



UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO PERNAMBUCO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AMBIENTAL

PAULA RAÍZA ALVES CAVALCANTE

AVALIAÇÃO DA ECOTOXICIDADE DOS RESÍDUOS
GERADOS EM LAVANDERIA DO POLO TÊXTIL DO AGRESTE
DE PERNAMBUCO UTILIZANDO COMO BIOINDICADOR O
PEIXE *ZEBRAFISH (DANIO RERIO)*

RECIFE – PE
JANEIRO/2024

PAULA RAÍZA ALVES CAVALCANTE

AVALIAÇÃO DA ECOTOXICIDADE DOS RESÍDUOS
GERADOS EM LAVANDERIA DO POLO TÊXTIL DO AGRESTE
DE PERNAMBUCO UTILIZANDO COMO BIOINDICADOR O
PEIXE *ZEBRAFISH (DANIO RERIO)*

Dissertação submetida ao Programa de Pós-graduação em Engenharia Ambiental da Universidade Federal Rural de Pernambuco, para obtenção do título de mestre em Engenharia Ambiental.

Área de concentração: Tecnologia e Gestão do Meio ambiente.

Linha de pesquisa: Gestão ambiental e Recursos Hídricos.

Orientadora: Profa Dra Rosângela Gomes Tavares

Coorientador: Prof Dr Pabyton Gonçalves Cadena

Coorientador: Prof Dr Rodrigo Cândido Passos da Silva

RECIFE – PE

JANEIRO/2024

PAULA RAÍZA ALVES CAVALCANTE

AVALIAÇÃO DA ECOTOXICIDADE DOS RESÍDUOS GERADOS EM LAVANDERIA DO POLO TÊXTIL DO AGRESTE DE PERNAMBUCO UTILIZANDO COMO BIOINDICADOR O PEIXE *ZEBRAFISH (DANIO RERIO)*

Dissertação submetida ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental da Universidade Federal Rural de Pernambuco, para obtenção do título de Mestre em Engenharia Ambiental, na Área de Concentração Tecnologia e Gestão do Meio ambiente – Gestão ambiental e Recursos Hídricos.

Aprovada em 30 de janeiro de 2024

Profa. Dra. Rosângela Gomes Tavares
Presidente da banca e Orientadora

BANCA EXAMINADORA:

Prof. Dr. Alex Souza Moraes (Membro Interno)

Profa. Dra. Thamiris Pinheiro Santos (Membro Externo)

Prof. Dr. André Sobral (Membro Externo)

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

- C377a Cavalcante, Paula Raíza Alves
Avaliação da ecotoxicidade dos resíduos gerados em lavanderia do polo têxtil do agreste de Pernambuco utilizando como bioindicador o peixe zebrafish (*Danio rerio*) / Paula Raíza Alves Cavalcante. - 2024.
77 f. : il.
- Orientadora: Rosangela Gomes .
Coorientador: Pabyton Goncalves Cadena e Rodrigo Candido Passos da Silva.
Inclui referências.
- Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal Rural de Pernambuco, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental, Recife, 2024.
1. indústria têxtil; . 2. efluente;. 3. lodo; . 4. toxicidade;. 5. animais aquáticos. I. , Rosangela Gomes, orient. II. Silva, Pabyton Goncalves Cadena e Rodrigo Candido Passos da, coorient. III. Título

CDD 620.8

Dedico esse trabalho aos meus pais, meus maiores incentivadores.

AGRADECIMENTOS

À Deus e a espiritualidade por toda proteção e direcionamento.

A todos aqueles que estiveram ao meu lado, me auxiliando, encorajando, me dando forças pra seguir sem desistir. Toda ação e palavra amiga levo no meu coração.

À Universidade Federal Rural de Pernambuco e ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental pela oportunidade.

À CAPES pela concessão da bolsa, sem ela não teria conseguido mudar de estado e colocar todo este projeto em prática.

À técnica Patrícia do Laboratório de Saneamento Ambiental (LABSAN), que foi essencial nesta trajetória, muito obrigada por toda ajuda e todo direcionamento.

À Duda por ter corrido comigo na leitura dos metais, você é maravilhosa e eu sou extremamente grata por sua ajuda.

À minha orientadora Rosângela e meus coorientadores Rodrigo e Pabyton. Este foi um grande grupo interdisciplinar que me levou aos melhores resultados possíveis, vocês foram minha base em todo esse trabalho, a vocês meu muito obrigada!

Aos meus queridos amigos do LECA, por todo ensinamento, amizade e parceria. Sou grata por ter tido vocês como parceiros, aprendi e ainda aprendo com todo conhecimento. Além disso, toda força, parceria e perseverança do LECA elevam a energia de cada cantinho daquele laboratório, vocês são a certeza que a união faz a força.

RESUMO

As lavanderias fazem parte do processo têxtil e geram grandes quantidades de efluentes (resíduos líquidos) que obrigatoriamente passam por tratamento antes do descarte nos corpos hídricos. O tratamento físico-químico gera o lodo têxtil, classificado como resíduo sólido não perigoso. A disposição do efluente tratado nos corpos hídricos está sujeita a análises físico-químicas e teste de ecotoxicidade para determinação da nocividade do composto no ambiente. Neste sentido, o presente trabalho visa analisar a ecotoxicidade dos resíduos gerados na Estação de Tratamento de Efluentes (ETE) de uma lavanderia do Polo Têxtil do Agreste do Pernambuco, localizada na cidade de Caruaru. O mapeamento das publicações científicas acerca do tema permitiu classificar o *zebrafish* como um modelo promissor para análises ecotoxicológicas de efluentes têxteis, com destaque para análises embrionárias e larvais, por serem de baixo custo, necessitarem de um curto período de tempo e respeitarem uma norma internacionalmente imposta (OCDE 236). Neste sentido foi avaliado o impacto dos efluentes e do lodo têxtil na fase embrionária e larval do *zebrafish*. Para o lodo foi realizada a solubilização e obtido o elutriato. Os efluentes e o lodo foram caracterizados em virtude de análises físico-químicas, foram avaliados pH, cor, turbidez, alcalinidade, cloreto, demanda química de oxigênio (DQO), dureza total, sólidos e metais. Para as análises ecotoxicológicas inicialmente foi o avaliado o desenvolvimento embrionário em 8 horas após a fertilização (hpf), por meio da epibolia. Essa análise permitiu a determinação das diluições ideais de cada efluente e do lodo, considerando a baixa coagulação (mortalidade) e o atraso no desenvolvimento. Com base nesses princípios as diluições estabelecidas para os testes de ecotoxicidade até 144 hpf, foram: Efluente tratado 6,3 % (ET 6,3%), Efluente tratado 12,5% (ET 12,5%), Efluente bruto 6,3% (EB 6,3%), Elutriato do lodo 6,3% (ELU 6,3%). Considerado todos os testes realizados o ELU 6,3% apresentou maior toxicidade, com retardo no desenvolvimento em todos os tempos estudados e alta mortalidade, indicando a alta toxicidade do lodo. Os animais afetados expostos ao EB 6,3%, ET 12,5% e ET 6,3% apresentaram deformação de coluna, deformação de cauda, edema de saco vitelínico e edema de pericárdio. Houve alteração na frequência cardíaca dos animais exposto ao ET 12% e EB 6,3%. Todos os efluentes afetaram a sensibilidade ao toque e a tigmotaxia indicando neurotoxicidade. Deste modo, observa-se que por mais que o tratamento do efluente bruto tenha se apresentado eficiente para redução de alguns parâmetros e da NBR 10004/2004 classificar o lodo como resíduo classe II, não perigoso, quando submetemos os efluentes e o elutriato do lodo a análises ecotoxicológicas mais complexas, como o estudo do desenvolvimento e comportamento animal, se observa que esses resíduos são tóxicos até mesmo em amostras diluídas. Alguns parâmetros avaliados neste estudo não são citados nas legislações, mas podem afetar a saúde ambiental. Os resultados apontam que a alta DQO afeta diretamente a vida aquática e o alumínio (Al) pode ser considerando um agente tóxico, sendo necessário estudos direcionados para determinação da toxicidade específica desse metal. A relação entre a DQO e o Al pode estar relacionada à efetividade do tratamento de efluentes que contenham esse metal, já que a DQO é um indicador da quantidade de matéria orgânica e inorgânica presente no efluente. Essas respostas indicam que o efluente têxtil e o lodo possuem compostos que induzem a ecotoxicidade até mesmo em amostras diluídas, com destaque para o atraso no desenvolvimento embrionário, danos teratogênicos, efeitos cardiovasculares e neurológicos. Este trabalho abre espaço para que outros parâmetros sejam considerados nas legislações ambientais, evitando que resíduos tóxicos sejam dispostos de forma incorreta nos corpos hídricos e no solo.

Palavras chaves: indústria têxtil; efluente; lodo; toxicidade; animais aquáticos

ABSTRACT

Laundries are part of the textile process and generate large quantities of effluents (liquid waste) that must undergo treatment before being discharged into water bodies. Physicochemical treatment generates textile sludge, classified as non-hazardous solid waste. The disposal of treated effluent into water bodies is subject to physicochemical analyses and ecotoxicity tests to determine the compound's harmfulness to the environment. In this sense, this study aims to analyze the ecotoxicity of the residues generated in the Effluent Treatment Plant (ETP) of a laundry in the Textile Polo of Agreste do Pernambuco, located in the city of Caruaru. Mapping of scientific publications on the subject allowed the classification of zebrafish as a promising model for ecotoxicological analyses of textile effluents, with emphasis on embryonic and larval analyses, as they are low-cost, require a short period of time, and comply with an internationally imposed standard (OCDE 236). In this sense, the impact of effluents and textile sludge on the embryonic and larval phase of zebrafish was evaluated. For the sludge, solubilization was carried out and the eluate was obtained. Effluents and sludge were characterized by physicochemical analyses, pH, color, turbidity, alkalinity, chloride, chemical oxygen demand (COD), total hardness, solids, and metals were evaluated. For ecotoxicological analyses, embryonic development was initially evaluated at 8 hours post-fertilization (hpf), through epiboly. This analysis allowed the determination of the ideal dilutions of each effluent and sludge, considering low coagulation (mortality) and delay in development. Based on these principles, the dilutions established for ecotoxicity tests up to 144 hpf were: Treated Effluent 6.3% (TE 6.3%), Treated Effluent 12.5% (TE 12.5%), Raw Effluent 6.3% (RE 6.3%), Sludge Eluate 6.3% (SE 6.3%). Considering all tests performed, SE 6.3% presented higher toxicity, with developmental delay at all studied times and high mortality, indicating the high toxicity of sludge. Affected animals exposed to RE 6.3%, TE 12.5%, and TE 6.3% showed spine deformation, tail deformation, yolk sac edema, and pericardial edema. There was a change in heart rate of animals exposed to TE 12% and RE 6.3%. All effluents affected touch sensitivity and thigmotaxis indicating neurotoxicity. Thus, it is observed that although the treatment of raw effluent has been efficient in reducing some parameters and the NBR 10004/2004 classifies sludge as class II waste, non-hazardous, when subjected to more complex ecotoxicological analyses, such as the study of animal development and behavior, it is observed that these residues are toxic even in diluted samples. Some parameters evaluated in this study are not mentioned in regulations but may affect environmental health. The results indicate that high COD directly affects aquatic life and aluminum (Al) can be considered a toxic agent, requiring targeted studies to determine the specific toxicity of this metal. The relationship between COD and Al may be related to the effectiveness of effluent treatment containing this metal, as COD is an indicator of the amount of organic and inorganic matter present in the effluent. These responses indicate that textile effluent and sludge contain compounds that induce ecotoxicity even in diluted samples, with emphasis on embryonic developmental delay, teratogenic damage, cardiovascular, and neurological effects. This work opens up space for other parameters to be considered in environmental regulations, avoiding toxic residues from being improperly disposed of in water bodies and soil.

Keywords: textile industry; effluent; sludge; toxicity; aquatic animals.

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	10
2	OBJETIVOS	11
2.1	Objetivo Geral	11
2.2	Objetivos Específicos	11
3	REVISÃO DA LITERATURA	12
3.1	Mapeamento bibliométrico	12
3.2	Indústria têxtil no Brasil	13
3.2.1	Polo têxtil do agreste do Pernambuco	14
3.2.2	Processo produtivo	14
3.2.3	Lavanderias e seus resíduos têxteis.....	15
3.3	Análise ecotoxicológica	17
3.3.1	Testes de ecotoxicidade com o zebrafish (Danio rerio)	18
 CAPITULO 1: MAPEAMENTO DAS PESQUISAS CIENTÍFICAS SOBRE ANÁLISES ECOTOXICOLÓGICAS COM ZEBRAFISH (DANIO RERIO) EM EFLUENTES TÊXTEIS ENTRE OS ANOS DE 2011 E 2021.....		
		31
1	INTRODUÇÃO	32
2	OBJETIVOS	34
3	METODOLOGIA.....	34
3.1	Amostragem (Etapa 1).....	34
3.2	Análises cienciométrica e bibliométrica (Etapa 2)	35
3.3	Revisão sistemática da literatura (Etapa 3).....	35
4.	RESULTADOS	36
4.1	Amostragem (Etapa 1).....	36
4.2	Análises cienciométrica e bibliométrica (Etapa 2)	37
4.2.1	Análise temporal das publicações	37
4.2.2	Distribuição das publicações	38
4.2.3	Análise estatística	41
4.3	Revisão sistemática da literatura (Etapa 3).....	42
5	CONCLUSÃO.....	46

REFERÊNCIAS	46
CAPITULO 2: ANÁLISE DA ECOTOXICIDADE DOS RESÍDUOS GERADOS EM UMA LAVANDERIA DO POLO TÊXTIL DO AGRESTE DE PERNAMBUCO UTILIZANDO COMO BIOINDICADOR O ZEBRAFISH (DANIO RERIO).....	52
1 INTRODUÇÃO	53
2 MATERIAL E MÉTODOS	55
2.1 Local e coleta do efluente e lodo	55
2.2 Caracterização do efluente e do lodo	56
2.3 Animais	57
2.4 Testes de ecotoxicidade.....	58
2.5 Endpoints analisados	59
2.5.1 Epibolia	59
2.5.2 Efeitos teratogênicos	60
2.5.3 Comportamento animal.....	60
2.6 Análises estatísticas.....	61
3 RESULTADOS	61
3.1 Caracterização físico-química	61
3.1.1 Caracterização do efluente bruto e tratado	61
3.1.2 Caracterização do lodo e elutriado do lodo	63
3.2. Testes de ecotoxicidade.....	64
3.2.1. Epibolia	64
3.2.2 Efeitos teratogênicos	65
3.2.3 Comportamento animal.....	68
4 DISCUSSÃO	68
5 CONCLUSÃO.....	71
REFERÊNCIAS	71
CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	77

1 INTRODUÇÃO

Os processos industriais geram preocupações ambientais por conta da exploração e degradação dos recursos ambientais (Opoku e Aluko, 2021). Dentre as indústrias com potencial poluidor está a indústria têxtil, que obtém destaque por conta da utilização de produtos químicos tóxicos e perigosos, que geram resíduos com essas mesmas propriedades levando ao aumento da poluição ambiental (Nidheesh *et al.*, 2022).

No Brasil, a indústria têxtil é uma cadeia produtiva bem estabelecida, sendo o quinto país com o maior polo têxtil do mundo (ABIT, 2023). Nesse seguimento destaca-se o polo têxtil do Agreste do estado do Pernambuco, que é composto por indústrias têxteis direcionadas para o processamento de algodão, de fibras sintéticas, confecção e lavanderias, as quais fazem parte do beneficiamento das peças (Araujo *et al.*, 2019).

As lavanderias necessitam de elevadas quantidades de água, cujo consumo depende do tipo de material tingido e finalizado (Ferreira *et al.*, 2019), gerando quantidades proporcionais de efluentes, que são considerados resíduos líquidos (Brasil, 2015). Os efluentes provenientes dessas indústrias possuem enxofre, naftol, corantes, nitratos, ácido acético, sabões, compostos de cromo e metais pesados como cobre, arsênico, chumbo, cádmio, mercúrio, níquel e cobalto (Kant, 2012). Mesmo após tratado os efluentes têxteis, são dispostos nos corpos hídricos e podem causar contaminação aquática, afetando os ecossistemas e a saúde humana (Khan *et al.* 2023). O processo de tratamento do efluente têxtil gera o lodo têxtil, que é composto por partículas sólidas presentes no efluente (Souza, 2017) e classificado como resíduo sólido classe II (ABNT, 2004).

Nesse sentido a lei de crimes ambientais (BRASIL, 1998) ressalta que o descarte de resíduos sem tratamento, ou cujo tratamento esteja em desacordo com os limites estabelecidos pelas legislações setoriais vigentes, configura-se crime ambiental. Além disso, a resolução nº 430 do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) estabelece que os efluentes provenientes de qualquer fonte poluidora só poderão ser lançados nos corpos receptores após terem passado por tratamento adequado, respeitando as legislações e os parâmetros estabelecidos pelos órgãos ambientais. Essa mesma resolução relata sobre a necessidade da realização de testes de ecotoxicidade para detectar a nocividade de um agente tóxico no ambiente. Para tal são utilizadas espécies ou comunidades biológicas como bioindicadores (Brasil, 2011).

Animais aquáticos, como os peixes, são muito utilizados para indicação da ecotoxicidade aquática (Braz e Longo, 2021). Dentre eles destaca-se o peixe *zebrafish* (*Danio rerio*), por sua

sensibilidade às alterações do meio (Gomes *et al.*, 2020). Essa espécie tem sido amplamente utilizada para pesquisas científicas relacionadas a neurociência, a farmacologia, toxicologia e meio ambiente (Shen e Zuo, 2020). As análises ocorrem por meio de observações relacionadas ao desenvolvimento embrionário, teratogenicidade, comportamento (Cadena *et al.*, 2020b), neurofisiologia (Fernandes *et al.* 2015), biologia reprodutiva (Teta e Naik, 2017), genotoxicidade (Zhang *et al.*, 2012), morfometria (Sales-Cadena *et al.*, 2021), análises citológicas, teciduais e bioquímicas (Trigueiro *et al.*, 2020). Os testes com *zebrafish* apresentam repostas significativas em curto período de tempo (Gomes *et al.*, 2020), respeitando os princípios da saúde, bem-estar animal (substituição, redução e refinamento), científicos e de conduta ética (Canedo *et al.*, 2022), além de uma norma internacional estabelecida para os testes de toxicidade com embriões (*FET Test*) contida na OECD 236 (2013).

Considerando a toxicidade dos efluentes e do lodo, provenientes das estações de tratamento das lavanderias têxteis, bem como a necessidade da realização de testes ecotoxicológicos para determinação da nocividade destes resíduos, o *zebrafish* apresenta-se como um bioindicador eficaz para realização de análises ecotoxicológicas dos resíduos têxteis (Thellmann *et al.*, 2014; Wang *et al.*, 2021). Neste sentido, o presente trabalho visa analisar a ecotoxicidade dos resíduos gerados na estação de tratamento de uma lavanderia do Polo Têxtil do Agreste do Pernambuco. Para fins de atendimento aos instrumentos legais do setor e identificação da nocividade desses resíduos para o bem-estar animal e a saúde humana, bem como a promoção de processos industriais sustentáveis.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo Geral

Avaliar a ecotoxicidade dos resíduos gerados na estação de tratamento de uma lavanderia do polo têxtil do agreste do Pernambuco utilizando como bioindicador o peixe *zebrafish* (*Danio rerio*).

2.2 Objetivos Específicos

- Mapear as pesquisas científicas publicadas em uma década (2011 - 2021) sobre testes de ecotoxicidade com *zebrafish* (*Danio rerio*) em efluentes têxteis;

- Analisar o impacto dos efluentes e do lodo gerados na estação de tratamento sobre o *zebrafish (Danio rerio)* na fase embrionária;
- Analisar o impacto dos efluentes e do lodo gerados na estação de tratamento no comportamento do *zebrafish (Danio rerio)* na fase larval.

3 REVISÃO DA LITERATURA

3.1 Mapeamento das pesquisas científicas

O mapeamento das pesquisas científicas consiste na análise e classificação das contribuições científicas acerca de determinados temas, permitindo avaliação de soluções, métodos e técnicas anteriormente adotadas, ressaltando os problemas abordados e os instrumentos utilizados, além da análise temporal, apresentação de tendências emergentes, lacunas na literatura e implicações futuras (Eramo *et al.*, 2024).

O embasamento do mapeamento científico deve considerar trabalhos científicos publicados, possibilitando o conhecimento e a análise do que já foi estudado sobre o tema (Guedes *et al.*, 2022), isso é fundamental para a definição da problemática e o esclarecimento do estado atual da questão, direcionando o processo de tomada de decisão (Thiago; Fernandes, 2021) e permitindo uma avaliação abrangente do campo teórico por meio da avaliação estatística, identificação de estudos, autores e das áreas relevantes de forma temporal e específica (Xu *et al.*, 2018). Análises como bibliometria, cientometria e revisão sistemática proporcionam o mapeamento bibliométrico (Guedes *et al.*, 2022; Xu *et al.*, 2018), de modo que os dados são avaliados de forma quanti e qualitativa, permitindo descrições, conclusões estatísticas e avaliação da circulação da temática (Branco e Farias, 2020). A união dessas análises possibilita uma interpretação mais abrangente do campo de estudo, visto que relaciona diferentes métodos que se completam na interpretação e discussão dos resultados (Xu *et al.*, 2018).

A bibliometria e a cientometria são ferramentas quantitativas (Zhang *et al.*, 2022). No entanto, a bibliometria é uma ciência constituída por leis e princípios matemáticos e estatísticos com intuito de realizar diagnóstico, mapeamento e prognóstico dos elementos que fazem parte da área do conhecimento estudada, avaliando a frequência com que determinadas palavras aparecem nos textos, indicando a relevância e correlacionando temas dentro do eixo temático estudado (Guedes, 2012). Enquanto cientometria possui o intuito de entender o

desenvolvimento científico avaliando a produção e circulação do conhecimento, computando os números de trabalhos publicados, os anos das publicações, os periódicos, localidades, autores e filiações institucionais (Branco e Farias, 2020).

A revisão sistemática da literatura fornece uma visão geral do campo de estudo, indicando as metodologias mais utilizadas, as soluções, conclusões e obstáculos encontrados, direcionando uma discussão crítica sobre as temáticas e avaliando o desempenho dos conceitos adotados (Hernandez *et al.*, 2024). Esse tipo de análise permite a descoberta de lacunas nas pesquisas científicas e nos campos temáticos estudados, pois fornece uma perspectiva ampla e minuciosa dos trabalhos, possibilitando o direcionamento de estudos futuros (Mandal e Thakur, 2024).

3.2 Indústria têxtil no Brasil

Dentre os setores produtivos em destaque no Brasil a indústria têxtil se sobressai de forma significativa, possuindo influência cultural, econômica e social (Ravadelli, 2021). Análises realizadas por Filleti e Boldrin (2020) concluíram que este setor possui uma grande relevância na economia do país, tendo em vista a geração de renda e de empregos. Os autores ressaltam ainda que as indústrias têxteis brasileiras possuem equipamentos de qualidade, mão de obra e matéria prima suficientes para o atendimento das demandas. Na produção têxtil a nível global destacam-se China, Estados Unidos, Índia, Paquistão, Brasil, Indonésia, Taiwan, Turquia, Bangladesh e Coreia do Sul (Raja *et al.*, 2019).

De acordo com a Associação Brasileira da Indústria Têxtil e de Confecção (ABIT) (2022), o Brasil tem destaque no cenário mundial por conta da tecnologia, criatividade e dimensão do parque têxtil do país, sendo o quinto maior polo do mundo, segundo maior produtor de *denim* (jeans) e o terceiro maior produtor de malha. Considerando os dados de 2020, são 24,6 mil empresas espalhadas pelo território nacional, empregando mais de 1,3 milhão de trabalhadores, produzindo em média 9,04 bilhões de peças de vestuário por ano e gerando um faturamento de R\$161,4 bilhões anualmente.

As indústrias têxteis e de confecção brasileiras são responsáveis pela quarta maior cadeia produtiva integrada e verticalizada do mundo, sendo a maior do Ocidente, por meio da produção de fibras (naturais e químicas), vestuário, passando por fiação, tecelagem, malharia e beneficiamento, e chegando ao varejo e ao forte *e-commerce* de moda (CETESB, 2023). Além da produção convencional de tecidos e peças, novas tecnologias estão surgindo, como os *nonwoven*, têxteis técnicos, têxteis médicos e têxteis industriais (Raja *et al.*, 2019).

3.2.1 Polo têxtil do agreste do Pernambuco

O arranjo produtivo local (APL) de confecções de Pernambuco, estabelecido como o Polo Têxtil do Agreste de Pernambuco, é formado por 10 municípios que compõem um forte setor produtivo na região, sendo eles: Agrestina, Brejo da Madre de Deus, Caruaru, Cupira, Riacho das Almas, Santa Cruz do Capibaribe, Surubim, Taquaritinga do Norte, Toritama e Vertentes. Dentre essas cidades, Santa Cruz do Capibaribe, Toritama e Caruaru destacam-se na produção e na venda de vestuários (SEBRAE, 2013).

Xavier (2020) ressalta que o APL foi estabelecido em virtude da intensificação das atividades de confecção nos últimos anos, induzindo mudanças econômicas e sociais. De acordo com o autor, o crescimento das atividades produtivas alterou a estrutura das cidades, que buscavam espaços para alocação das indústrias e para construção de centros de distribuições de peças. Assim, a indústria têxtil se tornou a principal fonte de renda da população local. Com base nas estimativas do SEBRAE (2013), são 18.803 unidades produtivas no polo têxtil do Agreste do Pernambuco formados, em sua maioria, por micro e pequenas empresas.

A produção têxtil do APL levou a crescimentos econômicos consideráveis para os municípios envolvidos e para o estado do Pernambuco. Com base no Produto Interno Bruto (PIB), entre os anos de 2000 a 2010, a economia do estado cresceu uma vez e meia mais rapidamente que a economia do Brasil. Em 2010, o PIB conjunto dos municípios que compõem o APL alcançou R\$3,9 bilhões, representando 5% do PIB do estado (SEBRAE, 2013).

Em 2019 a Agência de Desenvolvimento Econômico do Pernambuco (ADEPE) afirmou que o APL do agreste do estado movimentava por ano cerca de R\$6 bilhões, e gera em torno de 250 mil empregos formais e informais, sendo a produção superior a 225 milhões de peças por ano (ADEPE, 2019). Araujo *et al.* (2019) destacam que além do fortalecimento da economia, pela produção têxtil em si, o Polo também possui fortes raízes culturais, levando ao desenvolvimento do turismo local.

3.2.2 Processo produtivo

A organização industrial têxtil e de confecção possui um fluxo linear de atividades, caracterizando uma longa cadeia produtiva que necessita de integração entre seus sistemas e produtos (Novais, 2021). A estrutura da cadeia produtiva têxtil e de confecção é iniciada na produção das fibras, seguindo para fiação, tecelagem ou malharia, e por fim o beneficiamento,

sendo este o último processo têxtil propriamente dito, tendo em vista a inclusão de insumos químicos (ABIT, 2013, 2023).

A matéria prima para confecção das peças é composta por fibras naturais, como algodão e linho, fibras sintéticas, como poliéster, polipropileno, náilon e acrílico, e fibras artificiais, como rayon viscosa e acetato (Mendes Junior, 2021). Essas fibras são transformadas em fios nas fábricas de fiação e seguem para tecelagem e malharia, que tratam das emendas e entrelaçamento dos fios, formando os tecidos (Maestri *et al.*, 2021). Na tecelagem são formados tecidos planos, onde os fios passam pelo urdimento e são entrelaçados formando ângulos retos. Já para formação dos tecidos de malha os fios são ligados por laçadas. Em ambos processos os fios passam pela engomagem, para a aumentar a resistência das fibras (Viana *et al.*, 2018). Ao final do processo têxtil, os tecidos são direcionados para o beneficiamento, onde passam por processos como tinturaria, estamparia e lavanderia (Mendes Junior, 2021).

O beneficiamento possui o intuito de enobrecer e aumentar a qualidade dos tecidos com base nos aspectos estéticos desejados, agregando valor e adicionando características, como cor, textura, caimento, brilho, conforto e entre outros aspectos (Monteiro, 2018). O processo inicial consiste no preparo do tecido para a tintura (parcial ou total) ou estamparia. Nesta etapa as fibras passam por um processo de preparação para a retirada de todas as impurezas presentes, aumentando assim a aderência dos corantes. Após o tingimento completo as peças são direcionadas para as lavanderias industriais (Demarchi e Santana, 2022).

Em quase todos esses processos há geração de resíduos sólidos, líquidos e gasosos. Salienta-se que os resíduos podem se apresentar nestes três estados com base nos estabelecimentos da Lei de Crimes Ambientais (BRASIL, 1998) e da Política Nacional de Meio Ambiente (BRASIL, 1981). Desde o processo de fiação até a confecção das peças são gerados resíduos sólidos, como restos de fibras, fios rompidos, restos de tecidos, embalagens, resíduos comuns, resíduos da queima das caldeiras (cinzas, fuligem ou escória) e lodo do tratamento dos efluentes (FIEMG; FEAM, 2014). O processo de beneficiamento gera grande parte dos resíduos líquidos em virtude da geração de efluentes industriais provenientes das lavanderias têxteis. (SILVA; XAVIER, 2020). Os resíduos gasosos referem-se as emissões atmosféricas proporcionadas pelos solventes e caldeiras (FIEMG; FEAM, 2014).

3.2.3 Lavanderias e seus resíduos têxteis

Na industria têxtil de vestuário as lavanderias tratam especialmente peças de algodão, brim e jeans com o intuito de melhorar a qualidade das peças e atribuir características ao produto

final (FIEMG; FEAM, 2014). Para os jeans, além da limpeza são adotados procedimentos físicos e químicos para a caracterização e melhoramento das peças, no seguimento do *design* proposto (Araujo *et al.*, 2019).

O processo é iniciado com a recepção das peças, que seguem para as lavagens, centrifugação e secagem, acabamento e expedição. As lavagens geralmente passam por etapas de desengomagem, estonagem, tingimento, clareamento, neutralização, limpeza (alvejamento) e amaciamento (Araujo *et al.*, 2019). A depender das características desejadas as peças ainda passam por procedimentos como descoloração, lavagem *Dirty* (sujos), aplicação de *laser*, pedras, lixas e esmeril, estonados, efeitos amarrotados, entre outros (Monteiro, 2018). Após a aplicação dos efeitos as peças são passadas com ferro a vapor e expedidas (Lorena *et al.*, 2018).

As lavanderias industriais necessitam de grande quantidade água nos seus processos, em torno de 50 litros por peça. Durante os procedimentos é necessário a inserção de água limpa e produtos químicos para atender as necessidades de cada etapa, gerando efluentes que são homogêneos e direcionados para estação de tratamento (Silva e Xavier, 2020). A estação de tratamento gera o efluente tratado e o lodo. Esses resíduos possuem um alto potencial poluidor tendo em vista os produtos químicos inseridos nos processos de beneficiamento, onde poluentes como: hidróxido de sódio, surfactantes, sabões, gorduras, ceras, peróxido de hidrogênio, metais, sais, e solventes, podem estar presentes (Holkar *et al.*, 2016). Dentre os resíduos produzidos pela indústria têxtil, os efluentes e o lodo apresentam características tóxicas mais prejudiciais, por possuírem compostos complexos e recalcitrantes (Ramos *et al.*, 2020).

Os resíduos sólidos são definidos como materiais ou substâncias resultantes de atividades antrópicas, na qual a destinação se procede, ou irá proceder, nos estados sólidos ou semissólidos, de acordo com o art. 3º da Política Nacional de Resíduos sólidos (Brasil, 2010). Deste modo, o lodo é considerado como um resíduo sólido gerado na estação de tratamento de esgoto, por meio de processos de decantação (CONAMA, 2020).

Os efluentes gerados nas lavanderias têxteis são considerados resíduos líquidos (Brasil, 1998; Brasil, 1981), o efluente têxtil bruto é direcionados para a estação de tratamento de efluentes, respeitando a obrigatoriedade estabelecida pela resolução nº 430 do CONAMA e a Lei de Crimes Ambientais (Brasil, 1998; Brasil, 2011) que estabelecem que os efluentes só podem ser dispostos nos corpos hídricos após tratamento que proporcione a redução da carga poluidora com base nos valores previamente estabelecidos. Comumente o sistema de tratamento estabelecido nas lavanderias envolve o processo físico-químico convencional, onde o efluente passa por um sistema de gradeamento e segue para tanques de coagulação e floculação. O sobrenadante é descartado nos corpos hídricos (efluente tratado) e a parte sólida

(lodo) é direcionada para secagem (Ramos *et al.*, 2020). O lodo gerado é considerado tóxico por conta da concentração de poluentes (Silva e Xavier, 2018).

O potencial poluidor do efluente têxtil foi observado por Pizato *et al.* (2017). A caracterização realizada pelos autores apresentou elevados valores de demanda bioquímica de oxigênio (DBO), demanda química de oxigênio (DQO), fenóis totais, sólidos sedimentáveis, intensa coloração e alto índice de ecotoxicidade, que foi observado por meio do bioindicador *Artemia salina*. No mesmo sentido, Ramos *et al.* (2020) reafirmaram que esses efluentes possuem alta concentração de matéria orgânica, considerando análises da DQO e DBO, o que leva ao aumento da geração de resíduos sólidos ou semissólidos (lodo) ao final do processo de tratamento dos efluentes. Lorena *et al.* (2018) salientam que durante o processo de lavagem são gerados riscos ambientais, provenientes do desequilíbrio que a disposição incorreta dos resíduos pode gerar nos ecossistemas, na qualidade do ar, da água e do solo, além do desmatamento da flora nativa, visto que as lavanderias utilizam lenha para alimentar as caldeiras.

3.3 Análise ecotoxicológica

A ecotoxicologia busca determinar os riscos existentes e os efeitos adversos produzidos pela interação entre determinadas substâncias e o meio ambiente, podendo demonstrar a ação prejudicial à natureza, à saúde humana e a outros organismos. Assim sendo, a ecotoxicidade é definida como a resposta adversa (prejudicial ou perigosa) de um organismo a uma substância química ou uma solução formada por compostos químicos (Mccarty, Borgert e Burgoon, 2020).

A avaliação da ecotoxicidade torna-se mais completa quando relaciona análises físico-químicas com testes com organismos (Greenstein, Parks e Bay, 2019). De acordo com Li, Zhang e You (2018) a prévia avaliação dos compostos físico-químicos direciona a identificação dos contaminantes, que deve corroborar e esclarecer as repostas obtidas nos testes de ecotoxicidade. A adoção dessas análises conjuntas diminui as incertezas e pode levar ao estabelecimento de medidas mais eficazes de controle de poluição e recuperação ambiental (Gomes *et al.*, 2020; Mendonça *et al.*, 2022). Os organismos utilizados nos testes ecotoxicológicos são bioindicadores que podem pertencer ao meio aquático ou terrestres, como plantas, mamíferos, microrganismos, aves, peixes e insetos (Cagni *et al.*, 2022). No quadro 1 são apresentados alguns bioindicadores de diferentes ambientes e ecossistemas utilizados para indicação da toxicidade.

Quadro 1: Bioindicadores utilizados para testes de toxicidade ambiental

Bioindicador	Ambiente	Fatores avaliados	Referencia
Milho (<i>Zea mays</i>), tomate (<i>Solanum lycopersicum</i>), alface (<i>Lactuca sativa</i>), cebolinha (<i>Allium cepa</i>), repolho (<i>Brassica oleracea</i>), pepino (<i>Cucumis sativus</i>)	Terrestre	Efeitos tóxicos do alumínio presente no lodo de Estação de tratamento de água	Sousa <i>et al.</i> (2022)
Minhocas (<i>Eisenia fetida</i> e <i>Eisenia</i>)	Terrestre	Perda de função de habitat do solo e os riscos da aplicação de agrotóxicos no ambiente	Azevedo e Coronas (2019)
Musgos do Filo Bryophyta	Terrestre e aquático	Impactos gerados pelo descarte indevido de substâncias que contêm metais pesados em sua composição.	Souza, Nobrega e Pontes (2017)
Traíra (<i>Hoplias malabaricus</i>), carpa comum (<i>Cyprinus carpio</i>), fathead minnow (<i>Pimephales promelas</i>) e zebrafish (<i>Danio rerio</i>)	Aquático	Qualidade dos ecossistemas aquáticos	Ribeiro e Américo-Pinheiro (2018)
Tilápia (<i>Oreochromis niloticus</i>)	Aquático	Respostas sub-letais a concentrações agrotóxicos	Américo-Pinheiro <i>et al.</i> (2019)
Carpa prussiana (<i>Carassius gibelio</i>) e carpa comum (<i>Cyprinus carpio</i>),	Aquático	Bioacumulação de metais tóxicos	Tokatli (2022)
Salmonete (<i>Mullus surmuletus</i>), boga (<i>Boops boops</i>) e anchova (<i>Engraulis encrasicolus</i>)	Aquático	Efeitos tóxicos causados pela ingestão de microplásticos presentes no mar	Capó <i>et al.</i> (2022)
Zebrafish (<i>Danio rerio</i>)	Aquático	Efeito tóxico de metais pesados (mercúrio, arsênio, cromo, zinco, níquel, cobre, cádmio)	Kollar <i>et al.</i> (2018)
Zebrafish (<i>Danio rerio</i>)	Aquático	Efeitos tóxicos da exposição de dois pesticidas	Jiang <i>et al.</i> (2022)

Fonte: Elaborado pela autora (2023).

3.3.1 Testes de ecotoxicidade com o zebrafish (*Danio rerio*)

Dentre os bioindicadores aquáticos o zebrafish (*Danio rerio*) se destaca na identificação dos efeitos tóxicos de substâncias que podem afetar a saúde e a sobrevivência dos animais interferindo no equilíbrio ambiental (Américo-Pinheiro e Mercado, 2022). Essa espécie tem sido muito utilizada na determinação da biossegurança de produtos farmacêuticos e no rastreamento ecotoxicológico de poluentes, por fornecer resultados em curto período de tempo, com alta rastreabilidade por menor custo (Lopes-Ferreira *et al.*, 2021).

No Brasil o *Danio rerio* é conhecido como zebrafish ou paulistinha. É um peixe teleósteo que mede entre 3 e 4 cm, pertence à família *Cyprinidae* (Schneider *et al.*, 2009). O zebrafish possui corpo fusiforme com listras horizontais claras e escuras, é um peixe de água

doce natural do sul e sudeste asiático, frequentemente encontrado em lagoas rasas. Apresenta uma fácil adaptabilidade em laboratório pelo seu tamanho, rápido desenvolvimento e frequente reprodutividade, com disponibilidade de alimento os peixes se reproduzem durante todo o ano. O crescimento rápido ocorre nos três primeiros meses, o crescimento cessa por volta dos 18 meses. O tamanho dos animais varia de acordo com a disponibilidade de espaço e alimento (Spence *et al.*, 2008).

Dentre as vantagens da utilização do *zebrafish* como modelo animal, destaca-se: baixo custo, facilidade de manuseio, tamanho da espécie (Schneider *et al.*, 2009), desenvolvimento externo do embrião (facilitando a visualização) (Alsakran e Kudoh, 2021), genética bem caracterizada e fácil aclimação a novos ambientes. É uma espécie que vem sendo amplamente utilizada como modelo animal para avaliação da toxicidade por conta da similaridade genética, molecular e fisiológica com humanos (Português *et al.*, 2022).

Em comparação com o genoma humano foi verificado que 70% dos genes humanos são homólogos aos genes do *zebrafish* (Howe *et al.*, 2013). O embrião humano apresenta semelhanças estruturais e funcionais com o embrião de *zebrafish*, ambos possuem um saco vitelino utilizado como fonte energética para manter as funções metabólicas e o crescimento até o início da alimentação exógena, para o *zebrafish* essa fase é iniciada em 4 ou 5 dias após a fertilização, já para humanos é iniciada em torno da 10ª semana gestacional (Sant e Timme-Laragy, 2019).

Em virtude das semelhanças expostas, o *zebrafish* na fase embrionária pode ser utilizado como modelo animal para avaliação e determinação dos efeitos tóxicos durante o primeiro trimestre do desenvolvimento humano, permitindo a determinação prévia de composto tóxicos em embriões (Sant e Timme-Laragy, 2019; Anghel *et al.*, 2020). Deste modo, esse modelo animal é considerado um modelo *in vivo* com numerosas semelhanças estruturais, genéticas e metabólicas com embriões humanos (Sant e Timme-Laragy, 2019). Tornando possível o rastreamento de deficiências neurológicas, má formação e degeneração celular, possibilitando a detecção de riscos para a saúde humana (D'amora e Giordani, 2018; Português *et al.*, 2022).

Os testes de toxicidade com o *zebrafish* podem ocorrer na fase adulta, embrionária e larval (Silva *et al.*, 2019) por meio de observações das alterações no desenvolvimento embrionário e larval, efeitos teratogênicos (Cadena *et al.*, 2020d), alterações neurológicas (D'amora e Giordani, 2018), morfológicas, genéticas, citológicas, teciduais, bioquímicas (Trigueiro *et al.*, 2020), comportamentais e letalidade (Bittencourt *et al.*, 2018; Cadena *et al.*, 2020a). Os teste anteriormente citados respeitam os princípios dos 3R (reduzir, refinar e

substituir), por serem rápidos, de baixo custo, éticos e preditivos (Anghel *et al.*, 2020), e princípios científicos e de conduta (Canedo *et al.*, 2022).

Análises de toxicidade com o *zebrafish* na fase embrionária, larval e adulta foram realizadas por Silva *et al.* (2019). Os autores avaliaram os efeitos tóxicos da progesterona e do estradiol de forma isolada e desses hormônios complexados em ciclodextrinas, atuando como desreguladores endócrinos nos peixes. Neste estudo foi possível observar que os embriões expostos a progestágenos e estrógenos apresentaram maior porcentagem de efeitos teratogênicos, sendo eles: edema pericárdico, edema do saco vitelínico e deformação da coluna vertebral. Já na avaliação comportamental na fase adulta os animais demonstraram comportamentos agressivos, como perseguição, fuga e ataque. De acordo com Cadena *et al.*, (2020b) testes comportamentais realizados na fase larval poderão identificar os efeitos preditivos de ansiedade dos animais.

Gomes *et al.* (2020) utilizaram embriões de *Danio rerio* em contato com os elutriados dos sedimentos estuarinos do rio Capibaribe para avaliação dos efeitos letais, teratogênicos e da frequência cardíaca. Constou-se que os sedimentos do estuário do rio Capibaribe são tóxicos para os embriões. Nestas análises foram observados efeitos tóxicos subletais: alterações na frequência cardíaca, efeitos teratogênicos e retardo do desenvolvimento. Essas observações constituíram um bom parâmetro para determinar a ecotoxicidade, pois apresentaram respostas rápidas e os organismos se mostraram sensíveis às concentrações menores que aqueles que causam efeitos letais.

A utilização do *zebrafish* na ecotoxicologia tem contribuído para o esclarecimento da ação dos poluentes na saúde humana e ambiental, por meio de testes de toxicidade com produtos ou resíduos com potencial poluidor, que contém químicos industriais, desreguladores endócrinos, fármacos antidepressivos, antibióticos, nanomateriais metálicos e nanopartículas de poliestireno (Lopes-Ferreira *et al.*, 2021).

REFERÊNCIAS

ABIT. **Indústria Têxtil e de Confecção Brasileira**. 2013. Disponível em: <http://abit-files.abit.org.br/site/publicacoes/cartilha.pdf>. Acesso em: 1 out. 2023.

ABIT. **Associação Brasileira da Indústria Têxtil e de Confecção (Abit)**. 2023. Disponível em: <https://www.abit.org.br/cont/quemsomos>. Acesso em: 1 ago. 2023.

ADEPE. **Câmara setorial Têxtil e de Confecções é oficialmente formada em Caruaru.**

2019. Disponível em: <https://www.adepe.pe.gov.br/camara-setorial-textil-e-de-confeccoes-e-oficialmente-formada-em-caruaru/>. Acesso em: 3 ago. 2023.

ALDERETE, Bárbara Lopes et al. Evaluation of toxicity and mutagenicity of a synthetic effluent containing azo dye after Advanced Oxidation Process treatment. **Chemosphere**, [S. l.], v. 263, 2021. DOI: 10.1016/j.chemosphere.2020.128291.

ALSAKRAN, Amena; KUDOH, Tetsuhiro. Zebrafish as a Model for Fetal Alcohol Spectrum Disorders. **Frontiers in Pharmacology**, [S. l.], v. 12, n. December, p. 1–7, 2021. DOI: 10.3389/fphar.2021.721924.

AMÉRICO-PINHEIRO, Juliana Heloisa Pinê; DA CRUZ, Claudinei; AGUIAR, Mario Mamede; TORRES, Nádia Hortense; FERREIRA, Luiz Fernando Romanholo; MACHADO-NETO, Joaquim Gonçalves. Sublethal Effects of Imidacloprid in Hematological Parameters of Tilapia (*Oreochromis niloticus*). **Water, Air, and Soil Pollution**, [S. l.], v. 230, n. 8, 2019. DOI: 10.1007/s11270-019-4256-0.

AMÉRICO-PINHEIRO, Juliana Heloisa Pinê; MERCADO, Letícia Sales. Fórum Ambiental da Alta Paulista. **Fórum Ambiental da Alta Paulista**, [S. l.], v. 18, p. 15–22, 2022.

ANGHEL, Nicoleta et al. Comparative assessment of the effects of bumped kinase inhibitors on early zebrafish embryo development and pregnancy in mice. **International Journal of Antimicrobial Agents**, [S. l.], v. 56, n. 3, 2020. DOI: 10.1016/j.ijantimicag.2020.106099.

ARAUJO, Wanderbeg Correia; JESUS, José Oduque Nascimento; PEDRO, Francisco Jairan Dionizio; RODRIGUES, Luanda Kívia de Oliveira; SANTOS, Dayvid Souza; SILVA SANTOS, Isabelle. Estudo socioeconômico do Polo de Confecções no Agreste de Pernambuco: uma análise descritiva e exploratória. **Brazilian Journal of Development**, [S. l.], v. 5, n. 11, p. 26812–26826, 2019. DOI: 10.34117/bjdv5n11-304.

AZEVEDO, Amanda Rampelotto De; CORONAS, Mariana Vieira. Uso de testes de fuga com minhocas *Eisenia andrei* e *Eisenia fetida* para identificação da toxicidade de agrotóxicos no Brasil: Uma breve revisão da literatura. **Ciência e Natura**, [S. l.], v. 40, p. 18, 2019. DOI: 10.5902/2179460x35495.

BITTENCOURT, T. Q. M.; SANTOS, A. R.; SILVA, M. C. G.; SILVA, J. F.; SILVA, N. P. C.; SILVA, W. E.; CADENA, P. G.; AMORIM, M. J. A. A. L. embriões e adultos de zebrafish (*Danio rerio*). **Arq. Bras. Med. Vet. Zootec.**, [S. l.], v. 70, n. 6, p. 1877–1886, 2018. Disponível em: scielo.br/pdf/abmvz/v70n6/0102-0935-abmvz-70-06-01877.pdf.

BRANCO, Paulo Coelho Castelo; FARIAS, Heitor Blesa. Cientometria e bibliometria do

campo da Abordagem Centrada na Pessoa e Gestalt-Terapia no Brasil: Análise das redes de autoria e produção. **Phenomenology, Humanities and Sciences**, [S. l.], v. 1, n. 1, p. 31–43, 2020.

BRASIL. Lei n. 9.605 de 12 de fevereiro de 1998. Dispõe sobre as sanções penais e administrativas derivadas de condutas e atividades lesivas ao meio ambiente, e dá outras providências. **Diário Oficial da União**, [S. l.], 1998.

BRASIL. Resolução conama n° 430 de 13/05/2011. Dispõe sobre as condições e padrões de lançamento de efluentes, complementa e altera a Resolução n° 357, de 17 de março de 2005, do Conselho Nacional do Meio Ambiente-CONAMA. **Diário Oficial da União**, [S. l.], p. 1–6, 2011.

BRASIL. Lei n. 6.938, de 31 de agosto de 1981. Dispõe sobre a Política Nacional do Meio Ambiente, seus fins e mecanismos de formulação e aplicação, e dá outras providências. **Diário Oficial da União**, Brasília, p. 1–15, 2015.

BRASIL. Resolução CONAMA n° 498. Define critérios e procedimentos para produção e aplicação de biossólido em solos, e dá outras providências. **Diário Oficial da União**, [S. l.], p. 21, 2020.

BRAZ, Sofia Negri; LONGO, Regina Márcia. Qualidade ambiental das cidades: uso de bioindicadores para avaliação da poluição atmosférica. **Sustentabilidade: Diálogos Interdisciplinares**, [S. l.], v. 2, p. 1, 2021. DOI: 10.24220/2675-7885v2e2021a5198.

CADENA, Pabyton Gonçalves; CADENA, Marília Ribeiro Sales; SARMAH, Swapnalee; MARRS, James A. Folic acid reduces the ethanol-induced morphological and behavioral defects in embryonic and larval zebrafish (*Danio rerio*) as a model for fetal alcohol spectrum disorder (FASD). **Reproductive Toxicology**, [S. l.], v. 96, n. July, p. 249–257, 2020. a. DOI: 10.1016/j.reprotox.2020.07.013.

CADENA, Pabyton Gonçalves; SALES CADENA, Marília Ribeiro; SARMAH, Swapnalee; MARRS, James A. Zebrafish (*Danio rerio*) larvae show behavioral and embryonic development defects when exposed to opioids at embryo stage. **Neurotoxicology and Teratology**, [S. l.], v. 85, n. May, p. 106928, 2020. b. DOI: 10.1016/j.ntt.2020.106928.

CAGNI, Gilsemara dos Santos; PRAZERES, Jonatas Alécio Dos; LEAL, Débora; CONSTANTIN, Paola Pereira; SOUSA, Carolina De; SILVA, Caroline Rosa; CONTE, Helio. Organismos bioindicadores de metais pesados: uma revisão. **Revista Ibero-Americana de Ciências Ambientais**, [S. l.], v. 13, n. 1, p. 179–194, 2022. DOI: 10.6008/cbpc2179-6858.2022.001.0015.

CANEDO, Aryelle; SAIKI, Patrícia; SANTOS, Addressa Liberal; DA SILVA CARNEIRO, Karla; DE SOUZA, Andreza Martins; QUALHATO, Gabriel; DA SILVA BRITO, Rafaella; MELLO-ANDRADE, Francielli; ROCHA, Thiago Lopes. Zebrafish (*Danio rerio*) meets bioethics: the 10Rs ethical principles in research. **Ciencia Animal Brasileira**, [S. l.], v. 23, n. 19, 2022. DOI: 10.1590/1809-6891V22E-70884.

CAPÓ, Xavier; MORATÓ, Merce; ALOMAR, Carme; RIOS-FUSTER, Beatriz; VALLS, Maria; COMPA, Montserrat; DEUDERO, Salud. A Biomarker Approach as Responses of Bioindicator Commercial Fish Species to Microplastic Ingestion: Assessing Tissue and Biochemical Relationships. **Biology**, [S. l.], v. 11, n. 11, 2022. DOI: 10.3390/biology11111634.

CETESB. Guia PCS : produção e consumo sustentáveis ca- deia produtiva têxtil e confecções. São Paulo.

D'AMORA, Marta; GIORDANI, Silvia. The utility of zebrafish as a model for screening developmental neurotoxicity. **Frontiers in Neuroscience**, [S. l.], v. 12, 2018. DOI: 10.3389/fnins.2018.00976.

DEMARCHI, Ana Carolina; SANTANA, Beatriz. PROCESSO DE TINGIMENTO DE MATERIAL TÊXTEL DEMARCHI,. **Revista científica de ciência aplicadas da FAIP**, [S. l.], v. 9, p. 1–30, 2022.

ERAMO, Romina; TUCCI, Michele; DI POMPEO, Daniele; CORTELLESSA, Vittorio; DI MARCO, Antinisca; TAIBI, Davide. Architectural Support for Software Performance in Continuous Software Engineering: A Systematic Mapping Study. **SSRN Electronic Journal**, [S. l.], v. 207, n. September 2023, 2024. DOI: 10.2139/ssrn.4088422.

FERNANDES, Yohaán; RAMPERSAD, Mindy; GERLAI, Robert. Embryonic alcohol exposure impairs the dopaminergic system and social behavioral responses in adult Zebrafish. **International Journal of Neuropsychopharmacology**, [S. l.], v. 18, n. 6, p. 1–8, 2015. DOI: 10.1093/ijnp/pyu089.

FERREIRA, Viviane Xavier; CINTRÃO, Janaína Florinda Ferri; SILVA, Ethel Cristina Chiari; MAINTINGUER, Sandra Imaculada. O uso sustentável da água: a produção mais limpa em uma indústria têxtil do estado de São Paulo. **Revista Brasileira Multidisciplinar**, [S. l.], v. 22, n. 3, p. 119, 2019. DOI: 10.25061/2527-2675/rebram/2019.v22i3.777.33

FIEMG; FEAM. **Guia técnico ambiental da indústria têxtil.** 2014. Disponível em: http://www.feam.br/images/stories/producao_sustentavel/GUIAS_TECNICOS_AMBIENTAIS/guia_textil.pdf. Acesso em: 25 set. 2023.

FILLETI, Juliana de Paula; BOLDRIN, Rafaela. A indústria têxtil no Brasil: um modelo econométrico analisando a hipótese de desindustrialização setorial. **Economia e Sociedade**, [S. l.], v. 29, n. 3, p. 861–890, 2020. DOI: 10.1590/1982-3533.2020v29n3art08.

GOMES, S. S.; CARVALHO, A. C. C.; CASTRO, C. M. V. A.; CADENA, P. G. Efeitos tóxicos dos sedimentos do estuário do rio Capibaribe em embriões de zebrafish (*Danio rerio*). **Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia**, [S. l.], v. 72, n. 2, p. 623–632, 2020. DOI: 10.1590/1678-4162-11219.

GREENSTEIN, Darrin J.; PARKS, Ashley N.; BAY, Steven M. Using spatial and temporal variability data to optimize sediment toxicity identification evaluation (TIE) study designs. **Integrated Environmental Assessment and Management**, [S. l.], v. 15, n. 2, p. 248–258, 2019. DOI: 10.1002/ieam.4104.

GUEDES, Flávio Leôncio; EL-DEIR, Soraya Giovanetti; ARAGÃO JÚNIOR, Wilson Ramos; JUCÁ, José Fernando Thomé. Analysis of scientific production of refused derived fuel through scientometric and bibliometric indicators. **Journal of Environmental Analysis and Progress**, [S. l.], v. 7, n. 2, p. 052–061, 2022. DOI: 10.24221/jeap.7.2.2022.4509.052-061.

GUEDES, Vania Lisboa da Silveira. A bibliometria e a gestão da informação e do conhecimento científico e tecnológico. **PontodeAcesso**, [S. l.], v. 6, n. 2, p. 74, 2012. DOI: 10.9771/1981-6766rpa.v6i2.5695.

HERNANDEZ, Victor; JANSING, Steffen; POLIKARPOV, Mikhail; CARMICHAEL, Marc G.; DEUSE, Jochen. Robotics and Computer-Integrated Manufacturing Obstacles and opportunities for learning from demonstration in practical industrial assembly : A systematic literature review. **Robotics and Computer-Integrated Manufacturing**, [S. l.], v. 86, 2024. DOI: 10.1016/j.rcim.2023.102658.

HOLKAR, Chandrakant R.; JADHAV, Ananda J.; PINJARI, Dipak V.; MAHAMUNI, Naresh M.; PANDIT, Aniruddha B. A critical review on textile wastewater treatments: Possible approaches. **Journal of Environmental Management**, [S. l.], v. 182, p. 351–366, 2016. DOI: 10.1016/j.jenvman.2016.07.090. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jenvman.2016.07.090>.

JIANG, Jiangong; HE, Bingying; WEI, Yimu; CUI, Jingna; ZHANG, Qiang; LIU, Xueke; LIU, Donghui; WANG, Peng; ZHOU, Zhiqiang. The toxic effects of combined exposure of chlorpyrifos and p, p'-DDE to zebrafish (*Danio rerio*) and tissue bioaccumulation. **Aquatic Toxicology**, [S. l.], v. 248, n. January, 2022. DOI: 10.1016/j.aquatox.2022.106194.

KANT, Rita. Textile dyeing industry an environmental hazard. **Natural Science**, [S. l.], v. 04, n. 01, p. 22–26, 2012. DOI: 10.4236/ns.2012.41004.

KOLLAR, Timea; KÁSA, Eszter; FERINCZ, Arpad; URBANYI, Bela; CSENKI-BAKOS, Zsolt; HORVATH, Akos. Development of an in vitro toxicological test system based on zebrafish (*Danio rerio*) sperm analysis. **Environmental Science and Pollution Research**, [S. l.], v. 25, p. 14426–14436, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11356-018-1613-2>.

LI, Huizhen; ZHANG, Jie; YOU, Jing. Diagnosis of complex mixture toxicity in sediments: Application of toxicity identification evaluation (TIE) and effect-directed analysis (EDA). **Environmental Pollution**, [S. l.], v. 237, p. 944–954, 2018. DOI: 10.1016/j.envpol.2017.11.005.

LOPES-FERREIRA, Monica; FALCÃO, Maria Alice Pimentel; DISNER, Geonildo Rodrigo; LIMA, Carla. O Modelo Zebrafish e sua Contribuição ao Meio Ambiente. In: LOPES-FERREIRA, Monica (org.). **RECURSO ÁGUA - Tecnologias e pesquisas para o uso e a conservação de ecossistemas aquáticos**. 1. ed. São Carlos: Sapiientia - Instituto Butantan, 2021. p. 188–219. DOI: 10.4322/978-65-86819-07-6-07.

LORENA, Emmanuelle M. G.; LORENA, Cynthia M. G.; MEDEIROS, Raimundo M.; EL-DEIR, Soraya G.; HOLANDA, Romildo M.; ARAÚJO, Vinícius D. Modelo de gestão de riscos em lavanderias de beneficiamento no arranjo produtivo local (APL) têxtil e de confecções de Pernambuco, Brasi. **Revista Produção Online**, [S. l.], v. 18, n. 2, p. 620–640, 2018. DOI: 10.14488/1676-1901.v18i2.2881.

MAESTRI, Gabriela; BESSA, Gisele Cristina; OLIVEIRA, Fernando Ribeiro; STEFFENS, Fernanda. Revoluções Tecnológicas E a Relação Com O Setor Têxtil: Perspectivas Baseadas Em Indústria 3.5, Indústria 4.0 E Indústria 5.0. **Revista Eletrônica Perspectivas da Ciência e Tecnologia**, [S. l.], v. 13, p. 149–161, 2021. DOI: 10.22407/1984-5693.2021.v13.p.149-161.

MANDAL, Pawan Kumar; THAKUR, Manoj. Higher-order moments in portfolio selection problems: A comprehensive literature review. **Expert Systems with Applications**, [S. l.], v. 238, n. PA, 2024. DOI: 10.1016/j.eswa.2023.121625. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2023.121625>.

MCCARTY, L. S.; BORGERT, C. J.; BURGOON, L. D. Evaluation of the Inherent Toxicity Concept in Environmental Toxicology and Risk Assessment. **Environmental Toxicology and Chemistry**, [S. l.], v. 39, n. 12, p. 2351–2360, 2020. DOI: 10.1002/etc.4881.

MENDES JUNIOR, BIAGIO DE OLIVEIRA. **Setor Têxtil – Produção, Comércio**

Internacional E Perspectivas Para Brasil, Nordeste, Ceará E Pernambuco Em 2021 Caderno Setorial ETENE. [s.l: s.n.].

MENDONÇA, Santos; MARÍLIA, Jaísa; ALEJANDRO, Julio; MEDEIROS, De. Ensaios de toxicidade para avaliação de águas superficiais estuarinas usando Nitocra sp. como organismo-teste alternativo. **Acta Toxicol. Argent**, [S. l.], v. 30, p. 163–176, 2022.

MESACASA, Andréia; CUNHA, Mario Antônio Alves Da. Desenvolvimento de produtos de moda a partir de resíduos têxteis: um estudo na cidade de Pato Branco - PR. **DAPesquisa**, [S. l.], v. 14, n. 23, p. 66–87, 2019. DOI: 10.5965/1808312914232019066.

MONTEIRO, Patrícia Aparecida. **Diagnóstico do consumo de água nos processos de beneficiamento de jeans no polo confeccionista de Divinópolis/MG**. 2018. Universidade de Ribeirão Preto, [S. l.], 2018. Disponível em: <http://repositorio.unaerp.br//handle/12345/157>.

NIDHEESH, P. V.; DIVYAPRIYA, G.; EZZAHRA TITCHOU, Fatima; HAMDANI, Mohamed. Treatment of textile wastewater by sulfate radical based advanced oxidation processes. **Separation and Purification Technology**, [S. l.], v. 293, n. February, p. 121115, 2022. DOI: 10.1016/j.seppur.2022.121115. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.seppur.2022.121115>.

NOVAIS, Luis Fernando. A indústria têxtil e de confecções no Estado de São Paulo. **Seade Sp Economia**, [S. l.], v. 2, p. 39, 2021. Disponível em: <https://produtos2.seade.gov.br/produtos2/midia/2021/03/Seade-IndustriaTextil.pdf>.
OECD. Guidelines for the testing of chemicals. Section 2: effects on biotic systems test no. 236: Fish embryo acute toxicity (FET) test. **Organization for Economic Cooperation and Development**. [s.l: s.n.]. Disponível em: <http://www.oecd-ilibrary.org>.

OPOKU, Eric Evans Osei; ALUKO, Olufemi Adewale. Heterogeneous effects of industrialization on the environment: Evidence from panel quantile regression. **Structural Change and Economic Dynamics**, [S. l.], v. 59, p. 174–184, 2021. DOI: 10.1016/j.strueco.2021.08.015.

PATNAIK, Rasmi. Impact of Industrialization on Environment and Sustainable Solutions - Reflections from a South Indian Region. **IOP Conference Series: Earth and Environmental Science**, [S. l.], v. 120, n. 1, 2018. DOI: 10.1088/1755-1315/120/1/012016.

PORTUGUÊS, Vivianne Rodrigues et al. Avaliação acerca do Zebrafish (Danio rerio) como modelo biomédico para determinação da toxicidade do dimesilato de lisdexanfetamina. **Research, Society and Development**, [S. l.], v. 11, n. 5, p. e50911528491, 2022. DOI: 10.33448/rsd-v11i5.28491.

PRESTES, Rosi Maria; VINCENCI, Luiza Kelin. Bioindicadores como avaliação de impacto ambiental bioindicators as environmental impact assessment. **Brazilian Journal of Animal and Environmental**, [S. l.], v. 2, n. 4, p. 1473–1493, 2019.

RAJ, Santhana Deena; NAGARAJAN, Sai Varsha; RAMAN, Thiagarajan; VENKATACHALAM, Ponnusami; PARTHASARATHY, Meera. Remediation of textile effluents for water reuse: Decolorization and desalination using *Escherichia fergusonii* followed by detoxification with activated charcoal. **Journal of Environmental Management**, [S. l.], v. 277, n. May 2020, p. 111406, 2021. DOI: 10.1016/j.jenvman.2020.111406.

RAJA, A. S. M.; ARPUTHARAJ, A.; SAXENA, Sujata; PATIL, P. G. **Water requirement and sustainability of textile processing industries**. [s.l.] : Elsevier Ltd., 2019. DOI: 10.1016/B978-0-08-102633-5.00009-9.

RAMOS, M. D. N.; CLAUDIO, C. C.; REZENDE, P. H. V.; CABRAL, L. P.; SANTOS, L. A.; COSTA, G. G.; MESQUITA, P. L.; AGUIAR, A. Critical analysis of the characteristics of industrial effluents from the textile sector in Brazil. **Revista Virtual de Química**, [S. l.], v. 12, n. 4, p. 913–929, 2020. DOI: 10.21577/1984-6835.20200073.

RAVADELLI, MAUANA. **Aplicação De Eletrocoagulação Em Um Biorreator a Membrana Precedido De Tanque Anóxico Para O Tratamento De Efluente Têxtil**. 2021. Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2021.

RIBEIRO, Natasha Ulhiana Ferreira; AMÉRICO-PINHEIRO, Juliana Heloisa Pinê. Peixes como bioindicadores de agrotóxicos em ambientes aquáticos. **Revista Científica ANAP Brasil**, [S. l.], v. 11, n. 22, 2018. DOI: 10.17271/19843240112220181859.

SALES-CADENA, Marília R.; CADENA, Pabyton G.; WATSON, Meredith R.; SARMAH, Swapnalee; BOEHM, Stephen L.; MARRS, James A. Zebrafish (*Danio rerio*) larvae show behavioral and embryonic development defects when exposed to opioids at embryo stage. **Neurotoxicology and Teratology**, [S. l.], v. 85, n. February, p. 106964, 2021. DOI: 10.1016/j.ntt.2021.106964.

SANT, Karilyn E.; TIMME-LARAGY, Alicia R. Zebrafish as a Model for Toxicological Perturbation of Yolk and Nutrition in the Early Embryo. **Curr Environ Health Rep.**, [S. l.], v. 5, n. 1, p. 125–133, 2019. DOI: 10.1007/s40572-018-0183-2.Zebrafish.

SANTOS, Karolaine da Conceição Gama et al. Descoloração de efluente de uma lavanderia de beneficiamento têxtil localizada em Toritama/PE por fungo filamentoso. **Brazilian Journal of Development**, [S. l.], v. 6, n. 1, p. 3338–3350, 2020. DOI: 10.34117/bjdv6n1-240.

SCHNEIDER, Ana Cláudia Reis; SANTOS, Jorge Luiz Dos; PORAWSKI, Marilene; SCHAEFER, Pedro Guilherme; MAURER, Rafael Lucyk; MATTE, Ursula Matte; SILVEIRA, Themis Reverbel Da. Implementação de um novo modelo de experimentação animal: Zebrafish TT - Implementation of a new experimental animal model: Zebrafish. **Rev. HCPA**, [S. l.], v. 29, n. 2, p. 100–103, 2009. Disponível em: <http://www.seer.ufrgs.br/index.php/hcpa/article/view/7981/5572>.

SEBRAE. **Estudo econômico do arranjo produtivo local de confecções do agreste pernambucano**. 2013. Disponível em: <https://www.sebrae.com.br/Sebrae/PortalSebrae/Anexos/EstudoEconomicoDoAPLdeConfecoesDoAgreste-07deMAIO2013docx.pdf>. Acesso em: 10 out. 2023.

SILVA, B. L.; XAVIER, M. G. P. Desgaste e lavagem de jeans no agreste produtivo de pernambuco: tecnologia, inovação e competitividade nas lavanderias de toritama. *In*: ANAIS DO XIII CONGRESSO DA A SOCIEDADE BRASILEIRA DE ECONOMIA, ADMINISTRAÇÃO E SOCIOLOGIA RURAL DO REGIONAL NORDESTE 2018, Juazeiro do Norte. **Anais [...]**. Juazeiro do Norte p. 1–23. Disponível em: <https://www.even3.com.br/anais/soberne2018/111850-DESGASTE-E-LAVAGEM-DE-JEANS-NO-AGRESTE-PRODUTIVO-DE-PERNAMBUCO--TECNOLOGIA-INOVACAO-E-COMPETITIVIDADE-NAS-LAVAND>.

SILVA, Bruno Lopes; XAVIER, Maria Gilca Pinto. Inovação e tecnologia em lavanderias de jeans do polo têxtil do agreste Pernambucano e a implementação das atividades de reuso de água. **Brazilian Journal of Development**, [S. l.], v. 6, n. 6, p. 41458–41476, 2020. DOI: 10.34117/bjdv6n6-620.

SILVA, Marília Cordeiro Galvão Da et al. The complexation of steroid hormones into cyclodextrin alters the toxic effects on the biological parameters of zebrafish (*Danio rerio*). **Chemosphere**, [S. l.], v. 214, p. 330–340, 2019. DOI: 10.1016/j.chemosphere.2018.09.116.

SILVA FILHO, Luiz Henrique Ramos. Desenvolvimento De Adsorventes a Partir De Algas Arribadas Para Tratamento De Efluentes Contendo Corantes Industriais. **Dissertação (Mestrado em Engenharia de Processos)**. 2019. Universidade Tiradentes, [S. l.], 2019.

SOUSA, Shara Sonally Oliveira De; ANDRADE, Patrícia Batista De; ARAÚJO, Marcos Pereira De; PRAGANA, Rossana Barbosa; TAVARES, Rosângela Gomes. Avaliação da toxicidade do lodo da estação de tratamento de gurjaú utilizando diferentes sementes como bioindicadores shara. **Revista Saúde e Meio Ambiente**, [S. l.], v. 14, n. 2, p. 162–188, 2022.

SOUZA, Eliane Ferreira De; NOBREGA, Michele Aparecida dos Santos; PONTES, Montcharles Da Silva. Musgos Como Bioindicadores De Metais Pesados No Ambiente. **Acta**

Biomédica Brasiliensia, [S. l.], v. 8, n. 2, p. 13, 2017. DOI: 10.18571/acbm.136.

SOUZA, Vanessa Cristina De. Avaliação citogenotóxica de efluente têxtil tratado por processo biológico e físico-químico. 2017. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil e Ambiental) Universidade Federal de Pernambuco, [S. l.], 2017.

SPENCE, Rowena; GERLACH, Gabriele; LAWRENCE, Christian; SMITH, Carl. The behaviour and ecology of the zebrafish, *Danio rerio*. **Biological Reviews**, [S. l.], v. 83, n. 1, p. 13–34, 2008. DOI: 10.1111/j.1469-185X.2007.00030.x.

TETA, Charles; NAIK, Yogeshkumar S. Vitellogenin induction and reduced fecundity in zebrafish exposed to effluents from the City of Bulawayo, Zimbabwe. **Chemosphere**, [S. l.], v. 167, p. 282–290, 2017. DOI: 10.1016/j.chemosphere.2016.10.011.

THELLMANN, Paul; KÖHLER, Heinz R.; RÖSSLER, Annette; SCHEURER, Marco; SCHWARZ, Simon; VOGEL, Hans Joachim; TRIEBSKORN, Rita. Fish embryo tests with *Danio rerio* as a tool to evaluate surface water and sediment quality in rivers influenced by wastewater treatment plants using different treatment technologies. **Environmental Science and Pollution Research**, [S. l.], v. 22, n. 21, p. 16405–16416, 2014. DOI: 10.1007/s11356-014-3785-8.

THIAGO, I. C. B.; FERNANDES, M. N. The social construction of the childhood concept in the capitalist system: a bibliographic survey. **Fronteiras(Brazil)**, [S. l.], n. 38, p. 220–242, 2021. DOI: 10.29327/253484.1.38-13.

TOKATLI, Cem. Comparisons of diatoms and fishes as toxic metal bioindicator: a case study of an A-class wetland in northwest Turkey under effect of an intensive paddy cultivation stress. **Environmental Science and Pollution Research**, [S. l.], v. 29, n. 58, p. 87231–87244, 2022. DOI: 10.1007/s11356-022-21903-6.

TRIGUEIRO, Nicholas Silvestre De Souza; CANEDO, Aryelle; BRAGA, Daniel Lôbo De Siqueira; LUCHIARI, Ana Carolina; ROCHA, Thiago Lopes. Zebrafish as an Emerging Model System in the Global South: Two Decades of Research in Brazil. **Zebrafish**, [S. l.], v. 17, n. 6, p. 412–425, 2020. DOI: 10.1089/zeb.2020.1930.

VIANA, D. A.; HÉKIS, H. R.; FRANCISCO, C. A. C.; SOARES, M. L. A simulação computacional como ferramenta de análise e dimensionamento do recurso no setor de beneficiamento em uma indústria têxtil. **Espacios**, [S. l.], v. 39, n. 6, p. 13, 2018.

WANG, Bo Ren; DAHMS, Hans Uwe; WU, Meng Chun; JHUO, Nian Jhen; HSIEH, Chi Ying. After remediation – Using toxicity identification evaluation of sediment contamination

in the subtropical Erren river basin. **Chemosphere**, [S. l.], v. 262, p. 127772, 2021. a. DOI: 10.1016/j.chemosphere.2020.127772.

WANG, Chun; YUAN, Zixi; SUN, Yingxue; YAO, Xiaolong; LI, Ruixuan; LI, Shuangshuang. Effect of Chronic Exposure to Textile Wastewater Treatment Plant Effluents on Growth Performance, Oxidative Stress, and Intestinal Microbiota in Adult Zebrafish (*Danio rerio*). **Frontiers in Microbiology**, [S. l.], v. 12, n. November, p. 1–13, 2021. b. DOI: 10.3389/fmicb.2021.782611.

XAVIER, Twane Maria Cordeiro. Polo De Confecções Do Agreste De Pernambuco: Formação De Aglomerado Produtivo E Suas Dinâmicas Espaciais. **Caminhos de Geografia**, [S. l.], v. 21, n. 73, p. 429–444, 2020. DOI: 10.14393/rcg217349475.

XU, Xinhao; CHEN, Xiangfeng; JIA, Fu; BROWN, Steve; GONG, Yu; XU, Yifan. Supply chain finance: A systematic literature review and bibliometric analysis. **International Journal of Production Economics**, [S. l.], v. 204, n. September 2016, p. 160–173, 2018. DOI: 10.1016/j.ijpe.2018.08.003.

YOSHIDA, Nelson Daishiro. Análise bibliométrica: um estudo aplicado à previsão tecnológica. **Future Studies Research Journal: Trends and Strategies**, [S. l.], v. 2, n. 1, p. 52–84, 2010. DOI: 10.24023/futurejournal/2175-5825/2010.v2i1.45.

ZHANG, Wenjuan; LIU, Wei; ZHANG, Jing; ZHAO, Huimin; ZHANG, Yaobin; QUAN, Xie; JIN, Yihe. Characterisation of acute toxicity, genotoxicity and oxidative stress posed by textile effluent on zebrafish. **Journal of Environmental Sciences (China)**, [S. l.], v. 24, n. 11, p. 2019–2027, 2012. DOI: 10.1016/S1001-0742(11)61030-9.

ZHANG, Yali; ZHAO, Dehua; LIU, Hanchao; HUANG, Xinrong; DENG, Jizhong; JIA, Ruichang; HE, Xiaoping; TAHIR, Muhammad Naveed; LAN, Yubin. Research hotspots and frontiers in agricultural multispectral technology: Bibliometrics and scientometrics analysis of the Web of Science. **Frontiers in Plant Science**, [S. l.], v. 13, n. August, p. 1–17, 2022. DOI: 10.3389/fpls.2022.955340.

CAPITULO 1

MAPEAMENTO DAS PESQUISAS CIENTÍFICAS SOBRE ANÁLISES ECOTOXICOLÓGICAS COM *ZEBRAFISH* (*DANIO RERIO*) EM EFLUENTES TÊXTEIS ENTRE OS ANOS DE 2011 E 2021

MAPPING OF SCIENTIFIC RESEARCH ON ECOTOXICOLOGICAL ANALYSIS WITH ZEBRAFISH (*DANIO RERIO*) IN TEXTILE EFFLUENTS BETWEEN 2011 AND 2021

RESUMO

A grande carga de poluentes existentes nos efluentes industriais têxteis faz com que seja necessário a realização de análise ecotoxicológica. O mapeamento destas análises em modelos animais poderá auxiliar no esclarecimento da possível toxicidade que estes efluentes têxteis possuem. Deste modo, o presente trabalho teve como objetivo mapear a evolução das publicações científicas em relação ao emprego do *zebrafish* (*Danio rerio*), como um modelo animal bioindicador de qualidade ambiental, para análise ecotoxicológica de efluentes têxteis no horizonte de dez anos (2011 a 2021). Para tal, foram estabelecidas três etapas metodológicas: amostragem dos artigos, análises cienciométrica e bibliométricas e revisão sistemática da literatura. Foram encontrados 12 documentos. Observou-se que os estudos ecotoxicológicos dos efluentes têxteis utilizando o *zebrafish* é uma vertente recente e pouco estudada, porém promissora. Dentre os trabalhos destacaram-se aqueles originários do continente asiático. Verificou-se que a *Revista Environmental Science and Pollution Research* foi a única com duas publicações. A análise de similitude gerou uma árvore de palavras com sete grupos (halos). Entendeu-se que os efluentes industriais têxteis possuem uma ligação direta com a toxicidade causada pelos corantes, essa toxicidade pode ser detectada por análises realizadas com o bioindicador *zebrafish*. Observou-se que as avaliações ecotoxicológicas com o *zebrafish* podem ser realizadas por meio de diferentes metodologias. No entanto, algumas se mostraram mais complexas que outras e apresentaram resultados mais robustos, como as análises embrionárias e larvais. Estas análises foram consideradas benéficas em comparações com outros modelos animais, por serem de baixo custo, necessitarem de um curto período de tempo e respeitarem uma norma internacionalmente imposta (OCDE 236). Diante disto, concluiu-se que o *zebrafish* é um modelo eficiente e promissor para análises ecotoxicológicas de efluentes têxteis.

Palavras-chave: Toxicidade; Efluentes industriais; Bioindicador; Peixe.

ABSTRACT

The high load of pollutants present in textile industrial effluents makes it necessary to carry out ecotoxicological analysis. Mapping these analyses in animal models can help clarify the possible toxicity that these textile effluents have. Thus, the present study aimed to map the evolution of scientific publications regarding the use of zebrafish (*Danio rerio*) as a bioindicator animal model for environmental quality analysis in ecotoxicological analysis of textile effluents over a ten-year horizon (2011 to 2021). For this, three methodological steps were established: sampling of articles, scientometric and bibliometric analyses, and systematic literature review. Twelve documents were found. It was observed that ecotoxicological studies of textile effluents

using zebrafish are a recent and understudied, but promising trend. Among the works, those originating from the Asian continent stood out. The Environmental Science and Pollution Research journal was the only one with two publications. The similarity analysis generated a word tree with seven groups (halos). It was understood that industrial textile effluents have a direct connection with toxicity caused by dyes, and this toxicity can be detected by analysis carried out with the zebrafish bioindicator. It was observed that ecotoxicological assessments with zebrafish can be carried out through different methodologies. However, some proved to be more complex than others and presented more robust results, such as embryonic and larval analyses. These analyses were considered beneficial compared to other animal models because they are low cost, require a short period of time, and comply with an internationally imposed standard (OECD 236). Therefore, it is concluded that zebrafish is a promising model for ecotoxicological analysis of textile effluents.

Keywords: Toxicity; Industrial effluents; Bioindicator.

1 INTRODUÇÃO

Dentre os setores industriais que podem causar degradação ambiental destaca-se a indústria têxtil. Os impactos ambientais gerados por este setor afetam os ecossistemas aquáticos e a população que tem contato com essas águas. Esta é uma das principais problemáticas ambientais e sociais enfrentadas pelos setores industriais (DIAS et al., 2018).

Os despejos decorrentes da indústria têxtil são formados por compostos químicos sintéticos (PIZATO et al., 2017) e compostos químicos naturais, como detergentes, hidróxido de sódio, poliacrilamida, ácido fosfônico, corantes, carbonato de sódio, cloreto de sódio e amaciantes, além de fibras de tecido (MARINHO, 2019). Os corantes são considerados tóxicos ao ambiente por conta das alterações que podem causar nos corpos receptores, como variação de cor, turbidez e perturbação da vida aquática, ressalta-se ainda que os intermediários tóxicos gerados pela degradação dos corantes podem ser considerados como compostos cancerígenos (AHIRWAR et al., 2016).

Alguns organismos biológicos podem ser utilizados como bioindicadores de toxicidade no meio aquático (SÁ et al., 2019), destacam-se algumas espécies de algas como *Charophyceae spp.* e *Phanerochaete chrysosporium* (RYBAK et al., 2017; HUANG et al., 2018); peixes como tilápia (*Oreochromis niloticus*) e zebrafish (*Danio rerio*) (AMÉRICO-PINHEIRO et al., 2019; GOMES et al., 2020); espécies de corais como *Acropora aspera*, *Acropora digitifera* e *Platygyra daedalea* (GISSI et al., 2017) e microcrustáceos como a *Ceriodaphnia dubia* (NETO et al., 2022).

Os peixes têm demonstrado uma eficiência para indicação da qualidade ambiental pois viabilizam a avaliação dos efeitos ecotoxicológicos das substâncias inseridas nos corpos

hídricos (AMÉRICO-PINHEIRO, 2019). Entre os peixes, o *Danio rerio*, conhecido como paulistinha ou *zebrafish*, é uma espécie muito utilizada em ensaios ecotoxicológicos para determinação da contaminação ambiental e avaliação da qualidade da água, apresentando-se como um bioindicador eficiente nos estudos ambientais (AMÉRICO-PINHEIRO; MERCADO, 2022). Essa espécie apresenta respostas por meio de avaliações morfológicas, genéticas, citológicas, teciduais e bioquímicas (TRIGUEIRO et al., 2020), além de modificações no desenvolvimento embrionário, teratogênicas e comportamentais (CADENA et al., 2020) incluindo uma norma internacional para testes de toxicidade conhecida como *FET Test* contida na OCDE 236 (2013).

O *zebrafish* é um importante modelo animal aceito internacionalmente para análise ecotoxicológica porque fornece resultados em curto período de tempo e apresenta alta rastreabilidade utilizando poucos recursos, em comparação com outros modelos animais, como roedores (LOPES-FERREIRA, 2018; CANEDO et al, 2022). Além de respeitarem os princípios dos 3Rs, referentes ao bem-estar animal (substituição, redução e refinamento), este modelo animal também possibilita a adoção de outros 7Rs, referentes aos princípios científicos (registro, relatório, robustez, reprodutibilidade e relevância) e a conduta (responsabilidade e respeito) (CANEDO et al, 2022). As análises com o *zebrafish* podem ocorrer na fase embrionária, larval e adulta (SILVA et al., 2019).

A grande carga de poluentes existentes nos efluentes industriais têxteis faz com que seja necessário a realização de análise ecotoxicológica, para observações dos possíveis efeitos tóxicos e das possíveis interferências que estes efluentes podem causar no meio aquático (SÁ et al., 2019). Neste contexto, o estado da arte das avaliações ecotoxicológicas dos efluentes têxteis utilizando o *Danio rerio* como bioindicador poderá auxiliar no esclarecimento da toxicidade deste tipo de efluente e no entendimento da problemática atual.

O mapeamento das pesquisas científicas, ou determinação do estado da arte, busca aprofundar os conhecimentos sobre temáticas específicas, elucidando as diretrizes para reflexões teórico-metodológicas, possibilitando a discussão aprofundada da produção acadêmica (RODRIGUES et al., 2019). Neste aspecto, análises cienciométrica e bibliométricas são utilizadas para considerar os aspectos quantitativos da ciência e da produção científica (GUEDES et al., 2022), além da demonstração e da validação estatística dos conteúdos (MANNARELLI et al., 2022). Em consonância com as análises cienciométrica e bibliométricas, a revisão sistemática da literatura apresenta os aspectos qualitativos da temática estudada, por meio da síntese e do estudo das publicações referentes ao tema, permitindo uma avaliação crítica dos resultados (PFEIFF et al., 2020).

2 OBJETIVOS

Mapear a evolução das publicações científicas em relação ao emprego do *zebrafish* (*Danio rerio*) enquanto bioindicador de qualidade ambiental para análise ecotoxicológica de efluentes têxteis em corpos de água no horizonte de dez anos (2011 a 2021).

3 METODOLOGIA

A metodologia foi estruturada seguindo os procedimentos realizados por Guedes et al. (2022), foram estabelecidas em três etapas: amostragem dos artigos, análises cienciométrica e bibliométrica e revisão sistemática da literatura.

3.1 Amostragem (Etapa 1)

A amostragem foi formada com base no método *Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses* (PRISMA) (PAGE et al., 2022). Este procedimento acontece em quatro fases: identificação, composto pelo total dos trabalhos encontrados; triagem, onde são aplicados critérios de inclusão e exclusão dos trabalhos; elegibilidade, na qual ocorre a leitura dinâmica e a retirada dos trabalhos duplicados e, por fim, a inclusão dos trabalhos que estejam de acordo com os objetivos da pesquisa (PAGE et al., 2022; GUEDES et al., 2022).

A identificação dos trabalhos ocorreu por meio da escolha de palavras chaves, da determinação dos bancos de dados. As palavras-chave foram escolhidas considerando o tema em estudo e a problemática levantada, para maior abrangência dos dados as palavras foram colocadas no idioma inglês (DONTU et al., 2021). Ressalta-se que a problemática de estudo está relacionada à identificação do nível de toxicidade que os efluentes têxteis podem causar no ambiente, utilizando como bioindicador o *zebrafish* (*Danio Rerio*).

As palavras chaves foram escolhidas tendo por base as fases do desenvolvimento do *zebrafish* e as análises com efluente têxtil. As pesquisas foram realizadas utilizando as palavras-chaves: “*zebrafish*”, “*zebrafish embryo*”, “*zebrafish larva*”, “*Danio rerio*”, “*Danio rerio embryo*”, “*Danio rerio larva*” e “*textile effluent*”. Foi estabelecido combinações das palavras-chaves, utilizando o conectivo *AND* sempre sendo uma das palavras relacionadas ao *zebrafish* e “*textile effluent*”, com o intuito de afunilar os resultados e delimitar o tema. As palavras selecionadas foram inseridas nas plataformas de dados e os resultados obtidos foram direcionados para softwares de tratamento de dados bibliográficos. O levantamento de dados

foi realizado por meio de quatro bases de dados, a saber: *Pubmed*, *Scopus*, *Web of Science* e *Nature*. Estas foram acessadas por meio do Portal Periódico Capes (Capes CAFe).

Após a identificação dos trabalhos, houve a aplicação dos critérios de inclusão e exclusão, correspondendo a triagem dos trabalhos, esses critérios foram: artigos em inglês inseridos nas plataformas de pesquisas escolhidas, publicados entre os anos de 2011 a 2021 e dentro do eixo temático de estudo. E os critérios de exclusão foram: documentos em outros idiomas, fora do intervalo de tempo determinado, não caracterizado como artigo e que não possuem coerência com a temática. Em seguida houve a leitura dinâmica dos trabalhos e retirada das duplicadas, com auxílio do aplicativo *Mendeley* (Mendeley, Londres, Reino Unido). As publicações elegíveis passaram pelo procedimento de leitura completa, e foram avaliadas de acordo com a problemática e os objetivos da pesquisa.

3.2 Análises cienciométrica e bibliométrica (Etapa 2)

As análises cienciométrica e bibliométrica caracterizam-se como estudos quantitativos (GUEDES et al., 2022). Esta etapa foi dividida em três processos: análise temporal das publicações; distribuição das publicações, e análises estatísticas. Inicialmente ocorreu a análise das informações, a organização dos dados e a elaboração de gráficos e tabelas com auxílio do Microsoft Excel 365, permitindo a análise temporal e da distribuição das publicações. Com isso, foram observados os periódicos, o *SCImago Journal Rank (SJR)*, o *Quartis*, o Fator de Impacto e o Qualis/Capes de cada revista, seguida da produção do mapa que demonstrou a incidência mundial das publicações, a qual ocorreu por intermédio do aplicativo *Qgis 3.24.3* (QGIS, Boston, USA). Por fim, a terceira etapa correspondeu às análises estatísticas, que foram realizadas por meio do aplicativo *Iramuteq 0.7* (Iramuteq, Boston, USA). Este programa utiliza a interface do R e a linguagem *python* para análises multidimensionais de textos (IRAMUTEQ, 2022). Para as análises com *Iramuteq* foi necessário a construção de um *corpus* (base de textos), onde foi incluído o título, as palavras-chave e os resumos dos artigos. Por meio do *Iramuteq* foi realizada a análise de similitude. Esta análise gerou uma árvore de palavras cujas ramificações representaram as relações existentes entre si no corpus (KLAMT; SANTOS, 2021).

3.3 Revisão sistemática da literatura (Etapa 3)

A Revisão sistemática da literatura (RSL) é caracterizada como uma análise qualitativa e descritiva, que avalia de forma crítica e observacional os trabalhos acerca do tema

(NASCIMENTO et al., 2019). Para tal foi realizada a leitura completa, interpretação, avaliação e correlação dos trabalhos selecionados na Etapa 1, pelo método PRISMA (LIMA et al., 2018). Com base no seguinte questionamento: "As metodologias utilizadas para determinação da toxicidade por meio do bioindicador *zebrafish* (*Danio rerio*) são eficientes para identificação da toxicidade dos efluentes têxteis?".

Para organização das informações foram elaboradas planilhas contendo os principais pontos de cada artigo (NASCIMENTO et al., 2019). Os artigos selecionados foram organizados conforme a fase de desenvolvimento do *zebrafish* e os procedimentos metodológicos aplicados. Estes critérios auxiliaram na identificação e estruturação dos dados de toxicidades deste bioindicador. Por fim, os artigos consultados foram organizados conforme as similitudes temáticas, as quais nortearam nas proposições de melhorias e na indicação de testes para análises futuras.

4. RESULTADOS

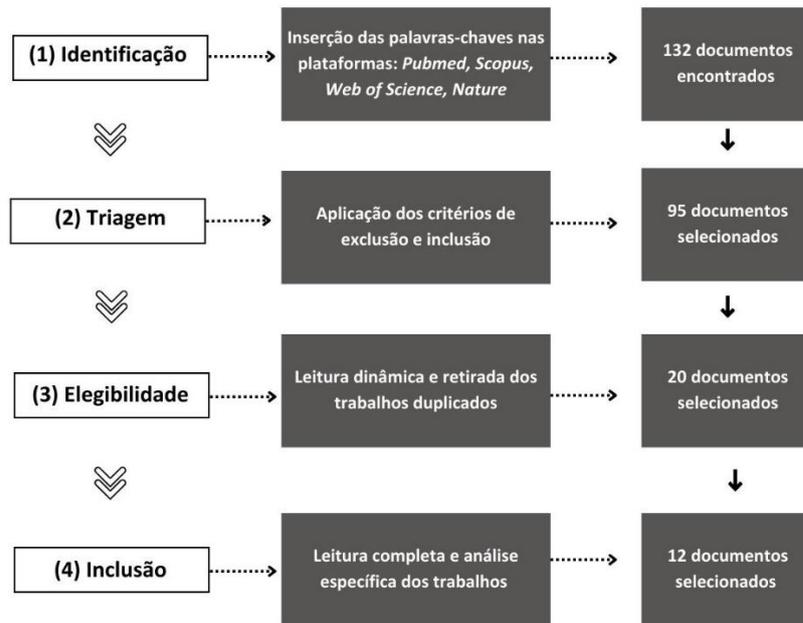
A primeira etapa dos resultados é referente a amostragem dos dados. A segunda apresenta as análises cienciométrica e bibliométrica, compostas por três subseções: análise temporal das publicações, distribuição das publicações e análise estatística textual. A terceira, e última etapa refere-se a revisão sistemática da literatura.

4.1 Amostragem (Etapa 1)

Os resultados relativos à seleção inicial dos artigos permitiram a seleção de 132 trabalhos (Figura 1). É importante ressaltar que durante a triagem foram encontrados trabalhos com compostos químicos recorrentes nas indústrias têxteis, os corantes, e por isso trabalhos que avaliaram os corantes têxteis também foram considerados.

Com base nos critérios de exclusão e inclusão, obteve-se 95 manuscritos, que representam 72% do total da amostra. A retirada das duplicatas resultou em 20 artigos (15% do total). Por fim, ocorreu a leitura completa dos artigos, que levou a seleção de 12 artigos, representando 9% da amostra inicial. O afunilamento da amostra inicial agiliza a avaliação dos manuscritos encontrados, auxiliando na investigação do estado da arte da temática em estudo (PACHECO et al., 2018).

Figura 1 – Resultados encontrados na aplicação da metodologia PRISMA.



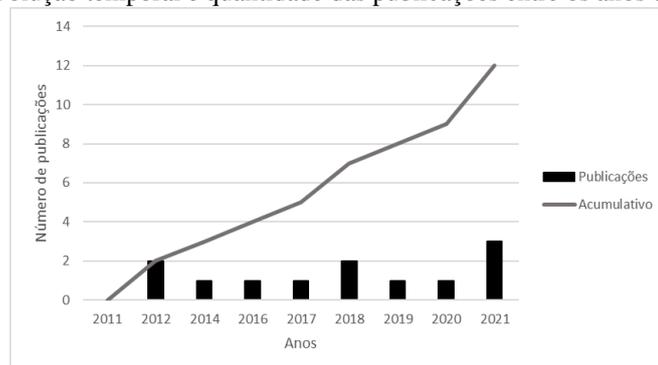
Fonte: Autores (2022).

4.2 Análises cienciométrica e bibliométrica (Etapa 2)

4.2.1 Análise temporal das publicações

Observou-se uma evolução temporal gradual das publicações, entre os anos de 2011 e 2021 (Figura 2).

Figura 2 – Evolução temporal e quantidade das publicações entre os anos de 2011 e 2021.



Fonte: Autores (2022).

A média anual da produção acadêmica ficou em torno de 1,3 trabalhos publicados, com um percentual de publicação de 11% ao ano. No ano de 2011 não houve trabalho publicado, entre os anos de 2012 e 2020 foram publicados 1 a 2 artigos anualmente, representando uma média de 1,28 trabalhos por ano (10,6%). Já no ano de 2021 houve um maior número de

publicações, sendo registrados 3 manuscritos, representando um percentual de 25%, fazendo com que neste ano as publicações estivessem acima da média estabelecida.

Com essas observações, e a avaliação cumulativa, pode-se afirmar que a evolução das publicações foi crescente. No entanto identificou-se que esta temática é pouco explorada, visto que, poucos trabalhos foram publicados por ano. Apesar disto, o aumento do percentual das publicações no ano de 2021 demonstrou que este tema está em ascensão, sendo promissor para estudos futuros.

Um levantamento realizado por Lopes-Ferreira et al. (2021) demonstrou que o *zebrafish* vem sendo utilizado em estudos ambientais desde 1977. De acordo com os autores, até o ano de 2019 houve um crescimento considerável de análises de poluentes com o *zebrafish*, mais especificamente relacionadas à bioacumulação, à toxicidade e à interação com outros contaminantes ambientais.

4.2.2 Distribuição das publicações

Verificou-se que sete países foram responsáveis pelas 12 publicações sobre a temática, a saber: Brasil, Alemanha, Índia, China, Portugal, México e Zimbábue. Dentre estes, Índia e China destacaram-se com o maior número de publicações, no total de 3 trabalhos publicados por cada país. Além disso, as publicações realizadas pela Índia foram recentes e ocorreram entre os anos de 2020 e 2021, enquanto a China realizou 2 publicações no ano de 2012 e 1 no ano de 2021. O Brasil publicou dois artigos sobre a temática, em 2016 e em 2018. A Alemanha, Zimbábue, Portugal e México publicaram uma única vez, nos anos de 2014, 2017, 2018, 2019 respectivamente (Figura 3).

Figura 3 – Frequência de publicações com seus respectivos países entre os anos de 2011 a 2021.



Fonte: Autores (2022).

No que tange ao número de publicações por continente, notou-se que o asiático se destacou com seis artigos, seguido pelos países da América do Sul e Europa, ambos com dois artigos. Estes resultados corroboram com a produção de têxteis do mundo, que de acordo com os dados disponíveis da UNIDO - *United Nations Industrial Development Organization* (2018), a Ásia é o continente com maior produção de peças, com a China liderando este ranking e alcançando cerca de US\$421 bilhões por ano, em segundo lugar está a Índia que representa valores superiores a US\$67 bilhões. Já o Brasil está em 10º lugar e sua produção equivale a 3% do que é produzido pela China (MENDES JUNIOR et al., 2021).

Os artigos foram publicados em 11 periódicos (Tabela 1). Verificou-se que a Revista *Environmental Science and Pollution Research* destacou-se nas publicações, pois apresentou duas publicações.

Tabela 1 - Revistas científicas em que os trabalhos foram publicados e suas classificações

Revista Científica	Número de publicações	SCImago Journal Rank (SJR)	Fator de impacto (JCR)	Qualis (CAPES)
Environmental Science and Pollution Research	2	0,831	5,19	A2
Journal of Environmental Management	1	1,481	8,91	A1

Revista Científica	Número de publicações	SCImago Journal Rank (SJR)	Fator de impacto (JCR)	Qualis (CAPES)
Journal of Environmental Sciences	1	1,205	6,796	A1
Fibers and Polymers	1	0,445	2,347	A2
Environmental Pollution	1	1,954	9,988	A1
Ecotoxicology and Environmental Safety	1	1,239	7,129	A1
Toxicology Reports	1	0,807	4,807	A3
Environmental Toxicology and Chemistry	1	0,887	4,218	A2
Frontiers in Microbiology	1	1,314	6,064	A2
Chemosphere	1	1,505	8,943	A1
Chemico-Biological Interactions	1	0,857	5,168	A2

Fonte: Autores (2022).

O SJR – *SCImago Journal Rank*, é uma base composta dados da Scopus e utiliza a média ponderada de citações recebidas pela revista nos últimos três anos (SCIMAGO, 2022). O maior indicador SJR das revistas avaliadas foi de 1,954, referente a revista *Environmental Pollution*, com destaque para as categorias: Saúde, Toxicologia e Mutagênese; Poluição; Toxicologia. Esta revista também apresentou o maior fator de impacto dos periódicos avaliados (9,988). O Fator de Impacto quantifica publicações científicas por meio das citações recebidas e os artigos publicados na coleção principal da *Web of Science* nos dois anos antecedentes (UFRJ, 2020).

O qualis variou entre A1, A2 e A3, onde 45% dos periódicos estavam entre A1 e A2, considerados os estratos mais altos de classificação, e somente 10% manteve-se no A3. A classificação realizada por meio do qualis refere-se a análise e quantificação da produção bibliográfica de docentes e discentes, sendo um instrumento para avaliação da produção intelectual, por meio da correlação entre aspectos quantitativos e qualitativos (BARATA, 2016).

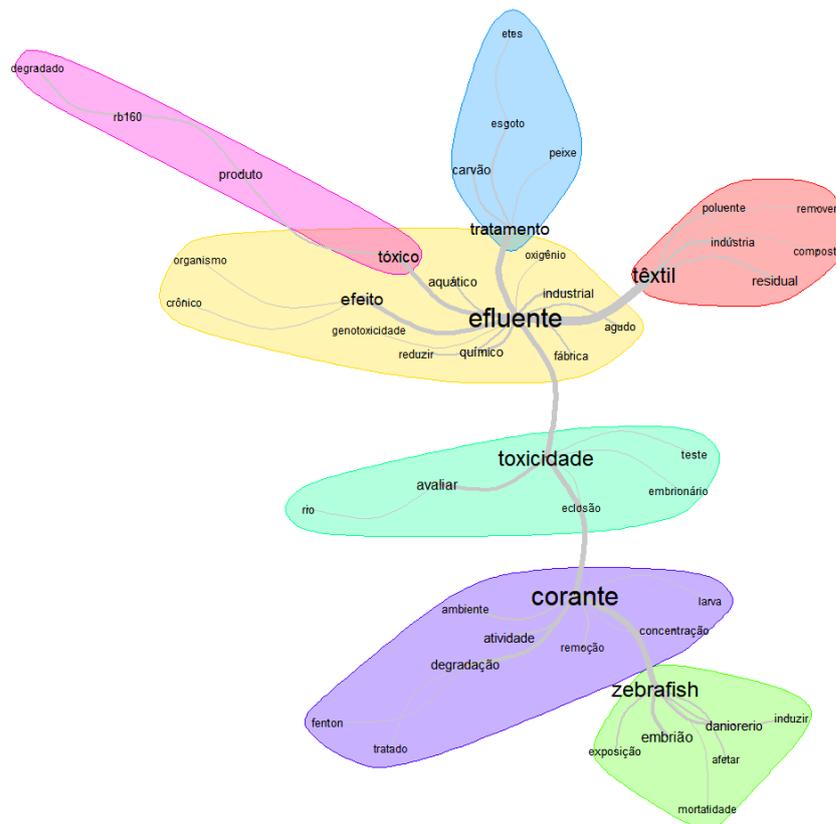
A análise dos índices bibliométricos em conjunto permite a imparcialidade e a precisão dos resultados estabelecidos (THOMAZ et. al, 2011). Por meio da Tabela 1 é possível confirmar

essa afirmação, pois as revistas com maiores SJR e JCR também foram aquelas que apresentaram os melhores conceitos do Qualis Capes. Guedes et al. (2022) salientam que periódicos com altos índices bibliométricos são considerados de boa qualidade, pois correspondem à rigidez dos processos de avaliações nos quais os trabalhos são submetidos, para que se mantenha as métricas de impactos já instituídas. Sobre os autores das publicações, foi possível observar uma heterogeneidade, não existindo um autor predominante nesta área de estudo.

4.2.3 Análise estatística

Por meio da análise de similitude (Figura 4) tornou-se possível entender a construção dos textos e a relevância dos temas.

Figura 4 – Análise de Similitude entre as palavras



Fonte: Autores (2022).

A árvore de palavras formada gerou sete grupos, cada grupo contendo uma palavra principal (núcleo), apresentada em negrito e com fonte maior que as demais. Os grupos foram chamados de "halos" e agruparam palavras similares em conjunto de diferentes cores

(MANNARELLI et al., 2022). A ligação entre os halos se deu por linhas de conexão, a espessura da linha representou as maiores ou menores conexões entre os halos e as palavras (CARMO et al, 2018). O halo amarelo conteve a raiz principal, com enfoque para palavra “efluente”, por meio dele, formam-se as demais ligações e grupos. Este halo relacionou termos referentes a poluição aquática, despejos de efluentes, organismos presentes no meio aquático e efeitos tóxicos. E estava ligado diretamente a outros 4 halos: o rosa, com predominância para o termo tóxico, que relacionou produtos que podem apresentar toxicidade e degradar o meio; o azul, com enfoque para o tratamento, tipos de tratamentos, estações de tratamento (ETES) e o peixe, como um indicador de toxicidade local; o vermelho, com predominância para têxtil, ressaltou os poluentes gerados por essa indústria; e o verde água, com foco na toxicidade e nas formas de avaliação do efeito tóxico no meio aquático. Por fim, o halo verde água estava ligado a outros dois: o roxo e o verde claro. O roxo teve enfoque no termo corante e trata das concentrações dessa substância no ambiente e de possíveis formas de tratamento, além de testes com determinadas concentrações que poderiam afetar os organismos aquáticos. No mesmo segmento está o halo verde claro, com predominância para a palavra *zebrafish*, este halo representou a exposição do peixe aos corantes e suas possíveis reações. Com isso entende-se que os efluentes industriais têxteis possuem uma ligação direta com a toxicidade causada pelos corantes, essa toxicidade pode ser detectada por análises realizadas com o bioindicador *zebrafish*, por meio da exposição dos animais ao efluente têxtil ou exposição direta aos corantes. Com relação a fase do desenvolvimento do *zebrafish*, testes com embrião e larva foram considerados e houve destaque para teste na fase embrionária, sendo observados os animais afetados e a mortalidade.

4.3 Revisão sistemática da literatura (Etapa 3)

A partir da Revisão sistemática da literatura (RSL) foi possível avaliar as abordagens dos trabalhos encontrados (Quadro 1).

Quadro 1 - Artigos obtidos por revisão sistemática da literatura após os critérios de exclusão.

Referência	Fase do desenvolvimento do <i>zebrafish</i>	Metodologias utilizadas com o <i>zebrafish</i>
Fang et al., (2012)	Adulto	O teste de letalidade aguda de 96 h foi realizado de acordo com o procedimento descrito na ISO (1996). A amostra foi diluída para cinco concentrações (100, 80, 60, 40 e 20 por cento). A mortalidade foi registrada em intervalos de 24 h, 48 h e 96 h.

Zhang et al. (2012)	Adulto	Os peixes foram expostos a amostras de água por 4 dias. Foi observado a letalidade em várias concentrações de exposição e determinada a concentração máxima de tolerância. Para o teste de genotoxicidade foi retirado o sangue e o fígado dos peixes. Para o ensaio de micronúcleos foi retirada a seção caudal.
Theilmann et al. (2014)	Embrião	O teste de toxicidade foi realizado de acordo com a OECD 236 em 6, 12, 24, 48, 60, 72, 84 e 96 h pós-fertilização (hpf). Observou-se: mortalidade, atrasos e falhas no desenvolvimento (deformações da coluna vertebral, edema de saco vitelínico e pericárdio, falha e ausência de pigmentação) e frequência de batimentos cardíacos.
De Oliveira et al. (2016)	Embrião e larva	Os testes foram realizados de acordo com os Lammer et al. (2009) e OCED 212. O desenvolvimento embrionário foi avaliado em 8, 24, 48, 72, 96, 120 e 144 hpf. Os efeitos letais observados foram: coagulação, ausência de formação de somitos, não descolamento da cauda e ausência de batimentos cardíacos. Os desfechos subletais incluíram malformações embrionárias e sucesso na eclosão.
Teta et al. (2017)	Adulto	Os ovos foram coletados diariamente. O desempenho reprodutivo dos peixes foi monitorado e registrado diariamente por um período de 7 dias. Após 7 dias, a exposição foi iniciada substituindo água limpa efluente têxtil e efluentes de ETEs. E o desempenho reprodutivo foi monitorado por 21 dias de exposição. Após o lapso de 21 dias de exposição, foi determinado o teor de Vtg e analisada a histologia.
Fernandes et al. (2018)	Embrião	O teste de toxicidade aguda foi realizado de acordo com a OECD 236, em 24, 48, 72 e 96 hpf. Efeitos letais e subletais foram observados. Efeito letal: coagulação do ovo, sem formação de somitos, não descolamento da cauda do saco vitelínico e sem batimentos cardíacos. E efeito subletal: efeitos na pigmentação dos olhos e do corpo, absorção do saco vitelínico, taxa de eclosão.
Abe et al. (2018)	Embrião e Larva	Após 96 h pós-fertilização (hpf), observou-se: energia disponível, energia consumida e energia celular. As análises de comportamento foram realizadas em 144 larvas hpf, os testes foram feitos em quatro ciclos claro/escuro de 10 min para estimular/inibir movimento larval.
Hernández-Zamora et al. (2019)	Embrião	Seguiu o protocolo proposto pela OCDE 236. As observações ocorreram em 24, 48, 72, 96, 120 e 144 hpf. Os desfechos letais foram coagulação, sem descolamento de cauda, sem formação de somitos e sem batimentos cardíacos (este último medido após 48 h). Os desfechos subletais incluíram: deformidades no saco vitelino, bexiga natatória e esqueleto, bem como um atraso na taxa de eclosão das larvas.
Barathi et al. (2020)	Embrião	Os embriões coletados foram separados em três grupos: controle; embrião tratado com 250 µg/ml de RB 160 e embrião tratado com um produto degradado de RB160. Após o tratamento, foram observados: deformação fenotípica, eclosão, sobrevivência e frequência cardíaca em intervalos de tempo específicos.
Wang et al. (2021)	Adulto	A taxa de mortalidade foi observada. Para a análise morfológica foram medidos o comprimento corporal e o peso corporal. Para análise bioquímica foram avaliados os fígados, músculos e os tecidos intestinais dos peixes. As amostras do conteúdo intestinal foram raspadas para posterior extração de DNA microbiano.
Raj et al. (2021)	Adulto	A atividade de natação e o comportamento dos peixes (normal, natação errática, letargia, imobilidade) foram observados, registrados e comparados ao controle por 15 dias. Também foi realizada, uma análise dos marcadores bioquímicos em dois tecidos muito importantes (fígado e tecido cerebral).

Suryamathi et al. (2021)	Embrião	A sobrevivência e os estágios dos embriões pós-fertilização foram observados em 0, 6, 12, 24 e 48 h. Foi analisada a mortalidade e efeitos teratogênicos (não especificados).
--------------------------	---------	---

Fonte: Autores, 2023.

Constatou-se que os estudos dos efluentes ou compostos têxteis ocorreram em maioria com o *zebrafish* na fase embrionária (n = 7), seguidos pela fase adulta (n = 5), bem como embrionária e larval (n = 3). Análises toxicológicas com essa espécie na fase embrionária estão se tornando recorrentes, por ser um modelo alternativo tão complexo quanto o peixe adulto e possuindo semelhanças celulares com os mamíferos (STRAHLE et al., 2012). A OCDE 236 (2013) regulamenta internacionalmente os testes de toxicidade com embriões, a norma propõe quatro observações para indicação de letalidade: coagulação dos ovos, ausência de formação de somitos, ausência de desprendimento do broto caudal do saco vitelínico e falta de batimentos cardíacos. Dentre os trabalhos que avaliaram o *zebrafish* na fase embrionária 4 seguiram os procedimentos da OCDE: Thellmann et al. (2014), De Oliveira et al. (2016), Fernandes et al. (2018) e Hernández-Zamora et al. (2019).

Os testes com embrião e larva de *zebrafish* contribuem para proteção ambiental, pois demonstraram eficiência para determinação da toxicidade ambiental (SURYAMATHI et al., 2021) e a importância deste modelo animal. A indicação desse fator elucidou o impacto antropogênico gerado pelos efluentes têxteis e age diretamente na proteção sustentável da biota aquática e na busca pela minimização do nível tóxico buscando a redução dos potenciais embriológicos respeitando as legislações ambientais (THELLMANN et al., 2014).

A toxicidade dos corantes têxteis, utilizando o *zebrafish*, foi constatada por Hernández-Zamora et al. (2019), Barathi et al. (2020), De Oliveira et al. (2016) e Fernandes et al. (2018). Hernández-Zamora et al. (2019), os autores relataram o corante vermelho do Congo apresentou toxicidade relevante, não só para o *zebrafish*, mas também para a microalga *Pseudokirchneriella subcapitata* e cladóceros, foi constatado que esse tipo de corante afetou os organismos em diferentes níveis tróficos.

Barathi et al. (2020) avaliaram o corante têxtil Reactive Blue 160 (RB160) e relataram que a concentração de 500 µg/mL já se apresentou tóxica para o ambiente, causando efeitos letais e subletais nos embriões de *zebrafish*. De Oliveira et al. (2016) determinaram a toxicidade dos corantes têxteis Direct Black 38 (DB38), Reactive Blue 15 (RB15), Reactive Orange 16 (RO16) e Vat Green 3 (VG3); todos os corantes ocasionaram malformações durante a fase embrionária e larval. Os autores destacaram a necessidade da redução das concentrações a

níveis tais que não causam efeitos significativos na biota. Fernandes et al. (2018) estudaram o corante Disperse Red 343, a ecotoxicidade foi avaliada por semente de alface, *Artemia salina* e *zebrafish* no estágio embrionário. Neste artigo foi estabelecido a CL_{50} correspondente a 100 mg/L, e as concentrações superiores não afetaram significativamente os organismos.

Abe et al. (2018) relacionaram o balanço energético do *zebrafish* com as condições de estresse sofridas pela poluição dos corantes nos corpos d'água. Os autores demonstraram que o consumo e a alocação de energia estão relacionados com o comprometimento da atividade locomotora nos estágios iniciais de vida do *zebrafish*, que também compromete a energia necessária para outros processos, como a eclosão.

Testes em adultos também se mostraram eficientes para a determinação da toxicidade (ZHANG et al., 2012; FANG et al., 2012; TETA E NAIK, 2017; RAJ et al., 2021; WANG et al., 2021). Os testes realizados consideraram: letalidade, atividade natatória, comportamento animal (normal, natação errática, letargia, imobilidade), morfologia, marcadores bioquímicos e testes para indicação de presença de desreguladores endócrinos e dos efeitos nas gônadas e fecundidade do *zebrafish*.

Por meio das avaliações relatadas foi possível identificar os efeitos tóxicos dos efluentes têxteis, além dos corantes. Observou-se que essas avaliações toxicológicas podem ser realizadas por meio de diferentes metodologias. No entanto, algumas se mostraram mais complexas que outras e apresentaram resultados mais robustos, como as análises embrionárias e larvais, que indicaram os efeitos tóxicos nos primeiros dias pós-fertilização. De acordo com Fernandes et al. (2015) é possível fazer uma correlação entre os efeitos analisados no embrião do *zebrafish* com o embrião humano (no primeiro trimestre de desenvolvimento), os autores estudaram respostas neurocomportamentais. Com estas avaliações torna-se possível identificar os impactos nas fases iniciais de vida dos peixes, além das necessidades de tratamento dos efluentes, com base na toxicidade observada.

As análises realizadas direcionaram os estudos para duas observações: 1 – Estudos toxicológicos dos efluentes têxteis utilizando *zebrafish* (*Danio rerio*) como bioindicador ainda é uma vertente recente e pouco estudada; 2 – O aumento das publicações no ano de 2021 pode indicar que esta linha de pesquisa está em ascensão e tende a ser objeto de pesquisas futuras. Dentre os trabalhos avaliados destacaram-se aqueles originários do continente asiático, isto porque esta região é a maior produtora de têxteis do mundo, logo, foram pioneiros nas pesquisas e publicaram a maior quantidade de artigos. A análise estatística e textual demonstrou que as pesquisas realizadas mantiveram o foco na avaliação da qualidade da água dos corpos hídricos

que recebem os efluentes têxteis e seus componentes. Além disso, identificou-se que a toxicidade do efluente está ligado aos corantes utilizados nesta indústria.

5 CONCLUSÃO

Observou-se que análises de ecotoxicidade com o *zebrafish* apresentaram resultados satisfatórios e significativos para indicação de toxicidade do ambiente, podendo auxiliar na determinação das concentrações que não afetam o meio aquático e não agridem os corpos hídricos. Os testes nos estágios iniciais de vida (embrião e larva) foram os mais usados tendo relação com a OCDE 236. Estas análises foram consideradas benéficas em comparações com outros modelos animais, por serem de baixo custo, necessitarem de um curto período de tempo e respeitarem uma norma internacionalmente aceita.

Agradecimento

A primeira autora agradece à CAPES pela bolsa de mestrado concedida.

REFERÊNCIAS

ABE, F. R. et al. Toxicity of dyes to zebrafish at the biochemical level: Cellular energy allocation and neurotoxicity. **ENVIRONMENTAL POLLUTION**, v. 235, p. 255–262, 2018.

AMÉRICO-PINHEIRO J. H. P. et al. Sublethal effects of imidacloprid in hematological parameters of tilapia (*Oreochromis niloticus*). **Water, Air, & Soil Pollution**, v. 230, 193, 2019.

AMÉRICO-PINHEIRO, J. H. P. .; MERCADO, L. S. . Pesticides, water resources and bioindicators. **Periódico Eletrônico Fórum Ambiental da Alta Paulista**, [S. l.], v. 18, n. 1, 2022.

AHIRWAR, D.; BANO, M.; KHAN, F. Synthesis of mesoporous TiO₂ and its role as a photocatalyst in degradation of indigo carmine dye. **Journal of Sol-Gel Science and Technology**, 79(1), pp.228–237, 2016.

BARATA, R. C. B. Dez coisas que você deveria saber sobre o Qualis. **RBPG**, Brasília, v. 13, n. 1, janeiro/abril 2016.

Disponível em: https://files.cercomp.ufg.br/weby/up/26/o/artigo_10_coisas.pdf. Acesso em:

16 de mar. 2023.

BARATHI, S. et al. Biodegradation of textile dye Reactive Blue 160 by *Bacillus firmus* (Bacillaceae: Bacillales) and non-target toxicity screening of their degraded products. **TOXICOLOGY REPORTS**, v. 7, p. 16–22, 2020.

CADENA P. G. et al. Folic acid reduces the ethanol-induced morphological and behavioral defects in embryonic and larval zebrafish (*Danio rerio*) as a model for fetal alcohol spectrum disorder (FASD). 2020. **Reproductive Toxicology**.

CANEDO, A. et al. O peixe-zebra (*Danio rerio*) encontra a bioética: os princípios éticos dos 10Rs na pesquisa. 2022, **Ciência Animal Brasileira**, V23, e-70884.

CARMO, H. M. O. et al. Descontinuidade tecnológica em patentes envolvendo o uso de cinzas de carvão: análise baseada em conteúdo textual. **Revista Metropolitana de Sustentabilidade** (ISSN 2318-3233), São Paulo, v. 8, n. 2, p. 49–66, 2018.

DE OLIVEIRA, G. A. R. et al. Textile dyes induce toxicity on zebrafish early life stages. **Environmental Toxicology and Chemistry**, v. 35, n. 2, p. 429–434, 2016.

DIAS, F. F. S. et al. Tratamento de efluente têxtil através de processo oxidativo avançado (H₂O₂/TiO₂/UV). **Revista Geama**, [S. l.], v. 4, n. 3, p. 4–9, 2018.

DONTHU, N. et al. How to conduct a bibliometric analysis: An overview and guidelines. **Journal of Business Research**, 133(March), 285–296, 2021.

FANG, Y. X. Y.-X. et al. Use of TIE techniques to characterize industrial effluents in the Pearl River Delta region. **Ecotoxicology and Environmental Safety**, v. 76, n. 1, p. 143–152, 2012.

FERNANDES, N. C. et al. Removal of azo dye using Fenton and Fenton-like processes: Evaluation of process factors by Box–Behnken design and ecotoxicity tests. **Chemico-Biological Interactions**, v. 291, n. May, p. 47–54, 2018.

FERNANDES, Y. et al. Embryonic Alcohol Exposure Impairs the Dopaminergic System and Social Behavioral Responses in Adult Zebrafish. **International Journal of Neuropsychopharmacology**, 2015, 1–8.

- GISSI, F. et al. Inhibition in fertilisation of coral gametes following exposure to nickel and copper. **Ecotoxicology and Environmental Safety**, v.145, p.32–41,2017.
- GOMES, S.S et al. Efeitos tóxicos dos sedimentos do estuário do rio Capibaribe em embriões de zebrafish (*Danio rerio*). **Arq. Bras. Med. Vet. Zootec.**, v.72, n.2, p.623-632, 2020.
- GUEDES, F. L. et al. Analysis of scientific production of refused derived fuel through scientometric and bibliometric indicators. **Journal of Environmental Analysis and Progress**, [S. l.], v. 7, n. 2, p. 052–061, 2022.
- HERNÁNDEZ-ZAMORA, M. et al. Congo red dye diversely affects organisms of different trophic levels: a comparative study with microalgae, cladocerans, and zebrafish embryos. **Environmental Science and Pollution Research**, v. 26, n. 12, p. 11743–11755, 2019.
- HUANG, C. et al. Transcriptome analysis reveals novel insights into the response to Pb exposure in *Phanerochaete chrysosporium*. **Chemosphere**, v. 194, p.657-665, 2018.
- IRAMUTEQ. **Interface R para Análise Multidimensional de Textos e Questionários**. 2022. Disponível em: <http://www.iramuteq.org/>. Acesso em: 10 de nov de 2022.
- KLAMT, L. M.; SANTOS, V. S. O uso do software IRaMuteQ na análise de conteúdo – estudo comparativo entre os trabalhos de conclusão de curso do ProfEPT e os referenciais do Programa. **Research, Society and Development**. 2021, 10(4), 1-15.
- LIMA, A. C. D et al. Alterações sensoriais em respiradores orais: revisão sistemática baseada no método prisma. **Revista Paulista de Pediatria**, v. 37, p. 97-103, 2018.
- LOPES-FERREIRA, M. et al. O Modelo Zebrafish e sua Contribuição ao Meio Ambiente. In: SILVA, et. al. **Recurso Água: Tecnologias e Pesquisas para o uso e a conservação de ecossistemas aquáticos**. 1º ed. São Carlos, SP. Editora Cubo, 2021. E-book. Cap. 7, p. 188-2019. Disponível em:<https://repositorio.butantan.gov.br/handle/butantan/4453?mode=full>
- MANNARELLI, T. et al. Responsabilidade social empresarial nas relações de trabalho: mapeando o uso da lógica fuzzy com o software iramuteq. **Novas Tendências na Investigação Qualitativa**, v. 15, p. 569, 2022. DOI: 10.36367/ntqr.15.2022.e569.
- MARINHO, S. E. Tingimento: um processo que agrega valor estético à matéria-prima têxtil. 2019. **Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharel em Design)**. Universidade Federal de Pernambuco, Caruaru, 2019.

MENDES JUNIOR, B. O. Setor Têxtil – produção, comércio internacional e perspectivas para Brasil, Nordeste, Ceará e Pernambuco em 2021. **Caderno Setorial ETENE**. Ano 6, nº 185, 2021.

NASCIMENTO, R. F. et al. Impacto dos sistemas de recompensas na motivação organizacional: revisão sistemática pelo método PRISMA. **Revista Gestão & Conexões**, v. 8, n. 2, p. 44-58, 2019.

NETO, I. F. S. et al. Utilização de *Ceriodaphnia Dubia* como bioindicador aquático em ensaios ecotoxicológicos na detecção de intoxicações crônicas. **Revista Mundi Meio Ambiente e Agrárias**, v. 7, n. 1, 2022.

PACHECO, R. L. et al. Guidelines para publicação de estudos científicos. Parte 4: Como publicar revisões sistemáticas. **Diagn tratamento**, v. 23, p. 19-23, 2018.

PAGE, Matthew J. et al. A declaração PRISMA 2020: diretriz atualizada para relatar revisões sistemáticas. **Rev Panam Salud Publica**; **46**, dic. **2022**, 2022. Disponível em: <https://iris.paho.org/handle/10665.2/56882>. Acesso em: 15 mar. 2023.

PFEIFF, G. K. et al. Revisão Sistemática atual sobre Sensoriamento Remoto aplicado a detecção de Ilhas de Calor Urbanas. **Periódico Eletrônico Fórum Ambiental da Alta Paulista**, [S. l.], v. 16, n. 5, 2020.

PIZATO, E. et al. Caracterização de efluente têxtil e avaliação da capacidade de remoção de cor utilizando o fungo *Lasiodiplodia theobromae* MMPI. **Engenharia Sanitaria e Ambiental** [online]. 2017, v. 22, n. 05.

PRIYA, E. S.; SELVAN, P. S. Water hyacinth (*Eichhornia crassipes*) – An efficient and economic adsorbent for textile effluent treatment – A review. **Arabian Journal of Chemistry**, 2017, Volume 10, Supplement 2, Pages S3548-S3558.

RODRIGUES, G. S. et al. O estado da arte das práticas didático-pedagógicas em Educação Ambiental (período de 2010 a 2017). **Revista Brasileira de Educação Ambiental**, [S. l.], v. 14, n. 1, p. 9–28, 2019.

RYBAKA, M. et al. Bioaccumulation and toxicity studies of macroalgae (Charophyceae) treated with aluminium: Experimental studies in the context of lake restoration. **Ecotoxicology and Environmental Safety**, v. 145, p. 359–366, 2017.

SÁ, RJ da S. et al. A. Indicadores biológicos de qualidade da água e as mudanças climáticas. **Multidisciplinary Reviews**, [S. l.], v. 2, 2019.

SANTHANA RAJ, D. et al. Remediation of textile effluents for water reuse: Decolorization and desalination using *Escherichia fergusonii* followed by detoxification with activated charcoal. **Journal of Environmental Management**, v. 277, n. May 2020, p. 111406, 2021.

SCIMAGO. **Journal & Country Rank SCImago**. 2022. Disponível em: <https://www.scimagojr.com/help.php>.

SILVA, M. C. G. The complexation of steroid hormones into cyclodextrin alters the toxic effects on the biological parameters of *zebrafish* (*Danio rerio*). **Chemosphere**, v. 214. 2019. p. 330 e 340.

STRAHLE, U., et al. Zebrafish embryos as an alternative to animal experiments - a commentary on the definition of the onset of protected life stages in animal welfare regulations. **Reprod. Toxicol.** 33 (2), 128 e 132. 2012.

SURYAMATHI, M. et al. Tyrosinase Immobilized Zein Nanofibrous Matrix as a Green and Recyclable Material for Biodegradation of Azo Dyes. **Fibers and Polymers**, v. 22, n. 10, p. 2714–2725, 2021.

TETA, C. et al. Vitellogenin induction and reduced fecundity in zebrafish exposed to effluents from the City of Bulawayo, Zimbabwe. **Chemosphere**, v. 167, n. 2, p. 282–290, 2017.

THELLMANN, P. et al. Fish embryo tests with *Danio rerio* as a tool to evaluate surface water and sediment quality in rivers influenced by wastewater treatment plants using different treatment technologies. **Environmental Science and Pollution Research**, v. 22, n. 21, p. 16405–16416, 2014.

THOMAZ, P. G. et al. Uso do fator de impacto e do índice H para avaliar pesquisadores e publicações. **Arquivos Brasileiros de Cardiologia**, v. 96, p. 90-93, 2011.

TRIGUEIRO, N. S. S. et al. Zebrafish as an Emerging Model System in the Global South: Two Decades of Research in Brazil. **Zebrafish**, v. 17, n. 6, p. 412 - 425, 2020. DOI: 10.1089/zeb.2020.1930.

UFRJ. **Sistema de Bibliotecas e Informações**. Você sabe como descobrir o fator de impacto de uma publicação. 2020. Disponível em: <https://www.sibi.ufrj.br/index.php/inicio/367-fator-de-impacto-voce-sabe-como-descobrir-o-fator-de-impacto-de-uma-publicacao>. Acesso em: 05 de dez. 2022.

WANG, C. et al. Effect of Chronic Exposure to Textile Wastewater Treatment Plant Effluents on Growth Performance, Oxidative Stress, and Intestinal Microbiota in Adult Zebrafish (*Danio rerio*). **Frontiers in Microbiology**, v. 12, n. November, p. 1–13, 2021.

XAVIER, M. F. B.. Avaliação da adequação dos valores numéricos definidos nas tabelas da Resolução 357/05 do CONAMA do ponto de vista técnico e científico, para garantir a preservação dos ecossistemas. **Dissertação** (Mestrado em Perícias Criminais e ambientais. 2020. UFSC.

ZHANG, W. et al. Characterisation of acute toxicity, genotoxicity and oxidative stress posed by textile effluent on zebrafish. **Journal of Environmental Sciences (China)**, v. 24, n. 11, p. 2019–2027, 2012.

CAPITULO 2

ANÁLISE DA ECOTOXICIDADE DOS RESÍDUOS GERADOS EM UMA LAVANDERIA DO POLO TÊXTIL DO AGRESTE DE PERNAMBUCO UTILIZANDO COMO BIOINDICADOR O ZEBRAFISH (*DANIO RERIO*)

*ECOTOXICITY ANALYSIS OF WASTES GENERATED IN A LAUNDRY FROM THE TEXTILE INDUSTRIAL CENTER OF AGRESTE DE PERNAMBUCO USING THE ZEBRAFISH (*DANIO RERIO*) AS A BIOINDICATOR*

RESUMO

A elevada carga de poluentes nos efluentes têxteis leva a necessidade do tratamento antes do descarte nos corpos hídricos, esse tratamento gera dois tipos de resíduos o efluente têxtil tratado (resíduo líquido) e o lodo têxtil (resíduo sólido). Este estudo avaliou a ecotoxicidade dos resíduos gerados em uma lavanderia do polo têxtil do Agreste de Pernambuco utilizando como bioindicador o *zebrafish* (*Danio rerio*). Para isso foi realizada a caracterização físico-química e testes de ecotoxicidade nas fases embrionária e larval do *zebrafish* para os efluentes bruto, tratado e elutriado proveniente da solubilização do lodo. Para as análises ecotoxicológicas inicialmente foram avaliados o desenvolvimento embrionário em 8 horas após a fertilização (hpf) e a coagulação (mortalidade), essas análises permitiram a determinação das diluições ideais de cada efluente para realização dos testes de ecotoxicidade até 144 hpf, as diluições estabelecidas foram: efluente tratado 6,3% (ET 6,3%), efluente tratado 12,5% (ET 12,5%), efluente bruto (EB 6,3%), elutriado do lodo 6,3% (ELU 6,3%). Considerando todos os testes realizados, o ELU 6,3% apresentou maior toxicidade, com retardo no desenvolvimento em todos os tempos estudados e alta mortalidade. Os animais afetados expostos ao EB 6,3%, ET 12,5% e ET 6,3% apresentaram deformação de coluna, deformação de cauda, edema de saco vitelínico e edema de pericárdio. Houve alteração na frequência cardíaca dos animais exposto ao ET 12% e EB 6,3%. Todos os efluentes afetaram a sensibilidade ao toque e a tigmotaxia, indicando neurotoxicidade. Os resultados deste estudo apontam que a alta DQO afeta diretamente a vida aquática e o Al pode ser considerando um agente tóxico, sendo necessários estudos direcionados para determinação da toxicidade específica desse metal. Foi possível observar que o efluente têxtil e o lodo possuem compostos que induzem a ecotoxicidade até mesmo em amostras diluídas, com destaque para o atraso no desenvolvimento embrionário, danos teratogênicos, efeitos cardiovasculares e neurológicos.

Palavras chaves: indústria têxtil; efluente; lodo; toxicidade; peixe.

ABSTRACT

The high load of pollutants in textile effluents necessitates treatment before disposal into water bodies. This treatment generates two types of waste: treated textile effluent (liquid waste) and textile sludge (solid waste). This study assessed the ecotoxicity of wastes generated in a laundry facility in the textile hub of the Agreste region of Pernambuco, using zebrafish (*Danio rerio*) as a bioindicator. Physical-chemical characterization and ecotoxicity tests were conducted on the embryonic and larval phases of zebrafish for raw effluent, treated effluent, and eluate from sludge solubilization. For ecotoxicological analyses, embryonic development at 8 hours post-fertilization (hpf) and coagulation (mortality) were initially evaluated. This analysis determined the optimal dilutions for each effluent for ecotoxicity tests up to 144 hpf. The established

dilutions were: TE 6.3%, TE 12.5%, RE 6.3% SE 6.3%. Among all tests, SE 6.3% showed higher toxicity, with developmental delays at all studied times and high mortality. Animals exposed to RE 6.3%, TE 12.5%, and TE 6.3% exhibited spine deformation, tail deformation, yolk sac edema, and pericardial edema. Changes in heart rate were observed in animals exposed to TE 12% and RE 6.3%. The results of this study suggest that high COD directly affects aquatic life, and aluminum (Al) can be considered a toxic agent, requiring targeted studies to determine the specific toxicity of this metal. It was observed that textile effluent and sludge contain compounds inducing ecotoxicity even in diluted samples, with notable effects on delayed embryonic development, teratogenic damage, cardiovascular, and neurological effects.

Keywords: textile industry; effluent; sludge; toxicity.

1 INTRODUÇÃO

A indústria têxtil possui destaque em todo o mundo pelo seu elevado potencial econômico, gerando empregos e contribuindo para a economia dos países que investem na produção e comercialização de têxteis (Hashim *et al.*, 2022). Considerando os processos produtivos da indústria têxtil, o beneficiamento é responsável pelo tingimento, fixação e lavagem das peças. Dentre esses processos as lavanderias ganham destaque pela elevada utilização de água e geração de efluentes que podem conter corantes e produtos químicos (Patel *et al.*, 2021) como agentes umectantes, surfactantes, agentes branqueadores e detergentes (Khan *et al.*, 2023).

Os efluentes têxteis apresentam elevada demanda química de oxigênio (DQO), demanda biológica de oxigênio (DBO), cor, turbidez, sólidos totais dissolvidos (STD), concentração de sais e metais como cobre, arsênico, chumbo, cádmio, mercúrio, níquel e cobalto (Herath *et al.*, 2024; Kant, 2012; Shindhal *et al.*, 2021). Sendo assim, o tratamento do efluente têxtil deve ser realizado antes do descarte nos corpos hídricos, afim de minimizar a poluição e os impactos ambientais às comunidades aquáticas e à saúde ambiental (Bhatia *et al.*, 2018; Hashim *et al.*, 2022). Após o tratamento pelos processos de floculação e coagulação são gerados dois tipos de resíduos: efluente têxtil tratado (resíduo líquido) e lodo têxtil (resíduo sólido) (Agarwal e Singh, 2023; Shindhal *et al.*, 2021). O lodo é formado pelas concentrações dos poluentes presentes no efluente têxtil, por isso possui elevadas concentrações de compostos químicos e metais (Agarwal e Singh, 2023).

A legislação ambiental brasileira determina a obrigatoriedade do tratamento dos efluentes industriais antes do descarte nos corpos hídricos, estipulando padrões para o lançamento, com base na resolução nº 430/2011 do Conselho Nacional de Meio ambiente (CONAMA). Essa resolução estabelece ainda a necessidade de testes ecotoxicológicos para

determinação da toxicidade do efluente industrial (Brasil, 2011). Com base nisso é importante determinar a eficiência da estação de tratamento por meio de análises físico-químicas e testes de ecotoxicidade, de modo a avaliar a qualidade das águas mantendo os parâmetros estabelecidos pelas legislações e analisando o potencial de toxicidade ambiental dos contaminantes, identificando os efeitos das substâncias sobre os sistemas biológicos (Costa *et al.*, 2008).

Análise ecotoxicológicas de efluentes têxteis podem ocorrer por meio de diversos bioindicadores. Microrganismos, como *Saccharomyces cerevisiae* (Méndez-Hernández *et al.*, 2022) e *Aliivibrio fischeri*, algas e plantas como *Raphidocelis subcapitata* e *Lemna minor* (Castro *et al.*, 2019), microcrustáceo, por exemplo, *Daphnia magna* (Méndez-Hernández *et al.*, 2022) e *Artemia salina* (Moraes e Bidoia, 2015), e peixes, como *Danio rerio* (Abe *et al.*, 2018) e *Tilapia mossambica* (Deepika e Noorjahan, 2018) são organismos capazes de indicar a toxicidade de efluentes têxteis, podendo prever os efeitos adversos desses compostos ao meio ambiente.

O *zebrafish* (*Danio rerio*) tem se destacado como um modelo animal bem estabelecido em estudos de desenvolvimento biológico e toxicologia, devido ao seu rápido desenvolvimento, frequente reprodutividade (Spence *et al.*, 2008), fertilização e desenvolvimento externo, ovos translúcidos, que permitem a análise direta do desenvolvimento do embrião, e o rápido desenvolvimento das larvas, que dentro de 5 dias atingem o estágio de natação (Syed *et al.*, 2023). A análise das larvas possibilita a observação dos efeitos comportamentais, podendo indicar alterações neurológicas (Cadena *et al.*, 2020a). Os testes nos estágios embrionários e larvais (*FET Test*) seguem as diretrizes internacionais da (OECD, 2013). Ressalta-se ainda que o *zebrafish* em até 144 horas após a fertilização (hpf) possui semelhanças genéticas com o feto humano no primeiro trimestre gestacional (Sant e Timme-laragy, 2019), cerca de 70% dos genes humanos são homólogos aos genes do *zebrafish* (Howe *et al.*, 2013), o que permite avaliar os possíveis riscos que compostos e substâncias podem causar ao desenvolvimento fetal (Syed *et al.*, 2023), indicando os efeitos tóxicos dos contaminantes sobre os ecossistemas e saúde humana (Américo-Pinheiro *et al.*, 2019).

Considerando a necessidade de analisar os parâmetros físico-químico e determinar a toxicidade dos resíduos têxteis, devido ao potencial poluidor dessas indústrias, é essencial avaliar a eficiência da estação de tratamento de lavanderias têxteis e a ecotoxicidade dos resíduos gerados (efluentes e lodo), para garantir o descarte correto desses resíduos. Deste modo, este estudo buscou avaliar a ecotoxicidade dos resíduos gerados em uma lavanderia do polo têxtil do Agreste de Pernambuco utilizando como bioindicador o *zebrafish* (*Danio rerio*).

2 MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Local e coleta das amostras

O efluente bruto, o efluente tratado e o lodo foram coletados em uma Estação de Tratamento de Efluentes (ETE) de uma das lavanderias do Polo Têxtil do Agreste de Pernambuco, localizada na cidade de Caruaru (Figura 1).

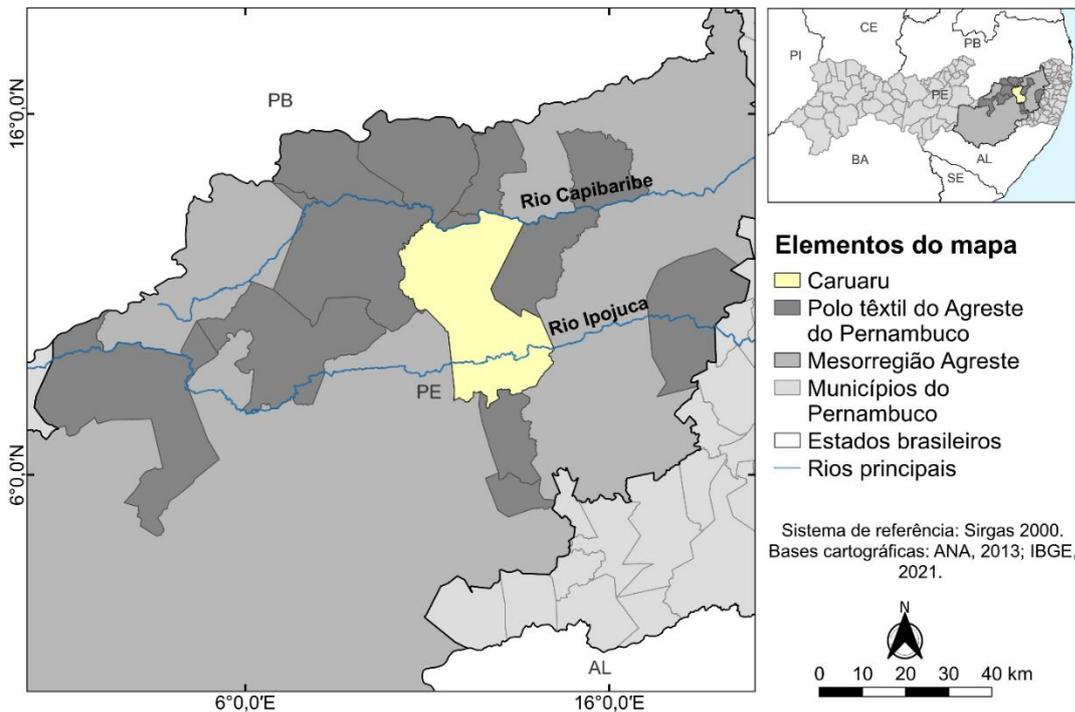


Figura 1. Mapa da cidade de Caruaru onde ocorreu a coleta das amostras, localizada no Polo Têxtil do Agreste de Pernambuco.

A ETE é composta por um tanque de equalização, tanque de floculação e decantação e pelo leito de secagem do lodo. Após decantado o efluente tratado segue para o corpo hídrico e o lodo é direcionado para o leito de secagem. A ETE estudada gera aproximadamente em 7 toneladas de lodo por mês, que é transportado para o aterro industrial localizado no município de Caruaru (Araujo, 2023). O corpo hídrico que recebe o efluente tratado é um afluente chamado riacho Salgado que desagua no rio Ipojuca. O rio Ipojuca abastece 12 municípios do agreste pernambucano, cobrindo uma área de 3.435,34 km² (Carvalho Filho, 2019). Este rio é caracterizado pela resolução nº 375/2005 do CONAMA como rio de água doce classe II, onde as águas podem ser destinadas ao abastecimento para consumo humano, após tratamento convencional, à proteção das comunidades aquáticas, recreação de contato primário, à irrigação de hortaliças, plantas frutíferas e de parques, jardins, campos de esporte e lazer, à aquicultura e à atividade de pesca (Brasil, 2005).

A coleta ocorreu no mês de outubro de 2022, mês caracterizado por apresentar baixas precipitações, em média 11 mm por mês, temperaturas de até 29 °C e redução da umidade do ar, representando o período seco na mesorregião do agreste (APAC, 2018). Para a coleta foram considerados três pontos da ETE, sendo eles: tanque de equalização, saída da estação de tratamento e leito de secagem do lodo. O tanque de equalização contém todos os efluentes da lavanderia, correspondendo ao efluente bruto coletado. O efluente bruto segue para a estação de tratamento, e na saída da estação foi obtido o efluente tratado. O material decantado, proveniente do tratamento, é direcionado para o leito de secagem, onde foi coletado o lodo. As amostras do efluente bruto e efluente tratado foram armazenadas em garrafas estéreis de polipropileno de 5 L, o lodo foi armazenado em depósitos estéreis de polipropileno de 500 g. As amostras foram mantidas em temperatura ambiente (27 °C) até a chegarem ao laboratório.

Logo após a coleta foi realizada a solubilização do lodo por meio da metodologia estabelecida pela NBR 10006 (ABNT, 2004). Para tal, foram dissolvidos 250 g de amostra do lodo seco em 1000 mL de água destilada. Essa solução foi colocada no *jar test* por 10 minutos com velocidade constante de 60 rpm, correspondendo a um gradiente de velocidade de 199,53 s⁻¹. Logo em seguida, a mistura foi deixada em repouso por 7 dias e refrigerada a 8 °C. Após esse período de repouso, o sobrenadante foi retirado e a amostra foi filtrada com membrana filtrante de 0,45 µm de porosidade, obtendo-se o elutriato do lodo (lodo solubilizado).

As amostras do efluente bruto, efluente tratado, do lodo sólido e do elutriato do lodo foram mantidas refrigeradas em 8 °C até a realização das análises físico-químicas (descritas abaixo). Para a realização dos testes de ecotoxicidade em modelo animal, as amostras foram fracionadas em garrafas estéreis de polipropileno de 250 mL e congeladas a -20 °C. No dia anterior a execução dos testes as frações foram descongeladas, para garantir que no dia dos testes as amostras estivessem em temperatura ambiente.

2.2 Caracterização físico-química do efluente e do lodo

Para a caracterização físico-química dos efluentes e do lodo foram avaliados pH, cor, turbidez, alcalinidade, cloreto, DQO, dureza total, sólidos totais (fixos e voláteis). Essas análises foram realizadas no Laboratório de Saneamento Ambiental, localizado na Universidade Federal Rural de Pernambuco (UFRPE), e seguiram as recomendações do *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater* (APHA, 2017). Os metais avaliados foram: alumínio (Al), arsênio (As), bário (Ba), cádmio (Cd), cobalto (Co), cromo (Cr), cobre (Cu), potássio (K), magnésio (Mn), molibdênio (Mo), níquel (Ni), chumbo (Pb),

selênio (Se), estrôncio (Sr) e zinco (Zn), essas análises seguiram as metodologias da *Environmental Protection Agency* (EPA) e ocorreram no Centro de Apoio à Pesquisa da UFRPE (CENAPESQ). Todas as análises físico-químicas executadas seguiram os métodos descritos na Tabela 1.

Tabela 1. Metodologias da APHA (2017), EPA (1996), EPA (2007) utilizados para análise dos efluentes, lodo sólido e do elutriado proveniente do lodo coletado em uma das lavanderias do Polo Têxtil do Agreste de Pernambuco, localizada na cidade de Caruaru.

<i>Parâmetro</i>	<i>Equipamento - Método</i>
pH	Potenciométrico - 4500 B ⁽¹⁾
Cor	Espectrofotométrico - 2120 B ⁽¹⁾
Turbidez	Nefelométrico - 2130 B ⁽¹⁾
Alcalinidade	Titulométrico - 2320 B ⁽¹⁾
Cloreto	Titulométrico - 4500 B ⁽¹⁾
DQO	Espectrofotométrico - 5220 D ⁽¹⁾
Dureza total	Titulométrico - 2340 C ⁽¹⁾
Sólidos totais (fixos e voláteis)	Gravimétrico - 2540 D e 2540 E ⁽¹⁾
Metais	Digestão ácida – 3052 ⁽²⁾ para análise do lodo sólido e 3015 ⁽³⁾ para análise dos efluentes. A digestão ocorreu em forno digestor micro-ondas PROVECTO 3000. E a caracterização foi realizada por espectrômetro de emissão óptica com plasma indutivamente acoplado (ICP/OES).

⁽¹⁾(APHA, 2017), ⁽²⁾(EPA, 1996), ⁽³⁾(EPA, 2007).

Os metais e os sólidos totais (fixos e voláteis) foram avaliados considerando os efluentes e o lodo sólido. Todos os demais parâmetros foram avaliados por meio do efluente bruto, efluente tratado e do elutriado do lodo. Para a determinação dos metais foi utilizado o espectrômetro da *Thermo Fisher Scientific* (Bremen, Alemanha), modelo iCAP 6300 Duo, que possui vista axial e radial e detector simultâneo CID (*Charge Injection Device*). O argônio (pureza 99,996%) foi utilizado para purgar a óptica, gerar o plasma e como gás de nebulização e auxiliar. A potência da fonte de radiofrequência foi de 1150 W, a vazão do gás nebulizador e do auxiliar foi 0,5 L/min. Para a introdução da amostra foi utilizado um nebulizador *Burgener Mira Mist* e câmara de nebulização do tipo ciclônica. Os comprimentos de onda escolhidos variaram de acordo com o elemento analisado (Araujo, 2023). Todos os experimentos de caracterização foram realizados em triplicata.

2.3 Animais

Os experimentos foram conduzidos no Laboratório de Ecofisiologia e Comportamento Animal (LECA) da UFRPE, que possui um biotério registrado na plataforma do Conselho

Nacional de Experimentação Animal (CIUCA-CONCEA). Os protocolos utilizados foram aprovados pelo do Comitê de Ética no Uso de Animais (CEUA) da UFRPE (protocolo número 8593160922). Foram utilizados animais adultos de *zebrafish* com 1 ano de idade, provenientes da linhagem selvagem mantida no biotério do LECA. Os peixes adultos foram mantidos em aquários de 80 L, com aeração (11 mg/L de oxigênio dissolvido), água declorada (adicionada de tiosulfato de sódio), filtragem constante, temperatura 26 ± 1 °C, pH $7,5 \pm 0,5$, fotoperíodo controlado 14/10 (claro/escuro) e foram alimentados duas vezes ao dia com ração extrusada (30% de proteína bruta) e artêmia (*Artemia spp*) congelada.

Para obter os embriões, os animais adultos foram colocados em aquários de desova (*Zeb Clean, Alesco*) na proporção de 2 machos para uma fêmea (Westerfield, 2000). As reproduções ocorreram no período da manhã. 30 min após a fecundação os ovos foram recolhidos, lavados com água destilada e analisados. Os ovos viáveis, aqueles com desenvolvimento normal de blástula (que não coagularam), foram selecionados para as análises e dispostos em potes estéreis de poliestireno de 80 mL (OECD, 2013; Santos *et al.*, 2023).

2.4 Testes de ecotoxicidade

Inicialmente foram determinadas as diluições ideais para análise da ecotoxicidade do efluente bruto, tratado e do elutriado do lodo, por meio da análise da epibolia. Com as diluições ideais determinadas, foram avaliados os efeitos teratogênicos e realizados testes comportamentais. A NBR 15088 (ABNT, 2016), que trata sobre ecotoxicidade aquática e método de ensaios com peixes (Cyprinidae), foi utilizada como base para determinação das diluições. Esta norma propõe percentuais de diluição de 100%, 50%, 25%, 12,5%, 6,3% e 3,1%. Com base nisso foram formados os grupos experimentais, de acordo com a Tabela 2.

Tabela 2. Grupos experimentais formados, percentuais de diluição das amostras, volume adicionado das amostras ao reservatório e adição de água declorada para o volume final usado nos testes com animais.

<i>Grupo experimental</i>		<i>Percentual de diluição</i>	<i>Volume da amostra (mL)</i>	<i>Água declorada (mL)*</i>
Controle		-	-	80,0
Efluente bruto	EB 100%	100,0%	80,0	0,0
	EB 50%	50,0%	40,0	40,0
	EB 25%	25,0%	20,0	60,0
	EB 12,5%	12,5%	10,0	70,0
	EB 6,3%	6,3%	5,0	75,0
	EB 3,1%	3,1%	2,5	77,5
Efluente tratado	ET 100%	100,0%	80	0,0
	ET 50%	50,0%	40	40,0

	ET 25%	25,0%	20	60,0
	ET 12,5%	12,5%	10	70,0
	ET 6,3%	6,3%	5	75,0
	ET 3,1%	3,1%	2,5	77,5
Elutriato do lodo	ELU 100%	100,0%	80	0,0
	ELU 50%	50,0%	40	40,0
	ELU 25%	25,0%	20	60,0
	ELU 12,5%	12,5%	10	70,0
	ELU 6,3%	6,3%	5	75,0
	ELU 3,1%	3,1%	2,5	77,5

Nota: *Água potável adicionada de tiosulfato de sódio para remoção do cloro. Legenda: EB – Efluente bruto; ET – Efluente tratado; ELU - Elutriato do lodo.

Para a análise da epibolia foram utilizadas seis concentrações de cada efluente e do elutriato, além do grupo controle, que totalizou 19 grupos experimentais, cada grupo contendo 35 animais ($n = 19$ grupos \times 35 animais = 665 embriões). Neste teste cada animal representou uma réplica. Este procedimento seguiu a metodologia de Cadena *et al.* (2020b). Em 2 horas após a fertilização (hpf) os embriões foram expostos às diferentes diluições dos efluentes e do elutriato do lodo, a epibolia foi avaliada em 8 hpf. As diluições ideais determinadas foram aquelas que não causaram alta coagulação, conseqüentemente morte, mas provocaram retardo na epibolia.

Após o estabelecimento das diluições ideais foram avaliados os efeitos teratogênicos e o comportamento animal. Para estes testes foram utilizados um grupo controle, efluente bruto 6,3%, efluente tratado 6,3 e 12,5% e elutriato do lodo 6,3%, todos com 5 réplicas ($n = 5$ grupos \times 5 réplicas \times 15 = 375 animais ao total dos testes). Os testes foram realizados com sistema estático de troca total da água diariamente, com renovação das soluções e retirada dos animais mortos. A mortalidade foi avaliada em 24, 48, 72, 96 e 144 hpf segundo OECD 236 (2013). Os efeitos teratogênicos foram avaliados em 24, 48, 72 e 96 hpf (Cadena *et al.*, 2020b; OECD, 2013; Silva *et al.*, 2019). Os testes comportamentais foram realizados em 144 hpf (Cadena *et al.*, 2020a).

2.5 Endpoints analisados

2.5.1 Epibolia

A fase de desenvolvimento do animal, em relação à epibolia, foi determinada segundo Cadena *et al.* (2020b). Para essa avaliação, os embriões em 8 hpf foram fixados em paraformaldeído a 4% (p/v) em tampão fosfato de sódio 100 mM, pH 7,4 durante 24 h. Após a

fixação, os embriões foram lavados três vezes com o mesmo tampão. Em seguida, as imagens dos embriões foram capturadas por meio do microscópio BEL Solaris-T e câmera HAYEAR HY-2307. A medição da epibolia ocorreu com auxílio do *software Image J* (versão 1.52p, *National Institutes of Health*, USA). Para essa análise foi medida a distância entre o polo animal e a margem do blastoderme dividido pela distância entre o polo animal e o polo vegetal. Com esses valores foi possível determinar a média do percentual da epibolia por grupo avaliado (Cadena *et al.*, 2020b).

2.5.2 Efeitos teratogênicos

A taxa de mortalidade foi avaliada em 24, 48, 72, 96 e 144 hpf, o animal foi considerado morto quando apresentou ausência de batimentos cardíacos ou movimento (OECD, 2013). Os efeitos teratogênicos foram analisados em 24 e 72 hpf, para tal foram observados: edema de pericárdio, edema de saco vitelínico, ausência de pigmentação, deformação de cauda, deformação de coluna, área de coagulação e retardo no desenvolvimento. A taxa de eclosão foi avaliada em 72 hpf e a frequência cardíaca em 48 e 96 hpf (Cadena *et al.*, 2020b; OECD, 2013; Santos *et al.*, 2023; Silva *et al.*, 2019). A frequência cardíaca foi medida com o auxílio de contador manual por meio de microscópio óptico, com os resultados sendo apresentados pela contabilização dos batimentos por minuto (Silva *et al.*, 2019). Para avaliação dos efeitos teratogênicos e taxa de eclosão, os dados foram coletados por resposta dicotômica (presença ou ausência), agrupados e avaliados de acordo com a frequência. Por fim, os dados foram apresentados com base no percentual de animais afetados (Santos *et al.*, 2023).

2.5.3 Comportamento animal

Os testes comportamentais foram realizados em 144 hpf utilizando os mesmos animais do item 2.5.2. A análise do comportamento animal ocorreu por meio do teste de tigmotaxia e sensibilidade ao toque, seguindo a metodologia proposta por Cadena *et al.*, (2020a). Para estes testes não foram utilizados os animais mortos ou que apresentaram efeitos teratogênicos. As larvas foram colocadas em placas de 24 poços, e aclimatadas por 10 min. Para o teste de tigmotaxia, observou-se as larvas que se mantiveram próximo as paredes, este teste foi avaliado qualitativamente, por resposta dicotômica (presença ou ausência). Logo após, foi observada a sensibilidade ao toque, para avaliar a resposta larval a estímulos mecânicos, para isto, as larvas foram tocadas na cauda ou cabeça, e a resposta a fuga foi registrada de forma qualitativa por

reposta dicotômica (presença ou ausência) (Cadena *et al.*, 2020a). Ao fim dos experimentos, os animais foram eutanasiados com superdosagem anestésica de eugenol na concentração de 300 mg/L durante 600 s+ associado com hipotermia de 2 a 4 °C.

2.6 Análises estatísticas

As análises estatísticas referentes a caracterização físico-química ocorreram com auxílio do Microsoft Excel 365. Já as análises estatísticas dos testes de ecotoxicidade ocorreram por meio do software Origin Pro Academic 2015 (Origin Lab. Northampton, MA USA). Os resultados foram avaliados considerando média e desvio padrão e os grupos foram comparados por *one-way* ANOVA seguido pelo teste de Tukey ($p < 0,05$) (Cadena *et al.*, 2020b).

3 RESULTADOS

3.1 Caracterização físico-química

3.1.1 Caracterização do efluente bruto e tratado

Os parâmetros físico-químicos foram analisados como um dos indicadores da qualidade da água gerada após o tratamento do efluente têxtil, que ocorre por processos físico-químicos baseados na coagulação e floculação e utilizam produtos químicos como sulfato de alumínio, polímero floculante, hidróxido de sódio e óxido de cálcio. A caracterização físico-química realizada em virtude do efluente bruto e do efluente tratado permitiu a determinação da eficiência do tratamento da ETE da lavanderia estudada. Esses resultados estão apresentados na Tabela 3, assim como os valores limites estabelecidos pela resolução n° 430/2011 do CONAMA, que se referem a padrões de lançamento de efluentes industriais (Brasil, 2011), e pela resolução n° 375/2005 do CONAMA, referente a cursos d'água enquadrado na classe II (Brasil, 2005).

Tabela 3. Caracterização físico-química dos efluentes coletados em uma das lavanderias do Polo Têxtil do Agreste de Pernambuco, localizada na cidade de Caruaru.

<i>Parâmetros</i>	<i>Efluente bruto</i>	<i>Efluente tratado</i>	<i>Eficiência do tratamento (%)</i>	<i>Resolução n° 430/2011</i>	<i>Resolução n° 375/2005 (cursos d'água classe II)</i>
pH	6,68 ± 0,05	7,06 ± 0,08	-	5 a 9	6 a 9
Cor (mg Pt-Co/L)	1260,40 ± 71,13	451,7 ± 54,56	64,16	-	Até 75 mg Pt-CO/L
Turbidez (UNT)	673,67 ± 6,02	36,43 ± 0,25	94,59	-	Até 100 UNT

Alcalinidade (mg/L CaCO ₃)	440,00 ± 13,80	350,67 ± 19,70	20,30	-	-
Cloreto (ml/L)	2106,68 ± 5,20	2705,83 ± 40,40	IND*	-	250 mg/L
Dureza Total (mg/L CaCO ₃)	669,33 ± 24,30	689,33 ± 17,43	IND*	-	-
DQO (mg O ₂ /L)	1871,70 ± 69,50	348,83 ± 41,30	81,36	-	-
Sólidos totais (mg/L)	10206,70 ± 995,78	5073,03 ± 99,78	50,29	-	-
Sólidos totais fixos (mg/L)	926,70 ± 110,15	799,9 ± 105,83	15,80	-	-
Sólidos totais voláteis (mg/L)	9280,00 ± 1316,40	4273,33 ± 205,30	54,00	-	-

Nota: *Indeterminado.

Considerando o efluente tratado e eficiência do tratamento, o pH esteve entre os valores estipulados pelas legislações (Resolução nº430/2011 e nº 375/2005 do CONAMA). A cor foi reduzida em 64%, mas esteve fora do limite máximo estipulado pela legislação nº 375/2005. A turbidez foi o parâmetro que obteve maior percentual de tratamento, com redução aproximada de 95% e esteve abaixo do valor limite estipulado na resolução nº 375/2005. A alcalinidade foi reduzida em 20%. As concentrações de cloreto e a dureza total não foram reduzidas após o tratamento, impossibilitando o cálculo da eficiência. A demanda química de oxigênio (DQO) foi reduzida em 81%, sendo o segundo parâmetro com maior percentual de eficiência do tratamento. Houve também redução em todos os sólidos avaliados, com maior destaque para redução de 54% dos sólidos voláteis. A análise de metais do efluente bruto e tratado e os valores limites estipulados pelas Resoluções nº430/2011 e nº 375/2005 do CONAMA estão presentes na Tabela 4.

Tabela 4. Análise de metais pelo método de ICP-OS dos efluentes coletados em uma das lavanderias do Polo Têxtil do Agreste de Pernambuco, localizada na cidade de Caruaru.

Metais (mg/L)	Efluente bruto	Efluente tratado	Resolução nº 430/2011	Resolução nº 375/2005 (cursos d'água classe II)
Al	3,99 ± 0,41	29,11 ± 0,45	-	0,10
Ba	0,67 ± 0,04	0,53 ± 0,02	5,00	0,70
Cu	0,21 ± 0,01	0,15 ± 0,02	1,00	0,01
K	60,31 ± 6,92	60,57 ± 3,05	-	-
Mn	1,97 ± 0,22	2,10 ± 0,58	1,10	0,10
Ni	0,08 ± 0,03	0,00	2,00	0,03
Sr	1,74 ± 0,19	1,52 ± 0,12	-	-
Zn	1,33 ± 0,19	1,64 ± 0,06	5,00	0,18

Nota: As análises de metais ocorreram em virtude dos seguintes elementos: Al, As, Ba, Cd, Co, Cr, Cu, K, Mn, Mo, Ni, Pb, Se, Sr e Zn. No entanto, só foram obtidos resultados para: Al, Ba, Cu, K, Mn, Ni, Sr, Zn.

A concentração de Al aumentou consideravelmente no efluente tratado. As concentrações de Ba e Ni encontradas estiveram abaixo dos limites estabelecidos pelas Resoluções nº 430/2011 e nº 375/2005. As concentrações de Cu e Zn no efluente tratado estiveram de acordo Resolução nº 430/2011, mas acima dos limites estipulados pela resolução nº 375/2005. A concentração de Mn esteve em desacordo com as duas resoluções (nº 430/2011 e nº 375/2005 do CONAMA). A Resolução nº 430/2011 não estipulam valores limites para o Al, K e Sr.

3.1.2 Caracterização do lodo sólido e elutriado do lodo

As análises físico-químicas e de metais do lodo ocorreram em virtude do lodo sólido e do elutriado do lodo (lodo solubilizado) estes resultados são apresentados nas Tabelas 5 e 6.

Tabela 5: Caracterização físico-química do lodo sólido e do elutriado proveniente do lodo coletados em uma das lavanderias do Polo Têxtil do Agreste de Pernambuco, localizada na cidade de Caruaru.

<i>Parâmetros</i>	<i>Lodo sólido</i>	<i>Elutriado</i>
pH	-	8,50 ± 0,03
Cor (absorbância)	-	661,90 ± 61,03
Turbidez (UNT)	-	112,30 ± 0,58
Alcalinidade CaCO ₃ (mg/L)	-	277,30 ± 10,06
Cloreto/ AgNO ₃ (ml/L)	-	719,10 ± 5,03
Dureza Total CaCO ₃ (mg/L)	-	384,00 ± 4,61
DQO (mg O ₂ /L)	-	3910,00 ± 158,00
Sólidos Totais (mg/kg)	123766,70 ± 4035,23	-
Sólidos totais fixos (mg/kg)	33460,00 ± 3932,23	-
Sólidos voláteis (mg/kg)	90306,70 ± 1250,70	-

O elutriado do lodo apresentou uma elevada concentração de cor, turbidez e DQO. O lodo têxtil é classificado pela NBR 10004 (ABNT, 2004b) como resíduo classe II, não perigoso, sendo tratado como um resíduo que não apresenta risco à saúde pública e ao meio ambiente. Altas concentrações de sólidos totais foram registrados no lodo sólido, assim como elevadas concentrações de metais (Tabela 6).

Tabela 6. Análise de metais usando ICP-OS do lodo sólido e do elutriado proveniente do lodo coletado em uma das lavanderias do Polo Têxtil do Agreste de Pernambuco, localizada na cidade de Caruaru.

<i>Metais (mg/L)</i>	<i>Lodo sólido</i>	<i>Elutriado</i>
Al	1495,22 ± 12,41	0,41 ± 0,00
Ba	5,77 ± 0,11	0,36 ± 0,07
Cr	0,61 ± 0,01	0

Cu	7,19 ± 0,14	0,27 ± 0,06
K	101,73 ± 1,51	13,04 ± 1,28
Mn	193,05 ± 13,19	0
Mo	0,13 ± 0,03	0
Ni	0,34 ± 0,04	0
Pb	0,13 ± 0,06	0
Sr	21,01 ± 0,36	0,48 ± 0,08
Zn	8,06 ± 0,13	0,83 ± 0,22

Nota: As análises de metais ocorreram em virtude dos seguintes elementos: Al, As, Ba, Cd, Co, Cr, Cu, K, Mn, Mo, Ni, Pb, Se, Sr e Zn. No entanto, só foram obtidos resultados para: Al, Ba, Cr, Cu, K, Mn, Mo, Ni, Pb, Sr, Zn.

No lodo sólido foram observados altas concentrações de Al e Mn. Além disso metais como Cr, Mo, Pb e Ni estiveram presentes no lodo, mas não no efluente tratado, demonstrando que o lodo apresentou valores concentrados dos poluentes presente nos efluentes.

3.2. Testes de ecotoxicidade

3.2.1. Epibolia

Os embriões foram expostos a diferentes concentrações do efluente bruto, tratado e do elutriado do lodo onde foi observado o desenvolvimento embrionário em 8 hpf por meio da epibolia (Figura 2A). Se observa que a epibolia no grupo controle foi superior a 75% o que valida os nossos resultados (Kimmel et al., 1995). Todos os efluentes provocaram atraso na epibolia em diluições superiores 25% e acima disso alta mortalidade, o que pode também ser vista pela coagulação (Figura 2B). Apenas em diluições inferiores a 3,1%, não foi observado atraso na epibolia no efluente bruto. Apesar da eficiência de tratamento do efluente em relação aos parâmetros físico-químicos estudados, observa-se que no efluente tratado somente em diluições inferiores a 25% não houve atraso na epibolia. Em valores acima disso, foi observado atraso na epibolia, mas não foi observado alta coagulação como visto nos animais expostos ao efluente bruto. O elutriado se mostrou mais tóxico do que o efluente tratado, pois provocou atraso na epibolia em todas as diluições estudadas.

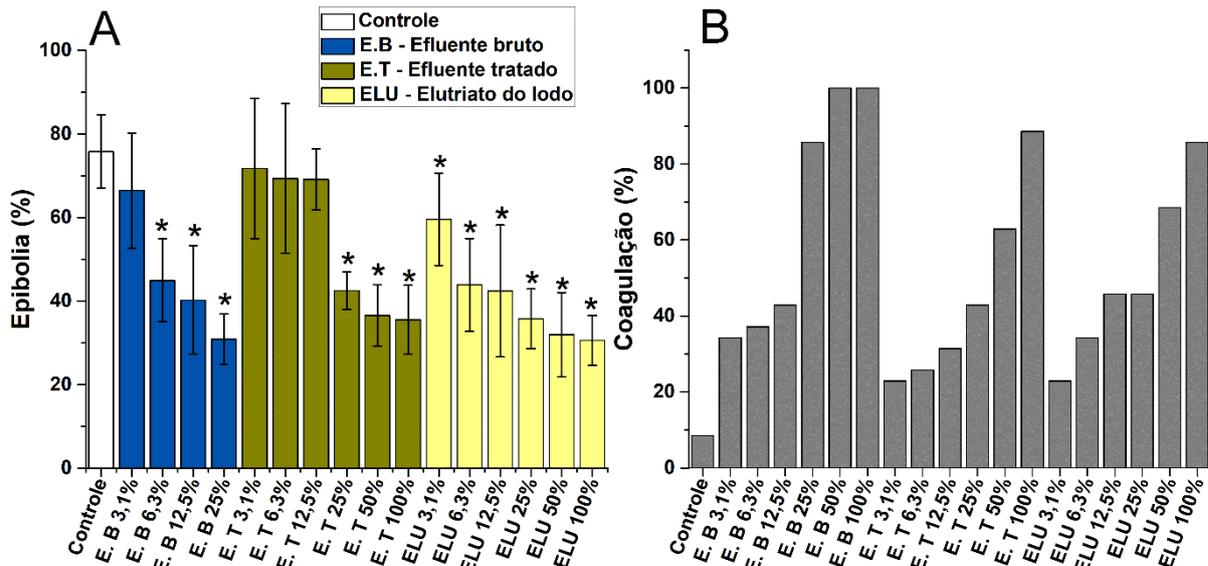


Figura 2. Avaliação da embriogênese do *zebrafish* em 8 hpf pela sua epibolia (A) quando os animais foram expostos a diferentes taxas de diluição dos efluentes bruto, tratado e elutriado do lodo coletados em uma das lavanderias do Polo Têxtil do Agreste de Pernambuco, localizada na cidade de Caruaru. (B) Percentual de coagulação observada nos animais durante a avaliação da epibolia. Os animais foram considerados afetados em A quando $p < 0,05$. Legenda: E. B – Efluente bruto; E. T – Efluente tratado; ELU - Elutriado do lodo. Cada grupo experimental foi comparado com o grupo controle por One-way ANOVA ($F(16, 301) = 33,418$ $p < 0,001$) seguido pelo teste de Tukey. E. B 3,1% ($p = 0,241$), E. B 6,3% ($p < 0,001$), E. B 12,5% ($p < 0,001$), E. B 25% ($p < 0,001$), E.T 3,1% ($p = 0,996$), E.T 6,3% ($p = 0,814$), E.T 12,5% ($p = 0,828$), E.T 25% ($p < 0,001$), E.T 50% ($p < 0,001$), E.T 100% ($p < 0,001$), ELU 3,1% ($p < 0,001$), ELU 6,3% ($p < 0,001$), ELU 12,5% ($p < 0,001$), ELU 25% ($p < 0,001$), ELU 50% ($p < 0,001$), ELU 100% ($p < 0,001$). * Indica diferença estatisticamente significativa em relação ao controle ($p < 0,05$) pelo teste de Tukey.

Considerando que os efluentes ao serem despejados no riacho Salgado serão diluídos pela água do rio, utilizamos para as próximas análises as diluições dos efluentes que tiveram baixa mortalidade e provocaram atrasos no desenvolvimento pela análise da epibolia para avaliar os efeitos em testes ecotoxicológicos de maior duração. Por meio desta análise foram estabelecidas as diluições ideais para realização dos testes de ecotoxicidade até 144 hpf, sendo elas: ET 6,3 %, ET 12,5%, EB 6,3%, ELU 6,3 %.

3.2.2 Efeitos teratogênicos

Os resultados referentes a mortalidade são apresentados na Figura 3. O grupo controle atingiu 9,3% de mortalidade, mantendo-se em acordo com a OCDE 236 (2013) que estabelece que a mortalidade no grupo controle não pode exceder 10% até 96 hpf. O maior percentual de mortalidade foi observado em 96 e 144 hpf no grupo ELU 6,3%. Nos demais grupos, a mortalidade não ultrapassou 36% (Figura 3). Isto indica que em uma exposição de maior tempo (até 144 hpf), o elutriado foi mais tóxico do que o efluente bruto e tratado.

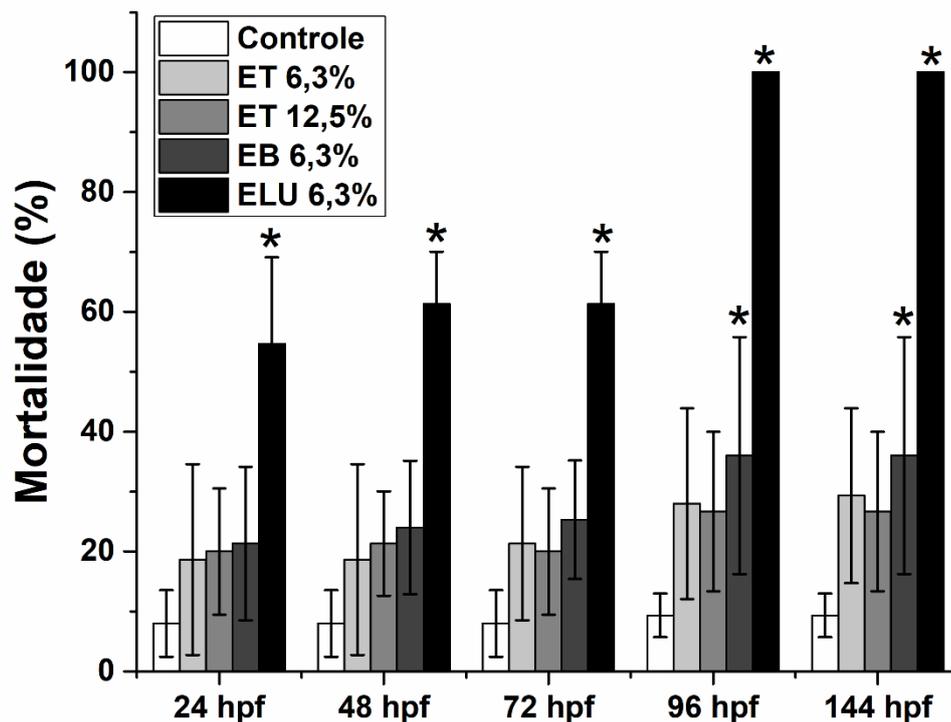


Figura 3. Mortalidade de embriões e larvas de *zebrafish* avaliados em 24, 48, 72, 96 e 144 hpf, expostas diariamente às taxas de diluições do efluente tratado, bruto e elutriado do lodo coletados em uma das lavanderias do Polo Têxtil do Agreste de Pernambuco, localizada na cidade de Caruaru. Os animais foram considerados afetados quando $p < 0,05$. Legenda: ET 6,3% – Efluente tratado 6,3%; ET 12,5% – Efluente tratado 12,5%; EB 6,3% – Efluente bruto 6,3%; ELU – Elutriado do lodo 6,3%. Cada grupo experimental foi comparado com o grupo controle por One-way ANOVA seguidos pelo teste de Tukey: em 24 hpf ($F(4, 20) = 10,132$ $p < 0,001$) ET 6,3% ($p = 0,659$), ET 12,5% ($p = 0,556$), EB 6,3% ($p = 0,456$), ELU 6,3% ($p < 0,001$); em 48 hpf ($F(4, 20) = 18,413$ $p < 0,001$), ET 6,3% ($p = 0,519$), ET 12,5% ($p = 0,305$), EB 6,3% ($p = 0,159$), ELU 6,3% ($p < 0,001$); em 72 hpf ($F(4, 20) = 21,139$ $p < 0,001$) ET 6,3% ($p = 0,238$), ET 12,5% ($p = 0,331$), EB 6,3% ($p = 0,074$), ELU 6,3% ($p < 0,001$); em 96 hpf ($F(4, 20) = 36,489$ $p < 0,001$) ET 6,3% ($p = 0,191$), ET 12,5% ($p = 0,250$), EB 6,3% ($p < 0,05$), ELU 6,3% ($p < 0,001$); em 144 hpf ($F(4, 20) = 38,083$ $p < 0,001$) ET 6,3% ($p = 0,128$), ET 12,5% ($p = 0,230$), EB 6,3% ($p < 0,05$), ELU 6,3% ($p < 0,001$). * Indica diferença estatisticamente significativa em relação ao controle ($p < 0,05$) pelo teste de Tukey.

Os efeitos teratogênicos foram avaliados em 24 e 72 hpf (Figura 4A e B) onde a taxa de animais afetados foi maior nos animais expostos ao ELU 6,3%. Neste grupo, todos os animais apresentaram retardo no desenvolvimento. Dentre os animais afetados expostos ao EB 6,3%, ET 12,5% e ET 6,3%, os efeitos teratogênicos mais observados, independentemente do tipo de efluente, foram: deformação de coluna, deformação de cauda, edema de saco vitelínico e edema de pericárdio, o que poderia indicar que o composto químico a induzir toxicidade seja comum em todas as amostras.

A frequência cardíaca foi analisada em 48 e 96 hpf e pode ser observada nas Figuras 4C e 4D. Não foi possível determinar a frequência cardíaca dos animais expostos ao ELU 6,3%, pois não foi observada eclosão e não foi possível visualizar o coração devido ao atraso no desenvolvimento até em 96 hpf, o que indica alta toxicidade deste efluente. Os animais expostos

a ET 12,5% e EB 6,3% tiveram alteração na frequência cardíaca nos dois tempos estudados. A taxa de eclosão foi avaliada em 72 hpf, no ELU 6,3% nenhum dos animais havia eclodido (Figura 4E).

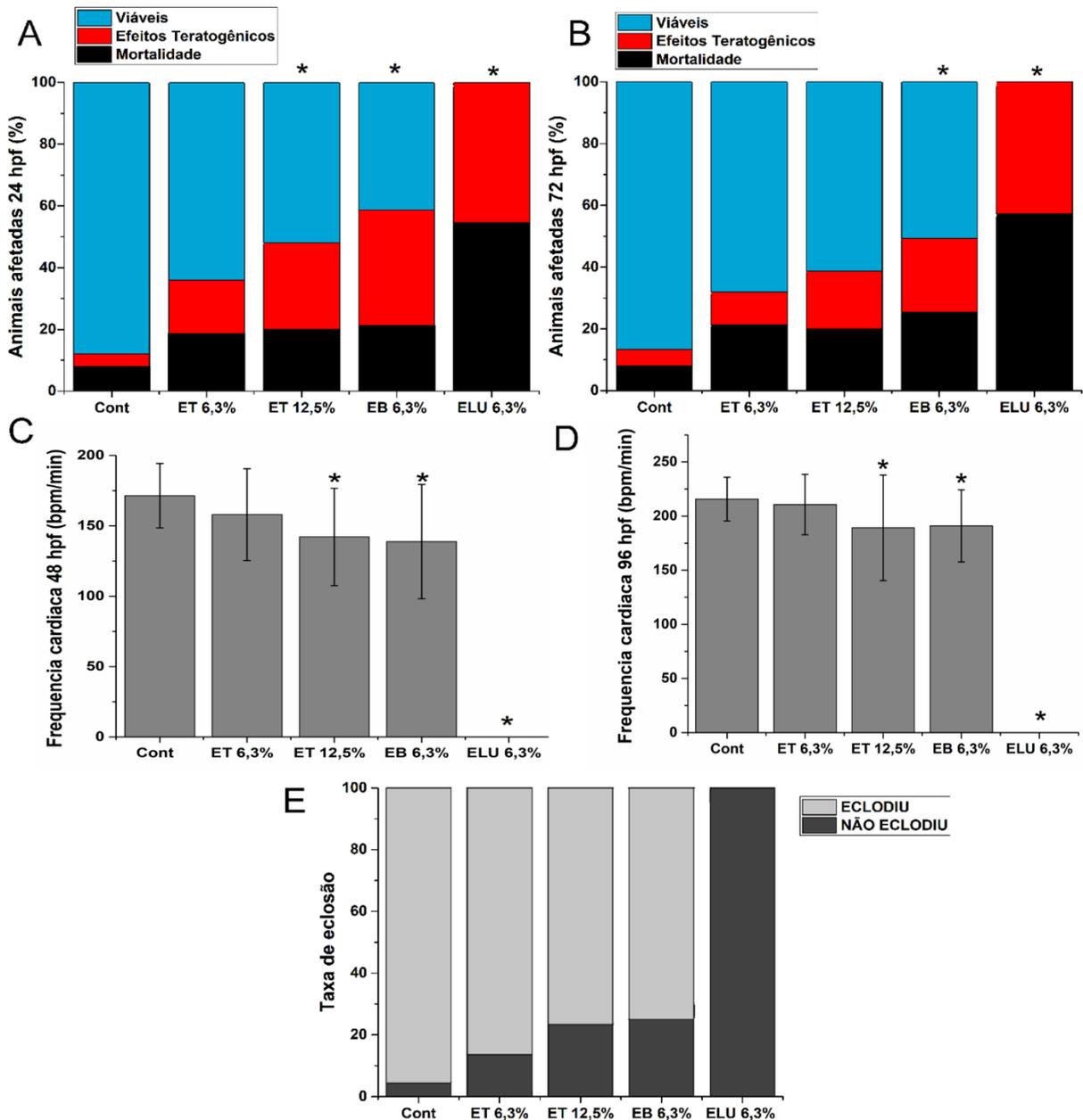


Figura 4. Percentual de animais afetados em 24 hpf (A) e 72 hpf (B) após exposição às taxas de diluições do efluente tratado, bruto e elutriado do lodo coletados em uma das lavanderias do Polo Têxtil do Agreste de Pernambuco, localizada na cidade de Caruaru. * Os animais foram considerados afetados quando $p < 0,05$, indicando diferença estatisticamente significativa em relação ao controle pelo teste de Tukey. Legenda: ET 6,3% – Efluente tratado 6,3%; ET 12,5% – Efluente tratado 12,5%; EB 6,3% – Efluente bruto 6,3%; ELU – Elutriado do lodo 6,3%. Os grupos experimentais (A e B) foram comparado com o grupo controle por One-way ANOVA seguidos pelo teste de Tukey: em 24 hpf ($F(4, 20) = 20,870$ $p < 0,001$) ET 6,3% ($p = 0,159$), ET 12,5% ($p < 0,05$), EB 6,3% ($p < 0,001$), ELU 6,3% ($p < 0,001$); em 72 hpf ($F(4, 20) = 25,169$ $p < 0,001$) ET 6,3% ($p = 0,287$), ET 12,5% ($p = 0,07$), EB 6,3% ($p < 0,001$), ELU 6,3% ($p < 0,001$). (C) Frequência cardíaca por minuto em 48 hpf e 96 hpf (D) após exposição as taxas de diluições dos efluentes e do elutriado do lodo. Os grupos experimentais (C e D) foram comparado com o grupo controle por One-way ANOVA seguidos pelo teste de Tukey: em 48 hpf ($F(4,$

287) = 244,370 $p < 0,001$) ET 6,3% ($p = 0,092$), ET 12,5% ($p < 0,001$), EB 6,3% ($p < 0,001$), ELU 6,3% ($p < 0,001$); em 96 hpf ($F(4, 240) = 149,672$ $p < 0,001$) ET 6,3% ($p = 0,920$), ET 12,5% ($p < 0,001$), EB 6,3% ($p < 0,001$), ELU 6,3% ($p < 0,001$). (E) Análise qualitativa referente ao percentual de animais que eclodiram e não eclodiram em 72 hpf após exposição as taxas de diluições dos efluentes e do elutriato do lodo.

3.2.3 Comportamento animal

Os testes comportamentais foram realizados em 144 hpf (Figura 5). Foi observado um percentual de 87% de resposta de sensibilidade ao toque no grupo controle e 88% de respostas a tigmotaxia, o que está de acordo com o observado por Cadena *et al.* (2020a) para a larva do *zebrafish*. Todos os efluentes afetaram a sensibilidade ao toque e a tigmotaxia nos animais expostos, indicando neurotoxicidade.

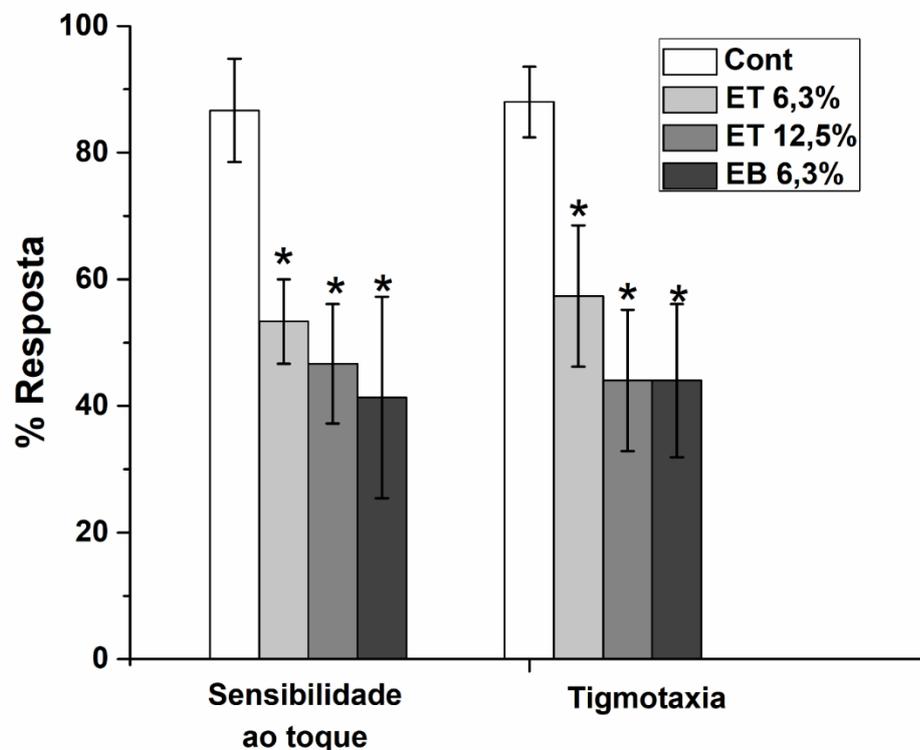


Figura 5. Análise da tigmotaxia e sensibilidade ao toque em 144 hpf após exposição ao efluente bruto, tratado e elutriato do lodo coletados em uma das lavanderias do Polo Têxtil do Agreste de Pernambuco, localizada na cidade de Caruaru. Os animais foram considerados afetados quando $p < 0,05$. Legenda: ET 6,3% – Efluente tratado 6,3%; ET 12,5% – Efluente tratado 12,5%; EB 6,3% – Efluente bruto 6,3%. Cada grupo experimental foi comparado com o grupo controle por One-way ANOVA seguidos pelo teste de Tukey; sensibilidade ao toque ($F(3, 16) = 18,320$ $p < 0,001$) ET 6,3% ($p < 0,001$), ET 12,5% ($p < 0,001$), EB 6,3% ($p < 0,001$); tigmotaxia ($F(3, 16) = 20,187$) $p < 0,001$) ET 6,3% ($p < 0,001$), ET 12,5% ($p < 0,001$), EB 6,3% ($p < 0,001$). * Indica diferença estatisticamente significativa em relação ao controle ($p < 0,05$) pelo teste de Tukey.

4 DISCUSSÃO

A utilização do sulfato de alumínio como coagulante no processo de tratamento tende a diminuir o pH da amostra tratada em virtude da influência do caráter ácido do sulfato de

alumínio (Cunha *et al.*, 2019). No entanto, houve o aumento do pH, que pode ser explicado pela utilização de substâncias como hidróxido de sódio e óxido de cálcio para induzir a alcalinidade do efluente bruto, tendo em vista que a reação química entre a alcalinidade e o sulfato de alumínio causa a coagulação (FUNASA, 2013).

Foi observado que o processo de tratamento físico-químico utilizado na ETE da lavanderia têxtil levou ao aumento do pH, redução da alcalinidade e aumento do cloreto e da dureza no efluente tratado. Esses fatores explicam a indeterminação da eficiência de tratamento para o cloreto e a dureza, visto que não houve redução nas concentrações desses parâmetros por conta do uso de sais nos processos industriais. De acordo com Hussein (2013) altas concentrações de cloreto já são características nos efluentes têxteis decorrente dos processos de beneficiamento utilizados nas indústrias, que podem estar relacionados a utilização de cloreto de sódio no banho dos jeans para aperfeiçoamento das peças (Silva *et al.*, 2021).

O aumento do pH e redução da alcalinidade também foram observados por Silva *et al.* (2019) e Araujo (2023), ambos avaliaram a eficiência do tratamento físico-químico de efluente têxtil utilizando o sulfato de alumínio como coagulante, os autores também obtiveram redução da DQO, cor e turbidez, conciliando com os resultados obtidos no presente estudo. No entanto, com base na caracterização realizada foi possível observar que a eficiência na redução da cor não foi suficiente para corresponder ao limite estipulado pela legislação nº 375/2005, demonstrando a necessidade da busca por uma dosagem ótima de coagulante que aumente a redução da cor.

Com base nos parâmetros avaliados e nas resoluções estudadas (nº 430/2011 e nº 375/2005 do CONAMA) foi possível observar que as legislações não estipulam valores limites para alguns parâmetros que podem afetar a qualidade da água, como alcalinidade, dureza, DQO, sólidos e alguns metais (Al, K e Sr). A DQO quantifica diretamente a matéria orgânica oxidável presente nos efluentes. Valores elevados de DQO poderão reduzir o oxigênio dissolvido (OD) (ALEEM *et al.*, 2020), havendo uma relação inversa entre o nível de DQO e a concentração de OD. O baixo nível de OD prejudica a continuidade dos processos naturais de sustentação da vida aquática, indicando poluição aquática (Islam *et al.*, 2019). Nosso estudo demonstrou que houve eficiência na redução da DQO no efluente tratado. No entanto, avaliações realizadas por Araujo (2023) em uma das lavanderias do Polo Têxtil do Agreste do Pernambuco, demonstrou que a DQO da água bruta inserida no sistema foi 66,20 mg/L. Deste modo, apesar da redução da DQO do efluente tratado estudado, quando comparamos com água de entrada do sistema esse valor ainda se apresenta elevado. Gqomfa *et al.*, (2023) ressaltam que os níveis de DQO aceitáveis para descarga de águas residuais, de modo a manter a qualidade das águas

superficiais e não prejudicar os seres vivos é de até 75 mg/L, com base nas diretrizes sul-africanas. Alguns países da União Europeia, como Portugal, Itália e Espanha estipularam o valor máximo para DQO de 160 mg/L (Santos, 2023). O Banco Mundial estabeleceu que a DQO máxima para o lançamento de efluentes têxteis não poderá ultrapassar 250 mg/L (Nascimento e Sperling, 2002). No presente estudo a DQO apresentou valores elevados em todas as amostras avaliadas, com maior destaque para o elutriado do lodo.

O elutriado do lodo causou atraso no desenvolvimento embrionário em todas as diluições estudadas, além do alto percentual de mortalidade que impossibilitou os testes comportamentais, demonstrando a alta toxicidade do lodo. A classificação do lodo como resíduo não perigoso (ABNT, 2004b) abre espaço para o descarte incorreto desse resíduo. Além disso, a resolução nº 489/2020 do CONAMA (Brasil, 2020) possibilita a aplicação do lodo no solo para aproveitamento do potencial agrônômico, mas essa aplicação é limitada apenas pela presença de patógenos e alguns metais, dentre eles não está incluso o Al.

O Al foi o segundo metal mais abundante em todas as amostras avaliadas, as maiores concentrações observadas foram no efluente tratado e no lodo, em virtude do sulfato de alumínio utilizado durante o processo de tratamento. Este metal pode se acumular nos órgãos do sistema imunológico provocando lesões nos tecidos, além de danos oxidativos, distúrbios bioquímicos e metabólicos (Cao *et al.*, 2023). Altas concentrações de Al são neurotóxicas e podem estar associadas ao desenvolvimento da doença de Alzheimer (Silva Neto *et al.*, 2020). Essas observações corroboram com a neurotoxicidade identificada a partir dos testes de sensibilidade ao toque e tigmotaxia, além dos efeitos teratogênicos. Foram encontradas altas concentrações de Al nos efluentes, indicando este metal como um composto químico que pode vir a induzir toxicidade nos embriões e larvas de *zebrafish*, causando principalmente malformação, efeitos cardiovasculares e neurológicos.

Nesta mesma perspectiva, estudos realizados por Martinez (2017) em ratos demonstraram que a exposição ao Al desencadeou efeitos tóxicos no sistema nervoso, reprodutor e cardiovascular, induzindo alterações congênicas e comportamentais levando ao comprometimento da memória de longa duração, desenvolvimento de catalepsia, disfunção no sistema reprodutor e comprometimento do funcionamento do sistema cardiovascular. Correlacionado as repostas encontradas nos testes realizados com os estudos que avaliaram a toxicidade do Al (Cao *et al.*, 2023; Martinez, 2017; Silva Neto *et al.*, 2020) este composto pode ser indicado como um possível agente tóxico. No entanto, dentre os parâmetros avaliados e os metais encontrados pela caracterização físico-química, entende-se que estão presentes diferentes compostos com variadas concentrações que podem afetar a vida aquática, tornando

necessário o estudo direcionado dos poluentes encontrados para comprovar os efeitos tóxicos de forma isolada.

As análises realizadas com os embriões e larvas de *zebrafish* indicaram diretamente a ecotoxicidade dos efluentes têxteis e do lodo. Além disso, em virtude das semelhanças entre os embriões de *zebrafish* com o embrião humano no primeiro trimestre do desenvolvimento gestacional (Fernandes; Rampersad; Gerlai, 2015), esse modelo animal pode demonstrar as possíveis implicações que compostos tóxicos causam em embriões humanos (Sant; Timme-Laragy, 2019), demonstrado que o efluente têxtil, apesar de tratado, e o lodo podem afetar não somente bem-estar animal e o meio ambiente, mas também a saúde humana.

5 CONCLUSÃO

Diante das análises realizadas é possível constatar que, por mais que o tratamento do efluente bruto tenha se apresentado eficiente para redução de alguns parâmetros e da NBR 10004 (ABNT, 2004b) classificar o lodo como resíduo classe II, não perigoso, quando submetemos os efluentes e o elutriado do lodo a análises ecotoxicológicas mais complexas, como o estudo do desenvolvimento e comportamento animal, é observado que esses resíduos são tóxicos até mesmo em amostras diluídas, indicando a presença de compostos que induzem a ecotoxicidade, com destaque para o atraso no desenvolvimento embrionário, danos teratogênicos, efeitos cardiovasculares e neurológicos. Deste modo, este estudo demonstra a importância da reavaliação da legislação ambiental brasileira em virtude da toxicidade e do descarte do lodo têxtil e da consideração de parâmetros como DQO e Al para o descarte de efluentes em corpos hídricos, evitando que a disposição desses resíduos cause danos ambientais e à saúde pública.

REFERÊNCIAS

ABE, F. R., SOARES, A. M. V. M., OLIVEIRA, D. P. d., e GRAVATO, C. (2018). Toxicity of dyes to zebrafish at the biochemical level: Cellular energy allocation and neurotoxicity. **Environmental Pollution**, 235, 255–262. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2017.12.020>

ABNT. (2004a). NBR 10004: Resíduos sólidos – Classificação. **Associação Brasileira de Normas Técnicas**, 1–605.

ABNT. (2004b). NBR 10006: Procedimento para obtenção de extrato solubilizado de resíduos

sólidos. **Associação Brasileira de Normas Técnicas**, 2ª Edição, 1–14.

ABNT. (2016). *NBR 15088 - Ecotoxicologia aquática - Toxicidade aguda- Método de ensaio com peixes (Cyprinidae)*. **Associação Brasileira de Normas Técnicas**

AGARWAL, S., e SINGH, A. P. (2023). Assessment of Toxicity Characteristics in Leachate from the Textile Industry–Based Sludge Using Leachate Pollution Index. **Water, Air, and Soil Pollution**, 234(12), 1–17. <https://doi.org/10.1007/s11270-023-06785-9>

ALEEM, M., CAO, J., LI, C., RASHID, H., WU, Y., NAWAZ, M. I., ABBAS, M., e AKRAM, M. W. (2020). Coagulation- and Adsorption-Based Environmental Impact Assessment and Textile Effluent Treatment. **Water, Air, and Soil Pollution**, 231(2). <https://doi.org/10.1007/s11270-020-4400-x>

AMÉRICO-PINHEIRO, J. H. P., DA CRUZ, C., AGUIAR, M. M., TORRES, N. H., FERREIRA, L. F. R., e MACHADO-NETO, J. G. (2019). Sublethal Effects of Imidacloprid in Hematological Parameters of Tilapia (*Oreochromis niloticus*). **Water, Air, and Soil Pollution**, 230(8). <https://doi.org/10.1007/s11270-019-4256-0>

APAC. (2018). **Boletim do clima** (Vol. 06). <http://www.apac.pe.gov.br/>

APHA. (2017). **Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater**. 23ª ed.

ARAUJO, M. P. (2023). Avaliação de alternativas para a gestão de águas e efluentes nas lavanderias do polo têxtil do agreste de pernambuco. In **Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental)**. Universidade Federal Rural de Pernambuco (UFRPE).

BHATIA, D., SHARMA, N. R., KANWAR, R., e SINGH, J. (2018). Physicochemical assessment of industrial textile effluents of Punjab (India). **Applied Water Science**, 8(3), 1–12. <https://doi.org/10.1007/s13201-018-0728-4>

BRASIL. (2005). Resolução CONAMA n° 357, de 17 de Março de 2005. Conselho Nacional Do Meio Ambiente, 204, 36. **Diário Oficial Da União**.

BRASIL. (2011). Resolução conama n° 430 de 13/05/2011. Dispõe sobre as condições e padrões de lançamento de efluentes, complementa e altera a Resolução n° 357, de 17 de março de 2005, do Conselho Nacional do Meio Ambiente. **Diário Oficial Da União**, 1–6.

BRASIL. (2020). Resolução CONAMA n° 498. Define critérios e procedimentos para

produção e aplicação de biossólido em solos, e dá outras providências. *Diário Oficial Da União*, 21.

CADENA, P. G., CADENA, M. R. S., SARMAH, S., e MARRS, J. A. (2020a). Folic acid reduces the ethanol-induced morphological and behavioral defects in embryonic and larval zebrafish (*Danio rerio*) as a model for fetal alcohol spectrum disorder (FASD). **Reproductive Toxicology**, 96(July), 249–257. <https://doi.org/10.1016/j.reprotox.2020.07.013>

CADENA, P. G., CADENA, M. R. S., SARMAH, S., e MARRS, J. A. (2020b). Protective effects of quercetin, polydatin, and folic acid and their mixtures in a zebrafish (*Danio rerio*) fetal alcohol spectrum disorder model. **Neurotoxicology and Teratology**, 82(May), 106928. <https://doi.org/10.1016/j.ntt.2020.106928>

CAO, C., LIU, Y., YANG, Z., OUYANG, H., FU, Q., & LI, X. (2023). The mechanisms of aluminum-induced immunotoxicity in chicks. **Poultry Science**, 102(1), 102251. <https://doi.org/10.1016/j.psj.2022.102251>

CARVALHO FILHO, J. A. A. (2019). Estudo de contaminantes emergentes e meiofauna no rio Ipojuca no município Caruaru. In **Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil e Ambiental)**. Universidade Federal do Pernambuco.

CASTRO, A. M., NOGUEIRA, V., LOPES, I., ROCHA-SANTOS, T., & PEREIRA, R. (2019). Applied Sciences | Free Full-Text | Evaluation of the Potential Toxicity of Effluents from the Textile Industry before and after Treatment. **Applied Sciences**, 9(3809). <https://doi.org/doi:10.3390/app9183804>

COSTA, C. R., OLIVI, P., BOTTA, C. M. R., & ESPINDOLA, E. L. G. (2008). A toxicidade em ambientes aquáticos: Discussão e métodos de avaliação. **Química Nova**, 31(7), 1820–1830. <https://doi.org/10.1590/S0100-40422008000700038>

CUNHA, Luiz Martins Pereira Neto, Valmir Cristiano Marques de Arruda, Vicente de Paulo Silva, Moacyr Cunha Filho, R. G. T. (2019). Tratamento físico-químicos de efluente têxtil utilizando sulfato de alumínio,. **Revista GEAMA**. Ciências Ambientais e Biotecnologia, 5(3), 47–54.

DEEPIKA, T., & NOORJAHAN, C. M. (2018). Impact of Untreated and Treated Textile Effluent on haematological parameters of fresh water fish, *Tilapia mossambica*. **International Journal of Advanced Scientific Research and Management**, 3(June). www.ijasrm.com

EPA. (1996). Method 3052 (SW-846): Microwave Assisted Acid Digestion of Siliceous and Organically Based Matrices. In **Environmental Protection Agency**. Revision 1.

EPA. (2007). Method 3015A (SW-846): Microwave Assisted Acid Digestion of Aqueous Samples and Extracts. In **Environmental Protection Agency**. Revision 1.

FERNANDES, Y., RAMPERSAD, M., & GERLAI, R. (2015). Embryonic alcohol exposure impairs the dopaminergic system and social behavioral responses in adult Zebrafish. **International Journal of Neuropsychopharmacology**, *18*(6), 1–8.
<https://doi.org/10.1093/ijnp/pyu089>

GQOMFA, B., MAPHANGA, T., PHUNGELA, T. T., MADONSELA, B. S., MALAKANE, K., & LEKATA, S. (2023). El Niño Southern Oscillation (ENSO) Implication towards Crocodile River Water Quality in South Africa. **Sustainability (Switzerland)**, *15*(14).
<https://doi.org/10.3390/su151411125>

HASHIM, M., NAZAM, M., ZIA-UR-REHMAN, M., ABRAR, M., BAIG, S. A., NAZIM, M., & HUSSAIN, Z. (2022). Modeling Supply Chain Sustainability-Related Risks and Vulnerability: Insights from the Textile Sector of Pakistan. **Autex Research Journal**, *22*(1), 123–134. <https://doi.org/10.2478/aut-2021-0008>

HERATH, I. S., UDAYANGA, D., JAYASANKA, D. J., & HEWAWASAM, C. (2024). Textile dye decolorization by white rot fungi – A review. **Bioresource Technology Reports**, *25*(November 2023), 101687. <https://doi.org/10.1016/j.biteb.2023.101687>

HOWE, K., CLARK, M. D., TORROJA, C. F., TORRANCE, J., BERTHELOT, C., MUFFATO, M., COLLINS, J. E., HUMPHRAY, S., MCLAREN, K., MATTHEWS, L., MCLAREN, S., SEALY, I., CACCAMO, M., CHURCHER, C., SCOTT, C., BARRETT, J. C., KOCH, R., RAUCH, G. J., WHITE, S., ... STEMPEL, D. L. (2013). The zebrafish reference genome sequence and its relationship to the human genome. **Nature**, *496*(7446), 498–503. <https://doi.org/10.1038/nature12111>

ISLAM, M. M. M., SHAFI, S., BANDH, S. A., & SHAMEEM, N. (2019). Impact of environmental changes and human activities on bacterial diversity of lakes. In **Freshwater Microbiology: Perspectives of Bacterial Dynamics in Lake Ecosystems**. Elsevier Inc.
<https://doi.org/10.1016/B978-0-12-817495-1.00003-7>

KANT, R. (2012). Textile dyeing industry an environmental hazard. **Natural Science**, *04*(01), 22–26. <https://doi.org/10.4236/ns.2012.41004>

KHAN, W. U., AHMED, S., DHOBLE, Y., & MADHAV, S. (2023). A critical review of hazardous waste generation from textile industries and associated ecological impacts. **Journal of the Indian Chemical Society**, *100*(1), 100829. <https://doi.org/10.1016/j.jics.2022.100829>

MARTINEZ, C. S. (2017). Efeitos da exposição ao alumínio sobre parâmetros neurológicos, reprodutores, cardiovasculares e bioquímicos em ratos Uruguai. In **Tese (Doutorado em Bioquímica)**. Pós-graduação Stricto Sensu em Bioquímica da Universidade Federal do Pampa.

MÉNDEZ-HERNÁNDEZ, J. E., RAMÍREZ-VIVES, F., SOBRINO-FIGUEROA, A. S., GARZA-LÓPEZ, P. M., & LOERA, O. (2022). Ecotoxicological Evaluation and Treatment of a Denim-Laundry Wastewater. **Water, Air, and Soil Pollution**, 233(1). <https://doi.org/10.1007/s11270-022-05500-4>

MORAES, J. R., & BIDOIA, E. D. (2015). Colour Degradation of Simulated Textile Effluent by Electrolytic Treatment and Ecotoxicological Evaluation. **Water, Air, and Soil Pollution**, 226(12), 2–7. <https://doi.org/10.1007/s11270-015-2665-2>

NASCIMENTO, L. V. DO, & SPERLING, M. von. (2002). Padrões nacionais e internacionais de lançamento de efluentes líquidos em corpos d'água. **XIII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos**, 031, 1–12.

OECD. (2013). Oecd Guidelines for the Testing of Chemicals. **Guidelines for the Testing of Chemicals**, April, 1–15. <http://dx.doi.org/10.1787/9789264070561-en>

PATEL, G. B., RAKHOLIYA, P., SHINDHAL, T., VARJANI, S., TABHANI, N. M., & SHAH, K. R. (2021). Lipolytic Nocardiosis for reduction of pollution load in textile industry effluent and SWISS model for structural study of lipase. **Bioresource Technology**, 341(May), 125673. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2021.125673>

SILVA, L. D. DA, DANTAS, P. R., NETO, L. M. P., ARUDA, V. C. M. DE, TAVARES, R. G., & SILVA, V. D. P. (2019). Eficiência da coagulação, floculação e decantação como tratamento primário de efluente têxtil. **Revista Geama**, 5(1), 36–40.

SANT, K. E., & TIMME-LARAGY, A. R. (2019). Zebrafish as a Model for Toxicological Perturbation of Yolk and Nutrition in the Early Embryo. **Curr Environ Health Rep.**, 5(1), 125–133. <https://doi.org/10.1007/s40572-018-0183-2>.Zebrafish

SANTOS, P. A. DOS. (2023). Desenvolvimento de um método analítico para determinação de dco por espectroscopia uv-vis e quimiometria. In **Dissertação (mestrado em Química)**. Programa de Pós-Graduação em Química da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR).

SANTOS, T. P. S., BASTOS, P. E., DA SILVA, J. F. M., VIEIRA, S. M., SILVA, M. C. G., ANDRADE, A. L. C., PADILHA, R. M. O. S., MAGNABOSCO, A. R., CADENA, M. R. S.,

& CADENA, P. G. (2023). Single and joint toxic effects of thyroid hormone, levothyroxine, and amiodarone on embryo-larval stages of zebrafish (*Danio rerio*). *Ecotoxicology*, *32*(4), 525–535. <https://doi.org/10.1007/s10646-023-02655-6>

SHINDHAL, T., RAKHOLIYA, P., VARJANI, S., PANDEY, A., NGO, H. H., GUO, W., NG, H. Y., & TAHERZADEH, M. J. (2021). A critical review on advances in the practices and perspectives for the treatment of dye industry wastewater. *Bioengineered*, *12*(1), 70–87. <https://doi.org/10.1080/21655979.2020.1863034>

SILVA, M. C. G. DA, SILVA, J. F. DA, SANTOS, T. P., SILVA, N. P. C. DA, SANTOS, A. R. DOS, ANDRADE, A. L. C. DE, SOUZA, E. H. L. DA S., SALES CADENA, M. R., SÁ, F. B. DE, SILVA JUNIOR, V. A. DA, & CADENA, P. G. (2019). The complexation of steroid hormones into cyclodextrin alters the toxic effects on the biological parameters of zebrafish (*Danio rerio*). *Chemosphere*, *214*, 330–340. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2018.09.116>

Silva Neto, G. C. e, Morais, S. N., Costa, F. H. de A., Santos, L. A. da S., Rodrigues, J. C., Silva, T. A. da, Alves, W. dos S., & Ykeda, D. S. (2020). O nível de concentração de alumínio na água como fator de risco para o desenvolvimento da doença de alzheimer / The aluminum concentration level in water as a risk factor for the development of alzheimer's disease. *Brazilian Journal of Health Review*, *3*(5), 15324–15339. <https://doi.org/10.34119/bjhrv3n5-311>

Spence, R., Gerlach, G., Lawrence, C., & Smith, C. (2008). The behaviour and ecology of the zebrafish, *Danio rerio*. *Biological Reviews*, *83*(1), 13–34. <https://doi.org/10.1111/j.1469-185X.2007.00030.x>

SYED, O. A., TSANG, B., PETRANKER, R., & GERLAI, R. (2023). A perspective on psychedelic teratogenicity: the utility of zebrafish models. *Trends in Pharmacological Sciences*, *44*(10), 664–673. <https://doi.org/10.1016/j.tips.2023.08.001>

WESTERFIELD, M. (2000). **The Zebrafish Book. A Guide for the Laboratory Use of Zebrafish (*Danio rerio*)**. (U. of O. Press (ed.); v. 17).

CONSIDERAÇÕES FINAIS

O mapeamento das análises acerca da utilização do *zebrafish* (*Danio rerio*) como bioindicador para determinação da toxicidade de efluentes têxteis demonstrou que esse campo de estudo é recente e pouco explorado. No entanto, o aumento das publicações nos últimos anos indica que esta temática está em ascensão. Este crescimento é primordial na busca por alternativas sustentáveis que visem minimizar os impactos ambientais provenientes da indústria têxtil.

As respostas ecotoxicológicas encontradas unidas às análises dos parâmetros físico-químicos indicam que o efluente têxtil e o lodo possuem compostos que induzem a ecotoxicidade. Com isso, afirma-se que mesmo após o tratamento físico-químico por coagulação e floculação, o efluente têxtil ainda apresenta características que induzem a ecotoxicidade e causam poluição aquática. Observou-se que o lodo, proveniente do tratamento de tratamento de efluente, apresenta alta toxicidade, mesmo este tipo de resíduo não sendo considerado perigoso. Entende-se que a disposição final do efluente têxtil tratado e do lodo abrem espaços para o contato da população com os contaminantes presentes nos efluentes têxteis e no lodo têxtil, podendo causar efeitos adversos à saúde ambiental.

Os resultados da presente pesquisa deverão motivar novas investigações para ampliar o conhecimento sobre a real magnitude dos impactos toxicológicos dos resíduos das lavanderias têxteis, levando a busca por alternativas de tratamento que sejam eficientes na redução dos parâmetros que estabelecem a qualidade da água e minimizem os efeitos toxicológicos desses resíduos de modo a reduzir a degradação ambiental mantendo o bem-estar das comunidades aquáticas e assegurando a redução dos riscos para a saúde humana. Por fim, este trabalho abre espaço para que outros parâmetros sejam considerados nas legislações ambientais, evitando que resíduos tóxicos sejam dispostos de forma incorreta nos corpos hídricos e no solo.