista Acadêmica Oswaldo Cruz**. ano 3, n.10 2016.

AGÊNCIA DE PERNAMBUCANA DE ÁGUAS E CLIMA. **Bacia do Rio Ipojuca**. APAC, 2018. Disponível em: <http://www.apac.pe.gov.br/pagina.php?page_id=5&subpage_id=17>. Acesso em: 20 de jun. 2018.

BARROCAS, P. R.G. Metais. In: SISINNO, C. L. S.; OLIVEIRA-FILHO, E. C.. **Princípios de toxicologia ambiental: conceitos e aplicações**. Rio de Janeiro: Interciência. p. 39-73, cap. 4. 2013.

BARRETO, Luciano Vieira *et al.* Eutrofização em rios brasileiros. **Enciclopédia Biosfera, Centro Científico Conhecer-Goiânia**, v. 9, n. 16, p. 2167, 2013.

BAIRD, C. **Química Ambiental**. Porto Alegre: Bookman. 2 ed. 622p., 2002.

BERTOLETTI, E. **Controle ecotoxicológicos de efluentes líquidos no estado de São Paulo**. São Paulo: CETESB, 2008. 2 ed., 44 p., 2013.

BIONDI, C. M. Teores naturais de metais pesados nos solos de referência do estado de Pernambuco. 70 f. **Tese** (Doutorado em Ciência do Solo) – Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife, 2010.

BROTO, V. C.; ALLEN, A.; RAPOPORT, E. Interdisciplinary Perspectives on Urban Metabolism. **Journal of Industrial Ecology**, v. 16 n° 6, p. 851–861, 2012.

BUSS, M. V. *et al.* Tratamento dos efluentes de uma lavanderia industrial: avaliação da capacidade de diferentes processos de tratamento. **Revista de Engenharia Civil IMED**, v. 2, n. 1, p. 2-10, 2015.

CARVALHO, C. N. **Geoquímica ambiental: conceitos, métodos e aplicações**. Geochimica Brasiliensis. Rio de Janeiro, v.3, n.1, p.17-22, 1989.

CHAMBERS, Lisa G. *et al.* Developing the scientific framework for urban geochemistry. **Applied Geochemistry**, v. 67, p. 1-20, 2016.

AGÊNCIA ESTADUAL DE PLANEJAMENTO E PESQUISA DE PERNAMBUCO. **Bacias Hidrográficas de Pernambuco: estudo regional de ações estruturadoras na unidade de planejamento hídrico do rio Ipojuca**. Condepe/Fidem: Recife. p. 39-43, 2011.

CONNOR, Nicholas P. *et al.* Geochemical characteristics of an urban river: Influences of an anthropogenic landscape. **Applied geochemistry**, v. 47, p. 209-216, 2014.

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE. **Resolução nº 454**: Estabelece as diretrizes gerais e os procedimentos referenciais para o gerenciamento do material a ser dragado em águas sob jurisdição nacional. Diário Oficial da União, Conama, 2012.

COMPANHIA DE PESQUISA DE RECURSOS MINERAIS. **Diagnóstico do município de Caruaru**. Recife: CPRM-PRODEEM. 11 p., 2005.

CHEN, Chiu-Wen *et al.* Distribution and accumulation of heavy metals in the sediments of Kaohsiung Harbor, Taiwan. **Chemosphere**, v. 66, n. 8, p. 1431-1440, 2007.

CUNHA, F. G.; PESSANHA, L. A. C.; SHINTAKU, I. Ocorrência de Arsênio em sedimento de corrente no Estado do Espírito Santo. In: **Anais do XIV Congresso Brasileiro de Geoquímica**, Diamantina, MG, 2013.

CHAMBERS, Lisa G. *et al.* Developing the scientific framework for urban geochemistry. **Applied Geochemistry**, v. 67, p. 1-20, 2016.

DARNLEY, A.G.; BJÖRKLUND, A.; BOLVIKEN, B.; GUSTAVSSON, N.; KOVAL, P.V.; PLANT, J.A.; STEENFELT, A.; TAUCHID, M.; XUEJING, X. **A Global Geochemical Database for Environmental and Resource Management: Recommendations for International Geochemical Mapping**. Paris: UNESCO. 133 p., 1995.

ESPÍNDOLA, E. L.; BRIGANTE, J. ; DORNFELD, C. B. Estudos Ecotoxicológicos no rio Mogi-Guaçu. IN: BRIGANTE, J.; ESPINDOLA, E. L. **Limnologia fluvial: um estudo no rio Mogi-Guaçu** . São Carlos: RiMa. 2 ed. cap. 8, 129- 148 p., 2003.

FENG, Huan *et al.* 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.

FERREIRA, Valmir Alves Ferreira; DE OLIVEIRA, Ronaldo Alves; DE QUEIRÓZ, Éber Wesley Lemos. Instrumentos econômicos ambientais: estudo de caso em municípios pertencentes ao Pólo de confecções da região agreste do estado de Pernambuco. **Revista de Ciências Ambientais**, v. 9, n. 1, p. 31-48, 2015.

FORSTNER, U. WITTMANN, G. T.W. **Metal pollution in the aquatic environment**. 2 nd ed. New York: Springer-verlag, 1981. 488p.

FRANCO, T. Utilização de proxies geoquímicos para análise dos padrões de sedimentação na plataforma continental interna adjacente a foz do rio Doce. 2013. 74 f. **Dissertação** (Mestrado em Oceanografia Ambiental) – Universidade Federal do Espírito Santo, Aracruz, 2013.

GARDNER, C. B.; LONG, D. T.; LYONS, B. W. Urban Geochemistry. **Elsevier**. p. 1-2, 2017.

GHALY, A. E. *et al.* Production, characterization and treatment of textile effluents: a critical review. **J Chem Eng Process Technol**, v. 5, n. 1, p. 1-19, 2014.

GRESENS, R.L. Composition-volume relationships of metasomatism. **Chemical geology**. v. 2, p. 47-65, 1967.

GUEDES, J. A. Geoquímica e meio Ambiente. **Revista Geotemas**, v. 2, n. 1, p. 145-151, 2012.

GUARANTINI, C. C. I.; ZANONI, M. V. Corantes têxteis. **Quim. Nova**. 2000, vol. 23, nº1, 2000.

HOGAN, Daniel Joseph *et al.* Urbanização e vulnerabilidades socioambientais diferenciadas: o caso de Campinas. **Anais...** Foz do Iguaçu: ABEP. p. 1-25, 2016.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Área dos municípios**. IBGE, 2016. Disponível em: <http://www.bde.pe.gov.br/visualizacao/Visualizacao_formato2.aspx?CodInformacao=272&Cod=3>. Acesso em: 11 out. 2018.

ISLAM, Md Saiful *et al.* Heavy metal pollution in surface water and sediment: a preliminary assessment of an urban river in a developing country. **Ecological Indicators**, v. 48, p. 282-291, 2015.

JACOB, Jaya Mary *et al.* Biological approaches to tackle heavy metal pollution: A survey of literature. **Journal of environmental management**, v. 217, p. 56-70, 2018.

JOLLIFFE, Ian T.; CADIMA, Jorge. Principal component analysis: a review and recent developments. **Phil. Trans. R. Soc. A**, v. 374, n. 2065, p. 20150202, 2016.

KASILINGAM, K. *et al.* Trace element concentration in surface sediments of Palk Strait, southeast coast of Tamil Nadu, India. **Marine pollution bulletin**, v. 111, n. 1-2, p. 500-508, 2016.

KE, Xin *et al.* Ecological risk assessment and source identification for heavy metals in surface sediment from the Liaohe River protected area, China. **Chemosphere**, v. 175, p. 473-481, 2017.

KOENING, M. L.; LEÇA, E. E.; LEITÃO, S; N.; MACEDO, S. J.. Impactos da construção do Porto de Suape sobre a comunidade fitoplanctônica no estuário do rio Ipojuca Pernambuco-Brasil. **Acta bot. bras.** 2002. p. 407-420. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/abb/v16n4/a04v16n4>>. Acesso em: 17 out. 2017.

LATTIN, James; CARROLL, J. Douglas; GREEN, Paul E. **Análise de dados multivariados**. São Paulo: Cengage Learning, v. 475, p. 3-6, 2011.

LICHT, O. A. B. Geoquímica multielementar na gestão ambiental identificação e caracterização de províncias: Geoquímicas naturais, alterações antrópicas da Paisagem, áreas favoráveis à prospecção mineral e Regiões de risco para a saúde no estado do Paraná, Brasil. 236f. **Tese** (Doutorado em Geologia) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2001.

LICÍNIO, M. V. V. J. et al. Historical trends in sedimentation rates and trace elements accumulation in “Doce” river, Espírito Santo State, Brazil. **Cadernos de Geociências**, v. 12, n. 1-2, p. 13-24, 2015.

LIN, Junjie *et al.* Mobility and potential risk of sediment-associated heavy metal fractions under continuous drought-rewetting cycles. **Science of The Total Environment**, v. 625, p. 79-86, 2018.

LONG, Edward R.; FIELD, L. Jay; MACDONALD, Donald D. Predicting toxicity in marine sediments with numerical sediment quality guidelines. **Environmental Toxicology and Chemistry**, v. 17, n. 4, p. 714-727, 1998.

LONG, Edward R. *et al.* Incidence of adverse biological effects within ranges of chemical concentrations in marine and estuarine sediments. **Environmental management**, v. 19, n. 1, p. 81-97, 1995.

LOSKA, K. *et al.* Use of enrichment, and contamination factors together with geoaccumulation indexes to evaluate the content of Cd, Cu, and Ni in the rybnik waterreservoir in Poland. **Water, Air and Soil Pollution**, v. 93, n. 1-4, p. 347-365, 1997.

MAANAN, Mohamed *et al.* Environmental and ecological risk assessment of heavy metals in sediments of Nador lagoon, Morocco. **Ecological Indicators**, v. 48, p. 616-626, 2015.

MALETIĆ, Snežana *et al.* Potential for anaerobic treatment of polluted sediment. **Journal of environmental management**, v. 214, p. 9-16, 2018.

MEDEIROS, R. M. *et al.* Variabilidade da umidade relativa do ar e da temperatura máxima na bacia hidrográfica do Rio Uruçuí Preto. **Revista Educação Agrícola Superior**, v. 28, n. 1, p. 44-50, 2013.

MEDEIROS, C. A. **Geoquímica Urbana e Síndrome do Rio Urbano**. Cidadania e Meio Ambiente. 2016. Disponível em: < <https://www.ecodebate.com.br/2016/08/16/geoquimica-urbana-e-sindrome-do-rio-urbano-artigo-de-carlos-augusto-de-medeiros-filho/>>. Acesso em: 04 de abr. 2018.

MONTE, C. N. Análise da biodisponibilidade de metais a partir de ensaio de ressuspensão de sedimentos da Baía de Sepetiba, Rio de Janeiro. 2014. 94 f. **Dissertação** (Mestrado em Geociências) – Universidade Federal Fluminense, Niterói, 2014.

MORAES, A. S. **Comportamento geoquímico de elementos maiores e traço em solos e sedimentos no Complexo Industrial de Suape, Brasil**. Recife: Ed. Universitária UFPE, 2013, 169 p.

NASCIMENTO, Laura Pereira do *et al.* 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.

NAÇÕES UNIDAS. World urbanization prospects: the 2014 revision. Washington, D.C. **Economic and Social Affairs**. p. 1-4, 2014.

NUNES, Antonio Cunha *et al.* Concentrações dos metais pesados no sedimento da foz do Rio Imboaçú em constatação aos fatores críticos de degradação de bacias hidrográficas urbanas definidos por dados secundários. **Engevista**, v. 19, n. 5, p. 1303-1319, 2017.

OLIVEIRA-FILHO, E. C.; SISINNO, C. L. S. Fundamentos da toxicologia ambiental. In: SISINNO, C. L. S.; OLIVEIRA-FILHO, E. C.. **Princípios de toxicologia ambiental**. Rio de Janeiro: Interciência. p.19 - 26, 2013.

SISINNO, C. L. S.; OLIVEIRA-FILHO, E. C. **Princípios de toxicologia ambiental**. Rio de Janeiro: Interciência. cap. 1, p.5-16, 2013.

PEJMAN, Amirhossein *et al.* A new index for assessing heavy metals contamination in sediments: a case study. **Ecological indicators**, v. 58, p. 365-373, 2015.

POMPÊO, M. *et al.* Chemical elements in superficial sediments of five reservoirs in the Catalonia and Aragon region (Spain): Is there an anthropogenic contribution?. IN: Pompêo M.. **Ecologia de reservatórios e interfaces**. Instituto de Biociências USP: São Paulo, p. 251-277, 2015.

POMPÊO, Marcelo *et al.* Biodisponibilidade de metais no sedimento de um reservatório tropical urbano (reservatório Guarapiranga–São Paulo (SP), Brasil): há toxicidade potencial e heterogeneidade espacial?. **Geochimica Brasiliensis**, v. 27, n. 2, p. 104-119, 2013.

QUEIROZ, E. W. L; SILVA, V. A. F.; OLIVEIRA, R. A. Instrumentos econômicos ambientais: estudo de caso em municípios pertencentes ao pólo de confecções da região agreste do estado de Pernambuco. **Revista de Ciências Ambientais**, v. 9, n. 1, p. 31-48, 2015.

QI, S. *et al.* Geochemical sources, deposition and enrichment of heavy metals in short sediment cores from the Pearl River Estuary, Southern China. **Journal of Marine Systems**, v. 82, p. S28-S42, 2010.

RABELO, Gabriel Coimbra; NETO, José Biscaíno; FREIRE, Rosane. Concentração de matéria orgânica nas águas da porção urbana da bacia hidrográfica do Córrego do Limoeiro. **Periódico Eletrônico Fórum Ambiental da Alta Paulista**, v. 12, n. 3, 2016.

RAMAN, Chandra Devi; KANMANI, S. Textile dye degradation using nano zero valent iron: a review. **Journal of Environmental Management**, v. 177, p. 341-355, 2016.

RATE, Andrew W. Multielement geochemistry identifies the spatial pattern of soil and sediment contamination in an urban parkland, Western Australia. **Science of the Total Environment**, v. 627, p. 1106-1120, 2018.

RÉGIS, Cíntia Glasner *et al.* Use of *Tisbe biminiensis* nauplii in ecotoxicological tests and geochemical analyses to assess the sediment quality of a tropical urban estuary in northeastern Brazil. **Marine Pollution Bulletin**, v. 137, p. 45-55, 2018.

RECH, A. O zoneamento ambiental como plataforma de planejamento e sustentabilidade urbana. IN_____. **Instrumentos de desenvolvimento e sustentabilidade urbana**. Caxias do Sul, RS : Educs, 2014. cap. 2. p. 30-50.

ROBINSON, Tim *et al.* Remediation of dyes in textile effluent: a critical review on current treatment technologies with a proposed alternative. **Bioresource technology**, v. 77, n. 3, p. 247-255, 2001.

RIBEIRO, W. B.A. **Estudo de caso sobre o impacto ambiental causado por uma lavanderia de jeans na cidade de Caruaru-PE**. 31 f. 2016.

RODRIGUES, A. S. L. *et al.* Construção de mapas geoquímicos a partir de sedimentos ativos de margens oriundos do Rio Gualaxo do Norte, MG, Brasil. **MultiScience Journal**, v. 1, n. 1, p. 70-78, 2015.

ROSE, Seth; SHEA, Jacqueline A. Environmental geochemistry of trace metal pollution in urban watersheds. **Developments in environmental science**, v. 5, p. 99-131, 2007.

ROHDE, G. M. **Geoquímica ambiental e estudos de impacto**. São Paulo: Oficina de textos. ed. 4ª, p. 7- 25, 2013.

SÁNCHEZ, L. E. **Avaliação de impacto ambiental: conceito e método**. São Paulo: Oficina de textos. 2 ed., 2013.

SANTOS, Jessica Batista. Qualidade ecotoxicológica do sedimento de Caraguatatuba, SP. 117f. **Tese (Doutorado em Ciência)** - Universidade de São Paulo, São Paulo, 2016.

SANTOLIN, Camila Vidal Alves. Quantificação e avaliação ambiental da contaminação por metais e arsênio em sedimentos da bacia do Rio Doce-MG. 2015. 157 f. **Tese (Doutorado em Química)** - Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte.

SERVIÇO BRASILEIRO DE APOIO A MICRO E PEQUENAS EMPRESAS. **Estudo econômico do arranjo produtivo local de confecções do agreste pernambucano, 2012**, Recife, SEBRAE, 2013.

SILVA, Jaciara Clarissa *et al.* Aets no Polo de Confecções do Agreste Pernambucano: uma investigação comparativa no posto de trabalho de auxiliar de lavagem em três lavanderias têxteis de jeans. **Blucher Engineering Proceedings**, v. 3, n. 3, p. 833-844, 2016.

SILVA, D. C.; POMPÊO, M.; PAIVA, T. C. A ecotoxicologia no contexto atual no Brasil. IN: Pompêo *et al.* (Orgs.). **Ecologia de reservatórios e interfaces**. São Paulo: Instituto de Biociências da Universidade de São Paulo. cap. 22, 340 – 353 p., 2015.

SILVA, Julio César Jose *et al.* Determinação de Metais Pesados em Amostras de sedimentos superficiais da Bacia do rio São Francisco por espectrometria de massas com fonte de plasma acoplada indutivamente após decomposição ácida assistida por Radiação Micro-Ondas. **Eclética Química Journal**, v. 39, n. 1, p. 22-34, 2018.

SILVA, Fabio Leandro *et al.* Qualidade dos sedimentos do rio Monjolinho: índice de geoacumulação. **Revista Ciência, Tecnologia & Ambiente**, v. 4, n. 1, p. 79-87, 2017.

SILVA, D.; MENEZES, M. Design Têxtil: revisão histórica, surgimento e evolução de tecnologias. IN: XXI Simpósio Nacional de Geometria Descritiva e Desenho Técnico e X International Conference on Graphics for Arts and Design. 2013. Florianópolis- SC **Anais**. Florianópolis: Editora do CCE (Universidade Federal de Santa Catarina), 2013. p. 2-12.

SLATTERY, Michael C.; PHILLIPS, Jonathan D. Controls on sediment delivery in coastal plain rivers. **Journal of environmental Management**, v. 92, n. 2, p. 284-289, 2011.

SOUZA, Vivianne LB *et al.* Biodisponibilidade de metais-traço em sedimentos: uma revisão. **Brazilian Journal of Radiation Sciences**, v. 3, n. 1A, 2015.

SALOMONS, W.; FORSTNER, U. **Metals in the hydrocycle**. New York: Springer 1984. 349p.

SUKHDEV, P. *et al.* A economia dos ecossistemas e da biodiversidade: integrando a economia da natureza [Relatório de pesquisa]. Brasília: TEEB in BRAZIL, 2010.

THOMAS, R.; MEYDECK, L. The use of particulate material. IN: CHAPMAN, d. **Water Assessments – A guide to use of biota, Sediments an Water in Environmental Monitoring**. 2 ed. UNESCO/WHO/UNEP, 1996. cap. 4, 134-181.

THORNTON, Iain. Soil contamination in urban areas. **Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology**, v. 82, n. 1-2, p. 121-140, 1990.

THORNTON, Iain. Impacts of mining on the environment; some local, regional and global issues. **Applied geochemistry**, v. 11, n. 1-2, p. 355-361, 1996.

THORNTON, I. Metal contamination of soils in urban areas. **Soils in the urban environment**, p. 47-75, 1991.

TORREZANI, Larissa. Avaliação da contaminação antrópica por metais no sedimento de fundo na bacia do igarapé do Educandos, Manaus, Amazonas. 66f. **Dissertação** (Mestrado em Química) - Universidade Federal do Amazonas, Manaus, 2016.

TUNDISI, *et al.* Limnologia de Águas Interiores: Impactos, Conservação e Recuperação de Ecossistemas Aquáticos. IN book: Águas Doces No Brasil - Capital Ecológico, Uso e Conservação. 4ª ed., cap. 7, 2003-240 p., 2006.

U.S. EPA, U.S. Environmental Protection Agency. Methods for Collection, Storage and Manipulation of Sediments for Chemical and Toxicological Analyses: Technical Manual. EPA 823-B-01-002. Office of Water: Washington, DC. 2001. 251 p.

USEPA, 1998. EPA's Contaminated Sediment Management Strategy. Washington, USEPA, EPA-823-R-98-001.

VIRGILLITO, S. B. **Estatística Aplicada**. São Paulo: Edicon. 3 ed. 590 p. 2006.

WANG, Yunqian *et al.* Spatial distribution, ecological risk assessment and source identification for heavy metals in surface sediments from Dongping Lake, Shandong, East China. **Catena**, v. 125, p. 200-205, 2015.

WANG, Cong *et al.* Spatial variation and contamination assessment of heavy metals in sediments in the Manwan Reservoir, Lancang River. **Ecotoxicology and environmental safety**, v. 82, p. 32-39, 2012.

WEDEPOHL, K. Hans. The composition of the continental crust. **Geochimica et cosmochimica Acta**, v. 59, n. 7, p. 1217-1232, 1995.

WEN, Jia; ZENG, Guangming. Chemical and biological assessment of Cd-polluted sediment for land use: The effect of stabilization using chitosan-coated zeolite. **Journal of environmental management**, v. 212, p. 46-53, 2018.

WONG, C. S. C.; LI, X.; THORNTON, I. Urban environmental geochemistry of trace metals. **Environmental Pollution**, v. 142, n. 1, p. 1-16, 2006.

WOLMAN, A. The metabolism of cities. **Scientific American**, v. 213, n. 3, p. 178-193, 1965.

WU, J. Y. *et al.* Spatial distribution and risk assessment of heavy metals in the surface sediments of the Liao River. **Environ. Sci. Technol.**, v. 37, n. 6N, p. 268-273, 2014.

ZHANG, Wenfeng *et al.* Heavy metal pollution in sediments of a typical mariculture zone in South China. **Marine pollution bulletin**, v. 64, n. 4, p. 712-720, 2012.