



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

Mirella Maria Nóbrega Marques

**MINERAÇÃO URBANA NO POLO INDUSTRIAL TÊXTIL  
DO AGRESTE PERNAMBUCANO: POTENCIALIDADE  
DO LODO ADVINDO DO LEITO DE SECAGEM DE  
EFLUENTES**

RECIFE- PE  
AGO/2023

Mirella Maria Nóbrega Marques

# **MINERAÇÃO URBANA NO POLO INDUSTRIAL TÊXTIL DO AGRESTE PERNAMBUCANO: POTENCIALIDADE DO LODO ADVINDO DO LEITO DE SECAGEM DE EFLUENTES**

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 – Controle e Remediação da Poluição.

Orientadora: Profa. Dra. Soraya Giovanetti El-Deir  
Coorientador: Prof. Dr. Maurício Alves de Motta  
Sobrinho

RECIFE– PE  
AGO/2023

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)

---

M 3 5 7m Marques, Mirella Maria Nóbrega  
MINERAÇÃO URBANA NO POLO INDUSTRIAL TÊXTIL DO AGRESTE PERNAMBUCANO:  
POTENCIALIDADE DO LODO ADVINDO DO LEITO DE SECAGEM DE EFLUENTES / Mirella Maria Nóbrega  
Marques. - 2023.  
94 f. : il.

Orientadora: Soraya Giovanetti El El-Deir.  
Coorientador: Mauricio Alvez de Mota Sobrinho.  
Inclui referências e apêndice(s).

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

1. Lodo têxtil. 2. Lavanderia Têxtil. 3. Mineração urbana. 4. Gestão de resíduos. 5. Arranjo produtivo local. I. El Deir, Soraya Giovanetti El, orient. II. Sobrinho, Mauricio Alvez de Mota, coorient. III. Título

---

CDD 620.8



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

**MINERAÇÃO URBANA NO POLO INDUSTRIAL TÊXTIL  
DO AGRESTE PERNAMBUCANO: POTENCIALIDADE  
TÉCNICA E ECONÔMICA DE MÉTODOS DE  
REAPROVEITAMENTO COM SEGURANÇA SANITÁRIA  
E AMBIENTAL DO LODO ADVINDO DO LEITO DE  
SECAGEM DE EFLUENTES**

*Mirella Maria Nóbrega Marques*

---

PROF. DR. RODRIGO PASSOS DA SILVA (UFPA)  
Examinador Externo

---

PROF. DR. ANDRÉ FELIPE DE MELO SALES SANTOS (UFRPE)  
Examinador Interno

---

PROF. DRA. SORAYA GIOVANETTI EL-DEIR (UFRPE)  
Orientadora

---

PROF. DR. MAURÍCIO ALVES DA MOTTA SOBRINHO (UFPE)  
Coorientador

## **AGRADECIMENTOS**

Aos meus pais, Fabiana Nóbrega e Maurílio Marques, por sempre fazerem o possível e o impossível para me proporcionar uma boa educação.

À minha orientadora, Profa. Dra. Soraya Giovanetti El-Deir, por caminhar e sonhar comigo mesmo antes do mestrado e por me apoiar em cada passo dessa trajetória. Ao meu coorientador, Prof. Dr. Maurício Motta, por todo o suporte.

À minha irmã Melissa Nóbrega e às minhas amigas Emille Mota, Amanda Larissa, Jessica Albuquerque, Mariah Stephanie, Milena Mayara, Julyane Polycarpo e Livyan Araujo, que me ouviram e me aconselharam durante toda a caminhada.

Às amigas que o mestrado me deu de presente, Amanda Simões, Janielle Matos e Janielly Mantovani, por todos os trabalhos em grupos, noites viradas e trocas enriquecedoras de conhecimento.

Aos meus tios e aos meus avós, por sempre acreditarem em mim e me apoiarem em todos os momentos.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) por apoiar financeiramente a realização desta pesquisa.

E por último, mas não menos importante, à Sushi, meu cachorro e maior companheiro, que esteve ao meu lado em toda a escrita deste trabalho.

*A cultura não se gasta. Quanto mais se usa, mais se tem.*

Vamos comprar um poeta, de Afonso Cruz.

## RESUMO

Após a revolução industrial, o padrão de consumo populacional aumentou, impulsionando o desenvolvimento das indústrias. Dentre as indústrias que foram rapidamente afetadas por esta revolução, destaca-se a indústria têxtil, uma vez que a mesma foi a primeira a utilizar a máquinas a vapor. Atualmente a indústria têxtil configura-se como um dos principais setores da economia mundial, demandando grandes quantidades de recursos como insumos primários e, conseqüentemente, gerando um volume significativo de resíduos. Devido a isto, há uma crescente preocupação acerca deste setor, pois se os resíduos não apresentarem tratamento e disposição final adequada, podem acarretar impactos negativos ao meio ambiente. Diante do exposto, o presente trabalho objetivou analisar a potencialidade da mineração urbana no polo industrial têxtil do Agreste pernambucano. Para atingir tal objetivo, a presente pesquisa foi dividida em dois capítulos. No primeiro, intitulado “Mineração urbana de resíduos sólidos provenientes da indústria têxtil: um estudo bibliométrico, cientométrico e infométrico” realizou-se a análise do estado da arte do tema proposto, buscando maior compreensão sobre este. Enquanto no segundo capítulo, denominado “Economia circular no ciclo produtivo das lavanderias do polo têxtil do Agreste pernambucano: mineração urbana de metais pesados do lodo dos leitos de secagem” foi realizado um estudo das lavanderias do polo têxtil do Agreste pernambucano visando entender seu ciclo produtivo e a relação deste com o meio ecológico; além da caracterização do lodo têxtil, através de análises físico-químicas de amostras de lodo coletadas no leito de secagem da estação de tratamento das lavanderias pertencentes à área de estudo. Deste modo, espera-se que a presente pesquisa possa contribuir com os municípios pertencentes ao polo industrial pernambucano, para que o mesmo seja capaz de se prosperar não apenas socioeconomicamente, mas também ambientalmente, atendendo ao conceito de desenvolvimento sustentável.

**Palavras-chave:** Gestão de resíduos; Estação de Tratamento de Efluentes; Arranjo Produtivo Local, Lavanderia Têxtil; Lodo Têxtil.

## ABSTRACT

After the industrial revolutions, the pattern of population consumption increased, boosting the development of industries. Among the industries that were quickly affected by the revolutions, the textile industry stands out, since it was the first to use the steam engine. Currently, the textile industry is one of the main sectors of the world economy, requiring large amounts of resources to meet its demand and, consequently, generating a significant volume of waste. Due to this, there is a growing concern about this sector, because if the residues do not present adequate treatment and final destination, they can have negative impacts on the environment. In view of the above, the present work aims to analyze the potential of urban mining in the textile industrial center of Pernambuco's Agreste region. To achieve this objective, this research was divided into two chapters. In the first, entitled "Urban mining of solid waste from the textile industry: a bibliometric, scientometric and infometric study", an analysis of the state of the art of the proposed topic was carried out, seeking greater understanding of it. While in the second chapter, called "Circular economy in the production cycle of laundries in the textile hub of Agreste Pernambuco: urban mining of heavy metals from sludge from drying beds", a study was carried out of the laundries in the textile hub of Agreste Pernambuco, aiming to understand their production cycle. and its relationship with the ecological environment; in addition to the characterization of textile sludge, through physical-chemical analyzes of sludge samples collected from the drying bed of the laundry treatment station belonging to the study area. In this way, it is expected that the present research can contribute to the municipalities belonging to the industrial pole of Pernambuco, so that it is able to prosper not only socioeconomically, but also environmentally, meeting the concept of sustainable development.

**Keywords:** Waste Management; Effluent treatment plant; Local Production Arrangement, Textile Laundry; Textile Sludge.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

### CAPÍTULO 1

Figura 1. Genealogia dos subcampos dos EMI.....	24
Figura 2. Publicações sobre o indicador “ <i>Solid Waste AND Textile Industry</i> ” durante o período de 2013 a 2022.....	28
Figura 3. Publicações sobre o indicador “ <i>Solid Waste AND Urban Mining</i> ” durante o período de 2013 a 2022.....	33
Figura 4. Nuvem de palavras para o indicador <i>Solid Waste AND Textile Industry</i> .....	36
Figura 5. Análise de similitude para o indicador <i>Solid Waste AND Textile Industry</i> .....	37
Figura 6. Nuvem de palavras para o indicador <i>Solid Waste AND Urban Mining</i> .....	38
Figura 7. Análise de similitude para o indicador <i>Solid Waste AND Urban Mining</i> .....	39

### CAPÍTULO 2

Figura 1. Exportações de têxteis no mundo, de 2018 a 2021.....	50
Figura 2. Fluxograma dos processos de uma lavanderia têxtil.....	51
Figura 3. Acabamento dos processos de beneficiamento.....	52
Figura 4. Esquema da estação de tratamento de efluentes de uma lavanderia têxtil.....	53
Figura 5. Localização Caruaru, Toritama e Santa Cruz do Capibaribe no mapa do estado de Pernambuco.....	57
Figura 6. Licenciamento das lavanderias da indústria têxtil em Santa Cruz do Capibaribe, Caruaru e Toritama.....	60
Figura 7. Teores de Chumbo (Pb) nas amostras de lodo.....	63
Figura 8. Teores de Cobre (Cu) nas amostras de lodo.....	65
Figura 9. Teores de Cromo (Cr) nas amostras de lodo.....	67
Figura 10. Teores de Ferro (Fe) nas amostras de lodo.....	68
Figura 11. Teores de Manganês (Mn) nas amostras de lodo.....	70
Figura 12. Teores de Níquel (Ni) nas amostras de lodo.....	71

Figura 13. Teores de Zinco (Zn) nas amostras de lodo.....	73
Figura 14. Etapas do beneficiamento do minério de cobre sulfetado da mina até o produto final.....	76
Figura 15. Processamento básico do minério de ferro para a fabricação de aço líquido.....	77
Figura 16. Fluxograma do processo de obtenção do EMD.....	78
Figura 17. Esquema simplificado de rotas de processo de minério laterítico de níquel e cobalto.....	79
Figura 18. Modelo de Economia Linear para os metais pesados em uma indústria têxtil.....	84
Figura 19. Modelo de Economia Circular para os metais pesados em uma indústria têxtil.....	84

## LISTA DE TABELAS

### CAPÍTULO 1

Tabela 1. Quantitativo de publicações com relação com os indicadores durante o período de 2013 a 2022.....27

Tabela 2. Contribuição das produções científicas, para o indicador “*Solid Waste AND Textile Industry*”, por regiões geográficas.....29

Tabela 3. Contribuição das produções científicas, para o indicador “*Solid Waste AND Urban Mining*”, por regiões geográficas.....34

Tabela 4. Frequência de palavras.....38

### CAPÍTULO 2

Tabela 1. Valor bruto da produção industrial têxtil em 2020, em ordem decrescente....49

Tabela 2. Resultados obtidos para as amostras de lodo.....61

## LISTA DE QUADROS

### CAPÍTULO 1

Quadro 1. Classificação dos periódicos com relação ao Qualis 2017-2020 e ao Fator de Impacto (JCR) 2021.....30

Quadro 2. Classificação dos periódicos com relação ao Qualis 2017-2020 e ao Fator de Impacto (JCR) 2021.....35

### CAPÍTULO 2

Quadro 1. Lista de riscos das lavanderias de destonagem de jeans, por grau de prioridade.....60

Quadro 2. Resumo dos metais em estudo.....73

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABIT	Associação Brasileira da Indústria Têxtil e de Confecção
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
APL	Arranjo Produtivo Local
APLCAPE	Arranjo Produtivo Local de Confecções do Agreste Pernambucano
CAPES	Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior
CPNq-MCTI	Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico do Ministério de Ciência, Tecnologia e Inovação do Governo Federal do Brasil
DQO	Demanda Química de Oxigênio
EMI	Estudos Métricos da Informação
FI	Fator de Impacto
$g.mol^{-1}$	grama por mol
$g/cm^3$	grama por centímetro cúbico
IEMI	Instituto de Estudos e Marketing Industrial
JCR	<i>Journal Citation Reports</i>
Kg	Quilograma
L	Litro
mg/Kg	miligrama por quilo
mg/L	miligrama por litro
PIB	Produto Interno Bruto
SEBRAE	Serviço Brasileiro de Apoio às Micro e Pequenas Empresas

## SUMÁRIO

1. CONTEXTUALIZAÇÃO.....	16
2. OBJETIVOS.....	17
<b>2.1. Objetivos Gerais.....</b>	<b>17</b>
<b>2.2. Objetivos Específicos.....</b>	<b>17</b>
3. ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO.....	17
REFERÊNCIAS.....	18
CAPÍTULO 1: MINERAÇÃO URBANA DE RESÍDUOS SÓLIDOS PROVENIENTES DA INDÚSTRIA TÊXTIL: UM ESTUDO BIBLIOMÉTRICO, INFOMÉTRICO E CIENTOMÉTRICO.....	
1. INTRODUÇÃO.....	21
2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	22
<b>2.1. Indústria têxtil e resíduos sólidos.....</b>	<b>22</b>
<b>2.2. Mineração Urbana.....</b>	<b>23</b>
<b>2.3. Bibliometria, Cientometria e Infometria.....</b>	<b>23</b>
3. METODOLOGIA.....	25
<b>3.1. Levantamento dos dados.....</b>	<b>25</b>
<b>3.2. Tratamento dos dados.....</b>	<b>26</b>
<b>3.3. Análise dos dados.....</b>	<b>26</b>
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	27
<b>4.1. Produção Científica.....</b>	<b>27</b>
<b>4.1.1. Produção científica relacionada ao indicador “Solid Waste” AND “Textile Industry”.....</b>	<b>28</b>
<b>4.1.2. Produção científica relacionada ao indicador “Solid Waste” AND “Urban Mining”.....</b>	<b>32</b>
<b>4.2. Frequência de palavras.....</b>	<b>36</b>
5. CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	40
REFERÊNCIAS.....	42
CAPÍTULO 2: ECONOMIA CIRCULAR NO CICLO PRODUTIVO DAS LAVANDERIAS DO POLO TÊXTIL DO AGRESTE PERNAMBUCANO:	

MINERAÇÃO URBANA DE METAIS PESADOS DO LODO TÊXTIL DOS LEITOS DE SECAGEM.....	45
1. INTRODUÇÃO.....	47
2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	48
<b>2.1. A indústria têxtil durante as revoluções industriais.....</b>	<b>48</b>
<b>2.2. O setor têxtil no Brasil.....</b>	<b>49</b>
<b>2.3. Lavanderia Têxtil.....</b>	<b>51</b>
<b>2.4. Legislação pertinente aos resíduos sólidos.....</b>	<b>53</b>
<b>2.5. Resíduos sólidos têxteis.....</b>	<b>55</b>
<b>2.6. Bioacumulação e Biomagnificação.....</b>	<b>55</b>
3. METODOLOGIA.....	56
<b>3.1. Caracterização da área de estudo.....</b>	<b>56</b>
<b>3.2. Caracterização do ciclo produtivo do APL e do lodo têxtil.....</b>	<b>58</b>
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	59
<b>4.1. Compreensão do APL.....</b>	<b>59</b>
<b>4.2. Caracterização do lodo têxtil.....</b>	<b>61</b>
<b>4.2.1. Chumbo (Pb).....</b>	<b>62</b>
<b>4.2.2. Cobre (Cu).....</b>	<b>64</b>
<b>4.2.3. Cromo (Cr).....</b>	<b>66</b>
<b>4.2.4. Ferro (Fe).....</b>	<b>67</b>
<b>4.2.5. Manganês (Mn).....</b>	<b>69</b>
<b>4.2.6. Níquel (Ni).....</b>	<b>70</b>
<b>4.2.7. Zinco (Zn).....</b>	<b>72</b>
<b>4.2.8. Resumo dos metais pesados.....</b>	<b>74</b>
<b>4.3. Métodos de extração de metais pesados.....</b>	<b>75</b>
<b>4.3.1. Chumbo.....</b>	<b>75</b>
<b>4.3.2. Cobre.....</b>	<b>75</b>
<b>4.3.3. Ferro.....</b>	<b>77</b>
<b>4.3.4. Manganês.....</b>	<b>77</b>
<b>4.3.5. Níquel.....</b>	<b>78</b>

4.3.6. Zinco.....	79
4.4. Métodos de extração de metais pesados em escala laboratorial.....	80
4.4.1. Espectrometria de Absorção Atômica (AAS).....	81
4.4.2. Espectrometria de Emissão Óptica por Plasma Indutivamente Acoplado (ICP-OES).....	82
4.4.3. Espectrometria de Massa com Plasma indutivamente Acoplado (ICP-MS).....	83
4.5. Economia Circular x Economia Linear.....	83
4.6. Precificação dos metais.....	85
5. CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	85
REFERÊNCIAS.....	87

## 1. CONTEXTUALIZAÇÃO

A indústria têxtil foi e é alvo de inúmeros estudos ao longo dos anos, visando produzir peças inovadoras, confortáveis e seguras para o consumidor. No entanto, com o atual modelo de produção denominado *fast fashion*, que visa uma maior produção em um curto espaço de tempo, a preocupação acerca desta indústria é crescente. Dentre as áreas da indústria, o setor de beneficiamento de tecidos destaca-se em relação aos impactos negativos gerados, devido à quantidade de água, corantes e químicos usados como fixadores (NARIMATSU et al., 2020; PROVIN et al, 2021).

De acordo com a Digitale Têxtil (2020), após a expansão do modelo *fast fashion*, que surgiu na década de 1990, buscando baratear mão de obra e matéria-prima, a indústria de moda se tornou a segunda mais poluente do mundo. Isto deve-se à utilização de tinturas de baixa qualidade, insolúveis e produtos à base de metais pesados, bem como ao uso de aditivos e de um tratamento do efluentes que muitas vezes não atendem as normas de descarte.

De acordo com Vieira et al. (2019), a atenção para este tipo de consumo vem crescendo e os consumidores estão mais preocupados com a sustentabilidade, humanização do processo e a diminuição do desperdício. Diante disso, aparece o *slow fashion* como oposição ao *fast fashion*, focando em qualidade, acabamento e exclusividade do produto. Além deste movimento, surge o *zero waste* que, como o próprio nome já diz, visa o desperdício zero, incentivando produções que gerem o mínimo de desperdício e a reutilização e reciclagem de peças.

Apesar dos impactos positivos gerados pela indústria têxtil, como a grande geração de empregos e a contribuição para o Produto Interno Bruto (PIB) e mesmo com o surgimento de movimentos como o *zero waste*, os impactos negativos são expressivos e tornam-se uma preocupação de cunho mundial. Segundo a Digitale Têxtil (2020), só no Brasil são gerados cerca de 170 mil toneladas de resíduos de tecidos ao ano, que muitas vezes são descartados de forma incorreta, quando poderiam ser reciclados. Além disso, também há a confecção de tecidos sintéticos derivados de combustíveis fósseis, que contribuem com emissões de carbono e gases fósseis na atmosfera e aumentam a quantidade de plásticos nos oceanos. Ainda há a contaminação através das lavanderias têxteis, que poluem solo, atmosfera e corpos hídricos com metais pesados através de efluentes e lodos têxteis.

Diante do exposto, estudos acerca de caminhos que sejam capazes de mitigar os impactos negativos causados por essa indústria são de extrema importância. Assim, alternativas que visem reduzir o consumo e, conseqüentemente, a produção rápida e de baixa qualidade e estudos que busquem minimizar os impactos gerados pelos resíduos têxteis devem ser incentivados.

## **2. OBJETIVOS**

### **2.1. Objetivo Geral**

Estudar a potencialidade da mineração urbana no polo têxtil do Agreste pernambucano, por meio da incorporação técnica e econômica de métodos de reaproveitamento do lodo advindo do leito de secagem de efluentes com segurança sanitária e ambiental.

### **2.2. Objetivos Específicos**

- Mapear a produção científica acerca do tema, visando à destinação e disposição sanitária e ambiental adequadas dos resíduos sólidos advindos das lavanderias têxteis, em particular do lodo dos leitos de secagem, com a finalidade de compreender o estado da arte;
- Compreender o ciclo produtivo das lavanderias do polo têxtil do Agreste pernambucano, identificando os impactos ambientais potenciais dos metais pesados presentes no lodo dos leitos de secagem, aplicações e limite de estoque;
- Identificar métodos e determinar o grau de eficiência operacional para a aplicação da Mineração Urbana de metais pesados presentes no lodo dos leitos de secagem em escala de laboratório, estabelecendo modelos de sistemas sustentáveis com vistas à Economia Circular para tais metais.

## **3. ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO**

Visando um melhor entendimento, a presente dissertação está dividida em dois capítulos:

Capítulo 1 – MINERAÇÃO URBANA DE RESÍDUOS SÓLIDOS PROVENIENTES DA INDÚSTRIA TÊXTEL: UM ESTUDO BIBLIOMÉTRICO,

CIENTOMÉTRICO E INFOMÉTRICO: Consiste Num estudo da produção científica acerca da Indústria Têxtil e da Mineração urbana, contemplando um espaço temporal de 10 anos, avaliando do ano de 2013 até 2022, avaliando a evolução acadêmica de ambos os temas.

Capítulo 2 – ECONOMIA CIRCULAR NO CICLO PRODUTIVO DAS LAVANDERIAS DO POLO TÊXTIL DO AGRESTE PERNAMBUCANO: MINERAÇÃO URBANA DE METAIS PESADOS DO LODO DOS LEITOS DE SECAGEM: Compreensão sobre o ciclo produtivo das lavanderias do polo têxtil do agreste Pernambucano e identificação dos impactos gerados pelas mesmas, buscando determinação do volume do lodo e da quantidade de metais pesados presente nestes, identificando métodos de extração e logística de uso do lodo.

## REFERÊNCIAS

DIGITALE TÊXTIL. **O que é fast fashion e quais são seus impactos?**, 2020. Disponível em: <https://www.digitaletextil.com.br/blog/o-que-e-fast-fashion/>. Acesso em: 31 jul. 2023.

NARIMATSU, B. M. G.; DO BEM, N. A.; WACHHOLZ, L. A.; LINKE, P. P.; LIZAMA, M. D. L. A. P.; REZENDE, L. C. S. H. Corantes naturais como alternativa sustentável na indústria têxtil. **Revista Valore**, v. 5, p. 5030, 2020.

PROVIN, A. P.; CUBAS, A. L. V.; DE AGUIAR DUTRA, A. R. Alternativas de materiais e processos mais sustentáveis para a indústria têxtil atual—uma revisão. **ModaPalavra e-periódico**, v. 14, n. 32, p. 124-151, 2021.

VIEIRA, M. L. H.; IERVOLINO, F.; STADLER, T. E. Design zero waste para a produção sustentável de calça leggings. **VII ENSUS – Encontro de Sustentabilidade em Projeto**, Florianópolis, 2019.

## CAPÍTULO 1

### MINERAÇÃO URBANA DE RESÍDUOS SÓLIDOS PROVENIENTES DA INDUSTRIAL TÊXTIL: UM ESTUDO BIBLIOMÉTRICO, CIENTOMÉTRICO E INFOMÉTRICO

#### RESUMO

A indústria têxtil destaca-se por seus impactos positivos, não só no mundo, mas também no Brasil. Entre estes impactos estão a contribuição para o Produto Interno Bruto do país e a geração de emprego. Entretanto, também ocorrem impactos ambientais negativos, ocasionando preocupações acerca desta área da indústria. Para minimizar estes impactos negativos, alternativas precisam ser estudadas e aplicadas. A mineração urbana surge como uma destas alternativas que visam mitigar os impactos e contribuir como uma economia circular. Portanto, no presente trabalho, buscou-se analisar e compreender a direção dos estudos nas áreas de resíduo têxtil e mineração urbana, através de análise bibliométrica, cientométrica e infométrica. As pesquisas foram realizadas em 3 bases de dados, sendo elas *Science Direct (Elsevier)*, *SciVerseScopus (Scopus)* e *Web of Science (WoS)*, em um espaço temporal de 10 anos, de 2013 a 2022. No tratamento de dados foi utilizado o *software Mendley* para a retirada de trabalhos duplicados e posteriormente a amostra restante foi separada em grupos de acordo com ano de publicação, nacionalidade dos autores e suas respectivas instituições de ensino. Para um estudo mais profundo foram geradas nuvens de palavras e análise de similitude. Ao pesquisar o indicador “*Solid Waste*” AND “*Urban Mining*” AND “*Textile Industry*” nenhum trabalho foi encontrado, o que pode indicar que a aplicação da mineração urbana na indústria têxtil ainda é uma área nova. Deste modo, determinou-se avaliar indústria têxtil e mineração urbana de formas separadas. Utilizando o indicador “*Solid Waste AND Textile Industry*” foi possível observar que pesquisas nessa área vêm crescendo com o passar dos anos, principalmente no continente asiático, e que a maioria dos artigos estudados apresentaram preocupações acerca do meio ambiente. O mesmo aconteceu com o indicador “*Solid Waste AND Urban Mining*”, que em 2022 apresentou o maior número de produção dos últimos 10 anos. Nos trabalhos encontrados por este indicador também há uma grande preocupação com o meio ambiente. Em ambas as áreas pesquisadas, a maior parte dos trabalhos foram publicados em revistas de Qualis A, o que mostra a qualidade dos mesmos. Quanto aos assuntos tratados, ficou evidente que mesmo se tratando de dois indicadores, ambos apresentam preocupação de cunho ambiental.

**Palavras-chave:** Economia Circular; Mineração; Resíduo Têxtil; Sustentabilidade.

## **URBAN MINING OF SOLID WASTE FROM THE TEXTILE INDUSTRY: A BIBLIOMETRIC, SCIONTOMETRIC, INFOMETRIC STUDY**

### **ABSTRACT**

The textile industry stands out for its positive impacts, not only in the world, but also in Brazil. Among these impacts are the contribution to the country's Gross Domestic Product and job creation. However, negative environmental impacts also occur, causing concerns about this area of the industry. To minimize these negative impacts, alternatives need to be studied and applied. Urban mining emerges as one of these alternatives that aim to mitigate impacts and contribute to a circular economy. Therefore, in the present work, we sought to analyze and understand the direction of studies in the areas of textile waste and urban mining, through a bibliometric analysis. The surveys were carried out in 3 databases, namely Science Direct (Elsevier), SciVerseScopus (Scopus) and Web of Science (WoS) and in a time span of 10 years, from 2013 to 2022. In data processing, Mendley software was used to remove duplicate works and subsequently the remaining sample was separated into groups according to year of publication, nationality of authors and their respective educational institutions. For a deeper study, word clouds and similarity analysis were generated. When searching for the indicator “Solid Waste” AND “Urban Mining” AND “Textile Industry” no work was found, which may indicate that the application of urban mining in the textile industry is still a new area. Thus, it was determined to evaluate the textile industry and urban mining separately. Using the “Solid Waste AND Textile Industry” indicator, it was possible to observe that research in this area has been growing over the years, mainly in the Asian continent, and that most of the articles studied presented concerns about the environment. The same happened with the “Solid Waste AND Urban Mining” indicator, which in 2022 presented the highest production number in the last 10 years. In the works found by this indicator there is also a great concern with the environment. In both researched areas, most of the works were published in Qualis A journals, which shows their quality. As for the subjects dealt with, it was evident that even when dealing with two indicators, both present concerns of an environmental nature.

**Keywords:** Circular economy; Mining; Textile waste; Sustainability.

## 1. INTRODUÇÃO

Segundo a NBR ISO 14.001 (ABNT, 2015, p. 3), configura-se como impacto ambiental qualquer “modificação no meio ambiente, tanto adversa como benéfica, total ou parcialmente resultante dos aspectos ambientais de uma organização”. Assim como toda indústria, o setor têxtil é responsável por impactos positivos e negativos, sendo estes de caráter social, econômico e ecológico.

Devido à indústria têxtil apresentar uma ampla cadeia, esta é responsável por uma grande oferta de emprego, contribuindo com a renda da população local onde as empresas do setor encontram-se, conseqüentemente, impactando positivamente no Produto Interno Bruto (PIB) da região. O Brasil, por exemplo, no ano de 2022, contava com 22,5 mil empresas formais, com 1,34 milhão de empregados diretos e 8 milhões de empregados indiretos, sendo o segundo setor com maior geração de emprego. Além disso, o setor teve um faturamento de R\$190 bilhões, de acordo com dados da Associação Brasileira da Indústria Têxtil e de Confecção (ABIT, 2023). Entretanto, a mesma atividade que gera os impactos positivos (geralmente econômicos), também ocasiona impactos negativos, uma vez que o setor demanda significativa exploração de recursos naturais, utilizando além da capacidade suporte do meio ambiente (MENEGUCCI et al., 2015).

Em razão da intensa extração de recursos e produção de bens, a indústria têxtil destaca-se pela geração de resíduos, como restos de tecidos, efluentes, lodo e cinzas. Dentre os resíduos, os provenientes da lavanderia têxtil configuram-se em pontos de preocupação por conterem metais pesados em sua composição, podendo ser caracterizados como tóxicos. Assim, quando não tratados de maneira adequada, sendo descartados nos solos, nos rios e incinerados, ocasionam poluição dos corpos hídricos, do solo e da atmosfera (CASTRO et al., 2015; SOUTO, 2017). Além disso, a necessidade de uma grande quantidade de insumos requerida por essa indústria aumenta a exploração de recursos naturais não renováveis. Assim sendo, as atividades industriais de forma geral vem dilapidando a capacidade de suporte do meio ambiente, pondo em risco a biodiversidade do planeta.

Visando mitigar os problemas mencionados até então, surge a Mineração Urbana, que consiste na retirada das matérias-primas presentes nos resíduos. Esta pode ser aplicada ao lodo têxtil, uma vez que o mesmo é rico em elementos químicos que são

necessários para a produção e/ou manutenção dos bens de consumo; reduzindo a exploração dos recursos naturais e incentivando a reciclagem e a logística reversa (XAVIER; NASCIMENTO; LINS, 2017). Diante do exposto, o presente trabalho visa elevar o grau de conhecimento acerca da temática, buscando compreender o direcionamento dos estudos realizados na área têxtil e na área da Mineração Urbana, através da análise da produção científica mundial, utilizando as principais bases de dados, identificando artigos científicos dentro de um espaço temporal de 10 anos.

## **2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA**

### **2.1. Indústria têxtil e resíduos sólidos**

A indústria têxtil encontra-se entre os três maiores setores da economia mundial, sendo relevante nas dimensões econômica, social, cultural e política. De acordo com Berlin (2014), esta indústria abrange uma grande cadeia produtiva que vai da plantação de algodão até os desfiles de moda, passando por fiações, tecelagens, beneficiadoras, confecções e varejo. Devido a isso, há uma ampla quantidade de recursos exigidos pelo processo, como linhas, agulhas, máquinas de lavar, corantes, solventes, tintas, pesticidas, entre outros. Assim, o setor destaca-se como grande gerador de empregos e de resíduos.

Além dos resíduos advindos dos materiais citados anteriormente, é importante ressaltar os provenientes da lavanderia têxtil, uma vez que essa é uma das áreas da indústria que mais acarreta impactos negativos ao meio ambiente, decorrente da quantidade de resíduos gerados. Dentre estes resíduos tem o lodo têxtil, que é um subproduto gerado pelo tratamento de efluentes.

Durante o processo de tratamento de efluentes industriais advindos das lavanderias têxteis, as estações de tratamento geram grande quantidade de lodos têxteis (VIOTTO et al., 2019). Estes resíduos consistem num material semissólido, composto de matéria orgânica e inorgânica, podendo conter também metais pesados como cádmio, cobre, cromo, chumbo, níquel, além de alumínio, ferro, zinco e manganês (COGO, 2011).

O volume de lodo gerado varia de acordo com a eficiência do sistema de tratamento de efluente e dos métodos utilizados pelo mesmo. De acordo com a Nortevisual (2010), empresa de serviços ambientais, uma lavanderia têxtil de médio

porte processa em média 100 mil peças de vestuários por ano, sendo responsável por gerar cerca de 120 toneladas de lodo por ano, com 95% de umidade, o que resulta em 6 toneladas de lodo completamente seco. Apesar de haver diferentes processos de tratamentos dos efluentes têxteis, os lodos gerados apresentam aspectos similares, como alto teor de umidade e a presença predominante de alumínio, sódio, ferro e silício. A quantia significativa de ferro e alumínio ocorre devido ao tipo de coagulante, que contém sulfato de ferro e sulfato de alumínio, utilizado durante o tratamento do efluente (COLANZI, 2002).

## **2.2. Mineração Urbana**

O rápido desenvolvimento industrial e urbano tem moldado o estilo de vida da nossa sociedade, ocasionando o crescimento do consumo de bens materiais e, conseqüentemente, o aumento da exploração de recursos naturais. Deste modo, a extração via mineração tradicional destes recursos está se tornando insustentável, uma vez que os mesmos estão cada vez mais escassos. Junto a isso, a produção excessiva acarreta grande geração de resíduos, aumentando o impacto ambiental negativo decorrente da mineração de lavras a céu aberto ou subterrâneo. Diante do presente cenário, a Mineração Urbana se apresenta como uma alternativa promissora para a diminuição do impacto potencial dos resíduos, assim como recolocando metais no sistema produtivo, por meio da aplicação da Economia Circular (ZENG et al., 2021).

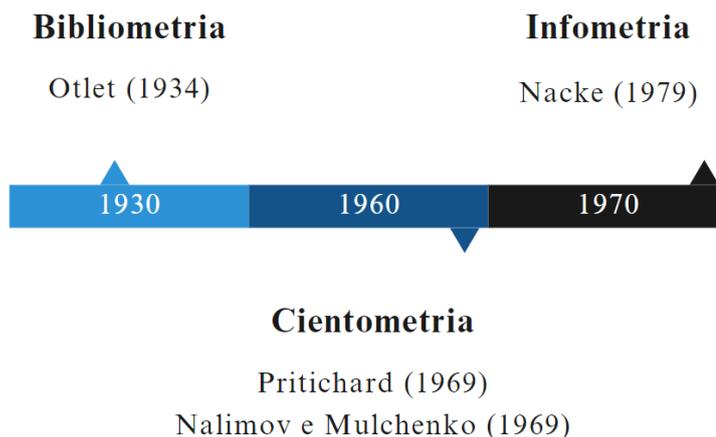
O termo Mineração Urbana refere-se ao processo de reaquisição de compostos e elementos presentes em estoques de origem antrópica. Portanto, esta atividade consiste na reciclagem de materiais, como metais pesados e matéria-prima. Desta forma, a Mineração Urbana contribui com a Economia Circular, gerando uma gestão mais eficiente dos recursos a os reintroduzir no ciclo de produção, reduzindo, assim, os impactos ambientais negativos e, conseqüentemente, colaborando com uma Economia Verde e um desenvolvimento mais sustentável (COSSU; WILLIAMS, 2015; KAZANÇOGLU et al., 2020).

## **2.3. Bibliometria, cientometria e infometria**

Na última década tem-se acentuado o interesse pelo progresso da Ciência, buscando explorar como sua evolução ocorre, uma vez que esta é responsável pelo desenvolvimento econômico, social, político, ambiental e cultural (SOARES et al.,

2016). Como alternativa para entender esse processo no meio acadêmico, surge a bibliometria, um subgrupo pertencente aos Estudos Métricos da Informação (EMI), o qual pode ser definido como uma das áreas de interesse da Ciência da Informação (CI). De acordo com Yoo e Jang (2019), a Bibliometria é o subcampo pioneiro dos EMI, surgido em 1934, sendo seguida pela definição de Cientometria e Infometria (Figura 1).

**Figura 1** - Genealogia dos subcampos dos EMI



Fonte: Autora (2023)

Segundo Scarpel (2016, p. 3), “a palavra Bibliometria vem do grego *Biblion* = livro e *Métron* = medida, sendo, portanto, uma técnica que busca medir a comunicação registrada, baseando-se na contagem de documentos”. Esta tem como objetivo compreender o desempenho das produções científicas acadêmicas, analisando estatisticamente a literatura acerca de diferentes aspectos. Com o uso de indicadores, é possível observar o desenvolvimento das publicações de um determinado tema, a qualidade dos artigos e o impacto atingido pelos mesmos. Para efetuar a bibliometria, primeiramente, são realizadas pesquisas em bancos de dados em busca de trabalhos referentes ao tema em estudo. Os trabalhos que contemplem os indicadores determinados são selecionados para que possa ser realizada a análise estatística (PIMENTA et al., 2017; LIU et al., 2019).

O termo Cientometria foi mencionado pela primeira vez em 1969, num texto publicado pelos estudiosos Nalimov e Mulchenko, e se fortaleceu como área de estudo a partir de 1978, com o surgimento do periódico *Scientometrics* (CURTY; DELBIANCO, 2020). A Cientometria pode ser definida como “métodos quantitativos da pesquisa

sobre o desenvolvimento da ciência como um processo informacional” (NALIMOV; MULCHENKO, 1971, p. 2).

Dentre os três subcampos dos EMI que serão estudados na presente pesquisa, a Infometria é o mais recente, sendo introduzido em 1979 pelo estudioso Otto Nacke. Para Nacke (1983), os subcampos criados até então eram restritivos para designar a totalidade da relação entre a matemática e a Cientometria, necessitando assim de um novo subcampo mais abrangente. De acordo com Curty e Delbianco (2020, p. 9), em seu estudo referente aos subcampos dos Estudos Métricos da Informação, a Infometria pode ser definida como a área que:

Estuda aspectos da comunicação mediada por computador que utiliza aplicações da Internet e do ciberespaço de modo amplo, incluindo também a mensuração das tecnologias que compreendem estruturas de ponto de acesso, topologia de redes e tráfego de dados.

Desta forma tais métodos são auxiliares para a compreensão da produção científica mundial, além de gerar quantificações representativas do estado da arte de um dado tema. Assim, estes métodos foram usados para se determinar as principais produções científicas nas áreas temáticas de interesse do presente trabalho, além de elevar o grau de compreensão da problemática acerca da questão focal aqui abordada.

### **3. METODOLOGIA**

#### **3.1. Levantamento dos dados**

O levantamento dos dados foi realizado utilizando as plataformas *Science Direct* (Elsevier), *SciVerseScopus* (Scopus) e *Web of Science* (WoS), as quais foram acessadas através do Portal de Periódicos da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (Capes), em março de 2023. Para obtenção das amostras foram utilizados os indicadores “*Solid Waste*” AND “*Urban Mining*” e “*Solid Waste*” AND *Textile Industry*, considerando título, resumo e palavras-chave. Vale ressaltar que também houve a tentativa do indicador “*Solid Waste*” AND “*Urban Mining*” AND “*Textile Industry*”, entretanto, não se obteve resultado.

A pesquisa priorizou artigos científicos publicados em periódicos, considerando os trabalhos produzidos nos últimos 10 (dez) anos, sendo assim, no período de 2013 a

2022. Este período foi determinado pela mineração urbana por se tratar de um assunto relativamente recente. Além disso, também foram consideradas as áreas de conhecimento da CNPq-MCTI (Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico do Ministério de Ciência, Tecnologia e Inovação do Governo Federal do Brasil) dos periódicos, dando preferência a Engenharia I e Ciências Ambientais.

### **3.2. Tratamento dos dados**

Inicialmente, foi utilizado o *software Mendeley* para a retirada de trabalhos duplicados. Em seguida, os artigos restantes foram analisados, visando determinar as pesquisas relacionadas com a área do presente estudo, obtendo-se a amostra final. Para um melhor entendimento e organização dos artigos, estes foram divididos em grupos de acordo com ano de publicação, nacionalidade dos autores e suas respectivas instituições de ensino. Os trabalhos também foram separados de acordo com o país de publicação, permitindo determinar a contribuição geográfica acerca do tema.

Por fim, os periódicos correspondentes aos artigos foram separados de acordo com o Qualis, considerando o quadriênio 2017-2020, e o Fator de Impacto (FI) ou Journal Citation Reports (JCR). Toda a organização e tratamento mencionado anteriormente ocorreram através da utilização de planilhas no software Excel.

### **3.3. Análise dos dados**

Após a criação dos gráficos, quadros e tabelas, os dados foram analisados e debatidos, visando a escrita da presente pesquisa. Em seguida, foi realizada uma análise textual, utilizando o software Iramuteq, que é uma ferramenta para construção e visualização de redes bibliométricas. Deste modo, foi possível criar nuvens de palavras, contemplando título, resumo e palavras-chave, e, conseqüentemente, determinar as palavras de maiores repetições presentes nos artigos, além de realizar uma Análise de Similitude. Para a montagem da Infometria, foram identificados os temas geradores de cada artigo, agrupados e determinada a linha do tempo em que estes estudos foram desenvolvidos. Para a Cientometria, as informações por agrupamentos temáticos foram ordenadas por complexidade metodológica, buscando-se descrever o desenvolvimento do método, a complexidade dos dados e a evolução que tal tema apresente ao longo do tempo, descrevendo os principais achados. Assim, a Cientometria determinou o

progresso científico através dos indicadores bibliométricos, como números de publicações, citações, fatores de impacto, entre outros.

## 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1 Produção Científica

A palavra-chave “*Solid Waste*” se destacou em relação às demais quando utilizada nas bases de dados selecionadas, sendo o período estudado de 2013 a 2022. A plataforma *Web of Science* foi a que mais apresentou trabalhos relacionados ao tema, totalizando 32.016 publicações nos últimos 10 anos. “*Urban Mining*” aparece como a palavra-chave com menor número de trabalhos acadêmicos, em todas as plataformas consultadas (Tabela 1). Isto pode ser explicado por mineração urbana ser um assunto relativamente novo, que vem ganhando destaque nos últimos anos. De acordo com Xavier e Lins (2018), o primeiro encontro sobre mineração urbana aconteceu em 2012, em Ghana, denominado E-WasteAcademy (EWA), contando com a participação de diferentes tomadores de decisões.

**Tabela 1** - Quantitativo de publicações com relação com os indicadores durante o período de 2013 a 2022.

<i>Keywords</i>	<i>Web of Science</i>	<i>ScienceDirect</i>	<i>Scopus</i>
<i>Solid Waste</i>	32.016	10.273	38.961
<i>Textile Industry</i>	5.100	1.728	15.516
<i>Urban Mining</i>	431	229	497
<i>Solid Waste AND Textile Industry</i>	47	21	137
<i>Solid Waste AND Urban Mining</i>	54	27	56

Fonte: Autora (2023)

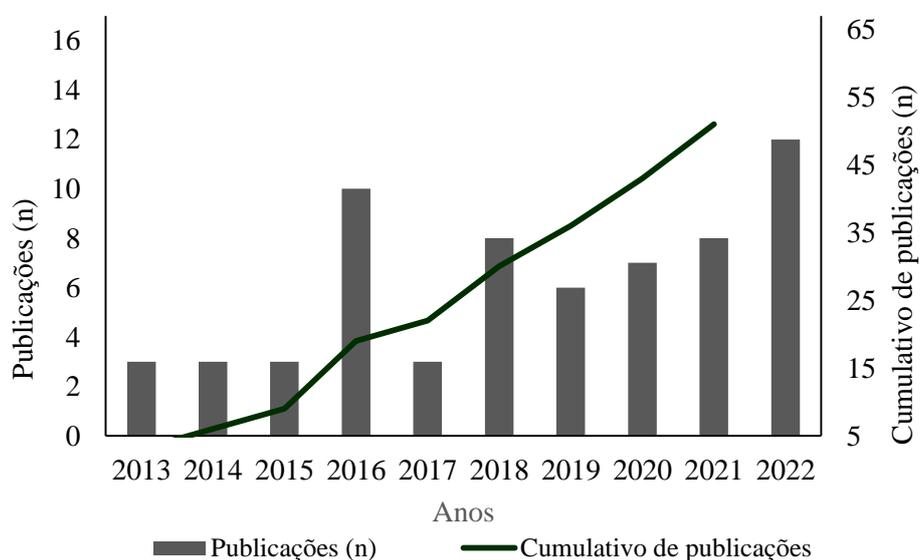
Ao pesquisar o indicador “*Solid Waste AND Textile Industry AND Urban Mining*” nenhum trabalho foi encontrado nas três plataformas analisadas. O que pode

indicar que o uso da mineração urbana em resíduos têxteis ainda é um assunto novo e requer mais pesquisas na área. Deste modo, foram utilizados dois indicadores para maior compreensão acerca do tema. Ambos os indicadores, “*Solid Waste AND Textile Industry*” e “*Solid Waste AND Urban Mining*”, obtiveram maiores resultados na plataforma Scopus, apresentando, respectivamente, 137 e 56 trabalhos.

#### 4.1.1 Produção científica relacionada ao indicador “*Solid Waste AND Textile Industry*”

Inicialmente, o número de artigos encontrados nas três plataformas em estudo foi de 205 artigos. Após a retirada de duplicatas, utilizando o *software Mendeley*, e a análise dos artigos pertencentes ao eixo temático, a amostragem final ficou em 63 artigos. Apesar de uma queda no número de publicações no ano de 2019, nota-se que o interesse científico referente ao tema voltou a crescer. Sendo 2022 o ano com maior número de publicação dentro do espaço temporal estudado, com um total de 12 artigos, o que corresponde a 19,05% das publicações dos últimos 10 anos (Figura 2).

**Figura 2** - Publicações sobre o indicador “*Solid Waste AND Textile Industry*” durante o período de 2013 a 2022.



Fonte: Autora (2023)

Os trabalhos relacionados ao presente indicador englobaram 5 continentes, 25 países e 284 autores. Dentre os continentes, a Ásia aparece como detentor da maior quantidade de artigos, sendo China e Índia os principais países responsáveis por esse

feito; onde o primeiro país corresponde a 19,12% da produção total e o segundo país representa 16,18%. Vale destacar que o Brasil, único país da América do Sul, contribuiu com produções científicas, no eixo temático, nas três bases de dados estudadas. O país aparece com 13,24% da produção total. China, Índia e Brasil também se destacam em relação à quantidade de autores contribuindo para a produção científica do país (Tabela 2).

**Tabela 2** - Contribuição das produções científicas, para o indicador “*Solid Waste AND Textile Industry*”, por regiões geográficas

Continente	Países	Nº de Artigos	Nº de Autores
África	África do Sul	1	2
	Egito	2	4
	Etiópia	1	3
América do Norte	Canadá	1	2
	Estados Unidos	4	9
América do Sul	Brasil	9	41
Ásia	Bangladesh	2	15
	China	15	93
	Coréia do Sul	1	7
	Índia	11	48
	Indonésia	1	5
	Iraque	1	3
	Irã	3	11
	Malásia	3	9
	Paquistão	1	3
	Singapura	1	3
Ásia / Europa	Turquia	3	3
Europa	Alemanha	1	5
	Áustria	1	3
	Bulgária	1	4
	Espanha	1	2
	Grécia	1	2
	Inglaterra	1	2
	Portugal	3	13
	República Tcheca	1	5

Fonte: Autora (2023)

O destaque da China pode ser explicado pelo país apresentar a maior produção têxtil do mundo, tendo no ano de 2020 uma produção equivalente a US \$455 bilhões,

aproximadamente 10 vezes mais do que os Estados Unidos, que é o segundo maior produtor. Já a Itália, considerando a produção de 2017 a 2020, encontra-se como o 5º maior produtor. O Brasil aparece como o 10º maior produtor mundial, com produção equivalente a 2% da produção da China. Além disso, o Brasil está entre os 4 maiores produtores de malha e entre os cinco maiores produtores e consumidores de denim do mundo; o que explica o interesse de estudos nesta área (MENDES JUNIOR, 2022). Ao se destacarem na produção, esses países consequentemente se destacam na geração de resíduos, deste modo às pressões sociais que vem sofrendo estão cada vez mais forte, aumentando o interesse dessas potências por pesquisas na área (FERREIRA et al., 2015).

Os artigos analisados foram publicados em 41 revistas científicas. Destes, os periódicos mais utilizados foram *Waste Management and Research* com 6 artigos, *Waste Management* e *Environmental Science and Pollution Research* com 5 artigos cada, e *Journal of Cleaner Production* onde 4 trabalhos foram publicados. Somando estas revistas, se obtêm 31,75% do total de trabalhos analisados no presente estudo (Quadro 3).

**Quadro 1** - Classificação dos periódicos com relação ao Qualis 2017-2020 e ao Fator de Impacto (JCR) 2021.

Revista	Repetições	Qualis (2017-2020)	Fator de Impacto - JRC (2021)
<i>AIP Conference Proceedings</i>	1	-	0.402
<i>Advances in Polymer Technology</i>	1	A4	2.502
<i>Bioresource Technology</i>	2	A1	11.889
<i>Carbohydrate Polymers</i>	1	A1	10.723
<i>Cellulose</i>	1	A1	-
<i>Chemosphere</i>	2	A1	8.943
<i>Clean Technologies and Environmental Policy</i>	1	A2	4.700
<i>Cleaner Engineering and Technology</i>	1	-	-
<i>Coloration Technology</i>	1	A2	1.614
<i>Critical Reviews in Environmental Science and Technology</i>	1	A1	11.750
<i>Earth Systems and Environment</i>	1	B1	-
<i>Energy</i>	1	A1	8.857

<i>Environmental Monitoring and Assessment</i>	2	A2	3.307
<i>Environmental Pollution</i>	2	A1	9.988
<i>Environmental Science and Pollution Research</i>	5	A2	5.190
<i>Frontiers in Environmental Science</i>	1	A2	5.411
<i>International Journal of Environmental Research and Public Health</i>	2	A2	4.614
<i>International Journal of Hydrogen Energy</i>	1	A1	7.139
<i>Journal of Cleaner Production</i>	4	A1	11.072
<i>Journal of Electroanalytical Chemistry</i>	1	A2	4.598
<i>Journal of Environmental Chemical Engineering</i>	1	A3	7.968
<i>Journal of Environmental Management</i>	1	A1	8.910
<i>Journal of Hazardous Materials</i>	1	A1	14.224
<i>Journal of Hazardous, Toxic, and Radioactive Waste</i>	1	-	-
<i>Journal of Polymers and the Environment</i>	1	A2	4.705
<i>Journal of Traffic and Transportation Engineering (English Edition)</i>	1	-	3.571
<i>Makara Journal of Science</i>	1	-	-
<i>Marine Pollution Bulletin</i>	1	A1	7.001
<i>Materials Today: Proceedings</i>	1	-	-
<i>MethodsX</i>	1	A2	-
<i>Procedia Environmental Sciences</i>	1	A1	-
<i>Radiation Physics and Chemistry</i>	1	A2	2.776
<i>Renewable Energy</i>	1	A2	8.634
<i>Reviews on Environmental Health</i>	1	-	4.022
<i>Science of the Total Environment</i>	1	A1	10.753
<i>Sustainability (Switzerland)</i>	2	A1	3.889
<i>Textile and Leather Review</i>	1	-	-
<i>Waste and Biomass Valorization</i>	1	A3	3.449
<i>Waste Management</i>	5	A4	8.816
<i>Waste Management and Research</i>	6	A4	4.432

Fonte: Autora (2023)

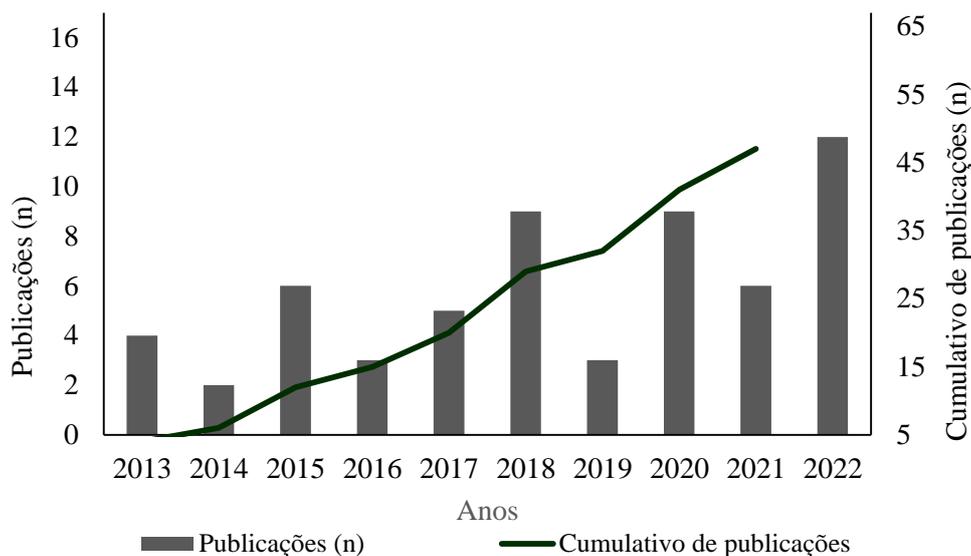
Segundo Pires et al. (2020), em 1998, a Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) criou o Qualis, que consiste em um sistema de classificação de periódicos. Esse sistema avalia os periódicos de acordo com a qualidade dos artigos, através do número de citações e outros parâmetros métricos. Por esta razão, a presente pesquisa analisou os periódicos publicados e seus respectivos Qualis, para deste modo ter discernimento acerca dos trabalhos em estudo. Considerando o quadriênio 2017-2020 apenas 5 periódicos não apresentaram Qualis, enquanto as outras variaram de B3 a A1. Estes dados apontam uma alta qualidade de trabalhos científicos referentes à área de resíduos sólidos têxteis e mineração urbana.

Em relação ao *Journal Impact Factor* ou Fator de Impacto (FI), este consiste em uma métrica utilizada para avaliar periódicos científicos a partir da frequência média com que seus artigos são citados durante o ano. Nos trabalhos analisados o *Impact Factor* variou entre 0,402 da revista *AIP Conference Proceedings* e 14,224 da revista *Journal of Hazardous Materials*. De acordo com Lessa (2016), o Fator de Impacto igual ou superior a 3,800 é equivalente ao Qualis A1 e o FI entre 3,799 e 2,500 equivale ao Qualis A2, ou seja, indica bons periódicos e, conseqüentemente, trabalhos de alto nível. A partir da tabela, pode-se observar que das 41 revistas científicas estudadas 26 apresentam FI superior a 3, o que equivale a 63,41% dos periódicos. Deste modo, é possível afirmar a qualidade elevada dos trabalhos nesses temas.

#### **4.1.2 Produção científica relacionada ao indicador “*Solid Waste AND Urban Mining*”**

Ao coletar os trabalhos nas três bases de dados a amostra inicial apresentou 137 artigos. Depois da retirada de duplicatas e da análise dos artigos visando selecionar apenas os que se enquadram no eixo temático, a amostra final constituiu-se de 69 trabalhos. É possível observar que o interesse científico acerca do tema varia ao passar dos anos. Entretanto, mesmo sem apresentar um crescimento contínuo, observa-se que no ano de 2022 o interesse nesta área atingiu um pico, havendo mais publicações do que nos 10 anos anteriores. Apenas o ano de 2022 foi responsável por aproximadamente 20,34% da amostragem total, revelando como o assunto da presente pesquisa é atual (Figura 3).

**Figura 3** - Publicações sobre o indicador “*Solid Waste AND Urban Mining*” durante o período de 2013 a 2022.



Fonte: Autora (2023)

Os artigos presentes na amostragem final foram publicados em 5 continentes, 26 países e escritos por um total de 236 pesquisadores. O continente Europeu destaca-se como o que mais contribuiu, sendo seguido pela Ásia. Itália e China aparecem como os países com maior contribuição destes continentes, respectivamente. Ambos os países foram responsáveis por 12 artigos cada, sendo assim, juntos correspondem a aproximadamente 33,80% da amostra total.

A China aparece como o maior produtor de lixo eletrônico do mundo, tendo gerado em 2019 10,1 milhões de toneladas deste tipo de resíduo (ONU, 2020). Esses dados podem explicar o destaque do país no assunto em estudo, uma vez que a mineração urbana aparece como uma das soluções para o gerenciamento desses resíduos. Além disto, na China a economia circular é considerada como política para a sustentabilidade, o que aumenta o número de estudos acerca de alternativas como mineração urbana (XAVIE; OTTONI, 2019). Já a Itália está entre os países da Europa que mais investe em Economia Circular, apresentando um fundo de investimentos públicos de 4,24 milhões de Euros (para os anos de 2020 a 2023) destinado a apoiar projetos e programas relacionados à sustentabilidade e meio ambiente (NETWORK, 2021).

China e Itália também se ressaltam em relação ao número de pesquisadores que contribuíram com os estudos na área. Na China 56 estudiosos foram responsáveis pela publicação dos artigos, enquanto na Itália foram 48 (Tabela 3).

**Tabela 3** - Contribuição das produções científicas, para o indicador “*Solid Waste AND Urban Mining*”, por regiões geográficas

Continentes	Países	Nº de Artigos	Nº de Autores
África	Nigéria	1	3
	Canadá	2	4
América do Norte	Estados Unidos	3	8
	Brasil	2	7
América do Sul	Chile	1	1
	Equador	1	3
	Catar	1	5
Ásia	China	12	56
	Coréia do Sul	1	7
	Índia	6	19
	Japão	2	2
	Singapura	1	1
	Turquia	1	1
Europa	Alemanha	6	12
	Áustria	4	15
	Dinamarca	2	2
	Espanha	1	2
	Finlândia	1	5
	Holanda	2	8
	Inglaterra	1	1
	Itália	12	48
	Portugal	1	3
	República Tcheca	2	4
	Romênia	2	8
	Suécia	3	7
Suíça	1	7	

Fonte: Autora (2023)

Os trabalhos pertencentes à presente amostra foram publicados em 26 periódicos. Assim como no indicador analisado, anteriormente, as revistas científicas *Waste Management* e *Journal of Cleaner Production* se destacam. Estas apresentaram, respectivamente, 16 e 8 artigos publicados. Deste modo, a *Waste Management* é responsável por publicar 27,12% dos trabalhos analisados. Também vale ressaltar as revistas *Sustainability (Switzerland)* e *Resources, Conservation and Recycling*, cada uma apresentando 5 artigos publicados (Quadro 2).

**Quadro 2** - Classificação dos periódicos com relação ao Qualis 2017-2020 e ao Fator de Impacto (JCR) 2021.

Revista	Repetições	Qualis (2017-2020)	Fator de Impacto - JRC (2021)
ACS Sustainable Chemistry & Engineering	1	A1	9.224
Chemical Engineering Journal	1	A1	1.31
Data in Brief	1	-	1.38
Detritus	1	B3	-
Energies	1	A1	3.252
Energy Procedia	1	A3	-
Environmental Science and Pollution Research International	2	A2	5.190
Environmental Science & Technology	1	A1	11.357
Geosystem Engineering	1	-	-
Journal of Cleaner Production	8	A1	11.072
Journal of Environmental Chemical Engineering	1	A3	7.968
Journal of Environmental Management	2	A1	8.910
Journal of Hazardous Materials	1	A1	14.224
Journal of Industrial Ecology	1	-	7.202
Journal of Material Cycles and Waste Management	1	A3	3.579
Journal of the Air and Waste Management Association	1	A3	2.636
Minerals Engineering	1	A1	5.479
Nano-Structures and Nano-Objects	1	-	-
Processes	2	B3	3.352
Resources, Conservation and Recycling	5	A1	5.479
Revista Tecnologia e Sociedade	1	A4	-
Science of the Total Environment	1	A1	10.753
Sustainability (Switzerland)	5	A1	3.889
Sustainable Production and Consumption	1	A1	8.921
Waste Management	16	A4	8.816
Waste Management and Research	1	A4	4.432

Fonte: Autora (2023)

Ao analisar o quadriênio 2017-2020, apenas 5 periódicos não apresentaram Qualis e, para as demais revistas, a classificação variou de B3 a A1. Novamente, a classificação A1 é que se destaca, uma vez que 12 periódicos apresentam essa classificação, correspondendo a 46,15% das revistas científicas em análise. Quanto ao Fator de Impacto, este variou entre 1,31 da revista *Chemical Engineering Journal* e 11,357 da revista *Environmental Science & Technology*. Avaliando quais periódicos apresentam FI igual ou maior que 3, observa-se um número de revistas que

correspondem a 61,54% do total de periódicos em estudo. A partir dos dados obtidos pela avaliação do Qualis e do Fator de Impacto, constata-se o elevado nível dos trabalhos analisados e sua importância, tanto no âmbito nacional quanto no internacional.

#### 4.2 Frequência de palavras

As palavras que se encontram em maior tamanho e na parte central da nuvem são as que apareceram com maior frequência nos trabalhos. No presente trabalho foram considerados o título, o resumo e as palavras-chave para gerar a nuvem de palavras. Deste modo, de acordo com a imagem da nuvem de palavras, observa-se que os termos mais frequentemente utilizados – nos trabalhos selecionados pelo indicador *Solid Waste AND Textile Industry* – foram *Process*, *Textile Industry*, *Environmental* e *Solid Waste* (Figura 4); todos vinculados ao eixo temático do presente estudo.

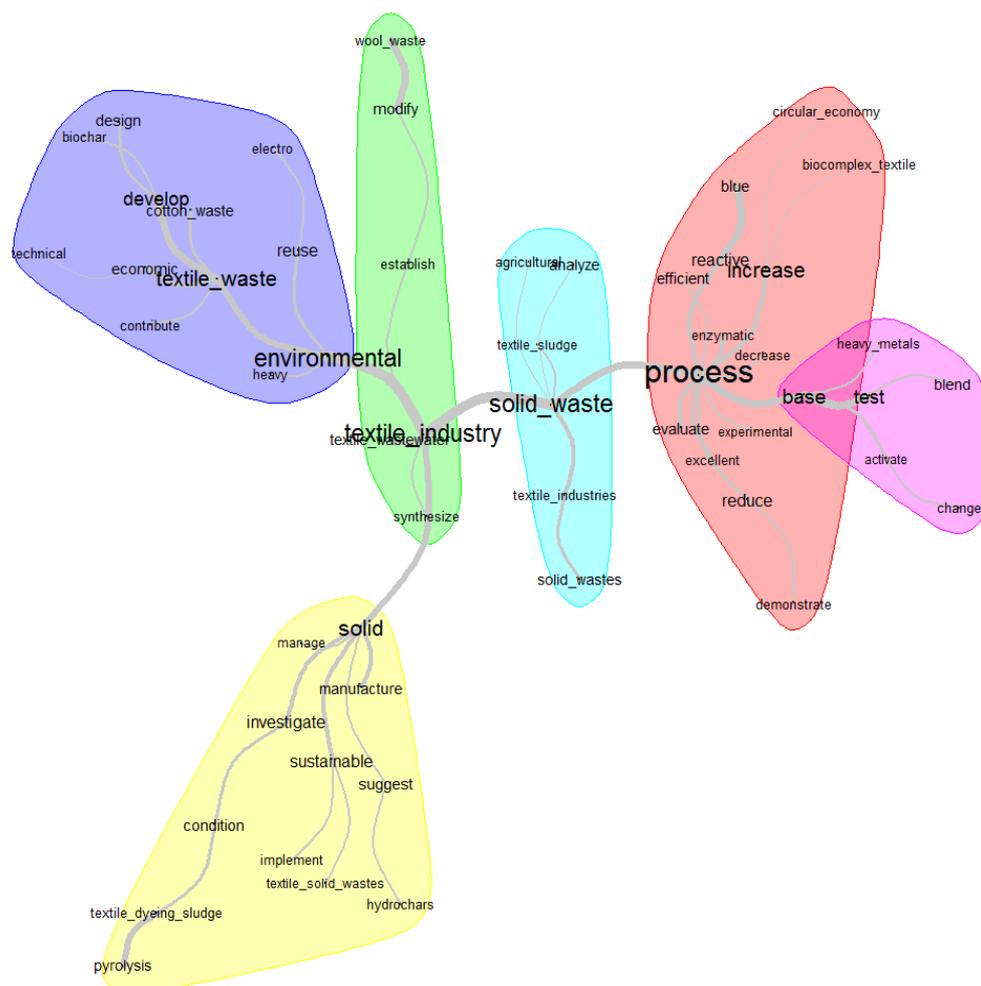
**Figura 4** - Nuvem de palavras para o indicador *Solid Waste AND Textile Industry*



Fonte: Autora (2023)

Na análise de similitude o software Iramuteq utiliza da teoria dos grafos para conectar as palavras e possibilitar ao pesquisador visualizar as palavras que apresentam mais coesão entre si. Na imagem gerada pela análise de similitude aponta, por exemplo, a ligação entre os termos *Solid Waste*, *Textile Industry* e *Textile Sludge* (Figura 5).

**Figura 5** - Análise de similitude para o indicador *Solid Waste AND Textile Industry*



Fonte: Autora (2023)

A cientometria para o indicador *Solid Waste AND Textile Industry* demonstra que dos 63 artigos pertencentes à amostra final, 39 artigos apresentam conexão entre os termos *textile industry* e *environmental*. De acordo com a análise dos artigos estes trabalhos estão voltados para a utilização da tecnologia visando a conservação ambiental através da mitigação dos impactos. A partir do uso da tecnologia as pesquisas mostram soluções para os problemas ambientais como, por exemplo, a conversão de resíduos de algodão e poliéster em energia, estudada no trabalho intitulado “*Post-consumer textile thermochemical recycling to fuels and biocarbon: A critical review*”, dos pesquisadores Athanasopoulos e Zabaniotou (2022). Também aparecem estudos voltados para outros tipos de resíduos têxteis, como é o caso do artigo “*Highly efficient*

*treatment of textile dyeing sludge by CO2 thermal plasma gasification*”, de autoria de Wang et al. (2019), que busca um tratamento eficiente para o lodo têxtil.

Os termos *process* e *solid waste* também apresentaram forte conexão, estando ambos presentes em 11 artigos. Ao analisar os trabalhos é possível determinar que o termo processo está relacionado aos métodos utilizados ao lidar com os resíduos sólidos, ou seja, com o gerenciamento que estes recebem e suas respectivas rotas tecnológicas. A nuvem de palavras para o indicador *Solid Waste AND Urban Mining* apresentou termos como *Waste*, *Metal*, *Resource*, *Urban Mining* e *Recycle* como palavras com grande frequência nos trabalhos analisados (Figura 6).

**Figura 6** - Nuvem de palavras para o indicador *Solid Waste AND Urban Mining*



Fonte: Autora (2023)

A partir do software também foi possível determinar o número de repetições de cada palavra/termo (Tabela 4). A grande repetição de termos como *Waste*, *Recycle*, *Urban Mining*, *Environmental and Management* reforçam a preocupação atual com o meio ambiente e o entendimento sobre a urgência de soluções para os problemas atuais.

**Tabela 4** - Frequência de palavras

Nomenclatura	Repetições (n)
<i>Waste</i>	202
<i>Metal</i>	103
<i>Resource</i>	88
<i>Ash</i>	87
<i>Recycle</i>	82



Quanto à cientometria, para o indicador *Solid Waste AND Urban Mining*, observa-se que o termo *waste* aparece com maior frequência que os demais. Ao analisar os trabalhos, é possível perceber que o objetivo geral dos mesmos é o gerenciamento destes resíduos, como o trabalho de Assi et al. (2020), intitulado “*Zero-waste approach in municipal solid waste incineration: Reuse of bottom ash to stabilize fly ash*”, assim como o estudo “*Sustainable approach for valorization of solid wastes as a secondary resource through urban mining*”, de Tejaswini, Pathak e Gupta (2022), deixam clara a preocupação com um gerenciamento adequado dos resíduos, de modo a mitigar os impactos ambientais. Quanto ao tipo de resíduo, em sua maioria, trata-se de resíduos municipais e resíduos eletroeletrônicos.

Outro termo de destaque foi *metal*, uma vez que é um material que está presente nos resíduos. Observa-se nos trabalhos que o termo aparece ligado a técnicas para recuperar estes metais dos resíduos, contribuindo com a economia circular. Como exemplo, pode-se citar o artigo de Kaya (2016). *Resource e Urban Mining* também aparecem em comum em diversos trabalhos. A partir da análise dos trabalhos foi possível determinar que os termos se encontram nas pesquisas relacionadas à busca pela conservação ambiental, onde a partir da mineração urbana recursos são extraídos e reintroduzidos no ciclo produtivo.

## 5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Dentro do espaço temporal determinado (2013 a 2022), observou-se que a base de dados que se destacou apresentando mais trabalhos relacionados a ambos os indicadores foi a *Scopus*, sendo seguida pela plataforma *Web of Science*. Sendo assim, é possível determinar que ambas as bases de dados sejam as mais indicadas para buscar trabalhos acerca do tema em questão.

Em relação aos continentes que mais investem em estudos na área têxtil, a Ásia e a Europa se sobressai. O que pode ser explicado por muitos de seus países se apresentarem entre os principais produtores e exportadores têxteis, como é o caso de países como China, Turquia, Indonésia, Itália, Bangladesh e Alemanha. Mesmo não fazendo parte destes continentes, o Brasil destaca-se em estudos tanto da área têxtil quanto sobre mineração urbana. O que elucida a importância da indústria para o país, uma vez que este se encontra entre os maiores produtores têxteis do mundo, expondo a

emergência da produção sustentável e um de olhar para a Economia Circular. A China também se destaca na área de mineração urbana, o que pode ser explicado pelo país ser o maior gerador de resíduo eletroeletrônico, principal fonte dos estudos da área de mineração urbana.

Quanto aos trabalhos analisados, ficou evidente que os estudiosos da área prezam não só por quantidade, mas também por qualidade, uma vez que a grande porcentagem dos artigos estudados foi publicada em revistas de grande impacto nacional e internacional.

Ao avaliar os anos de publicação dos artigos, concluiu-se que tanto indústria têxtil quanto mineração urbana são assuntos emergentes, uma vez que ambos os indicadores apresentaram seu pico no ano de 2022. Em relação aos trabalhos voltados para a indústria têxtil, vale ressaltar que todos os trabalhos estudados foram relacionados aos resíduos sólidos e a preocupação a respeito destes. Enquanto nos trabalhos sobre Mineração Urbana, o tema surge como solução para gerenciar os resíduos. Portanto, os dois temas presentes se complementam, e por mais que seja um caminho novo a ser estudado, pode se tornar um assunto de grande interesse no futuro.

A cientometria mostrou que apesar de cada indicador apresentar diferentes termos em grande destaque, todos estes termos e trabalhos vinculados aos mesmos demonstram preocupações de cunho ambiental. Reforçando que os artigos estudados buscam mitigar os impactos ambientais, contribuir com a economia circular e atingir um desenvolvimento sustentável.

## REFERÊNCIAS

- ABIT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA TÊXTIL E DE CONFECÇÃO. **Perfil do Setor**, 2019. Disponível em: <https://www.abit.org.br/cont/perfil-do-setor>. Acesso em: 27 mar. 2023.
- ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR ISO 14001/2015: Sistema de Gestão Ambiental – Requisitos com orientações para uso**. Rio de Janeiro, 2015.
- BERLIN, Lilyan Guimarães. A Indústria têxtil brasileira e suas adequações na implementação do desenvolvimento sustentável. **ModaPalavra e-periódico**, n. 13, p. 15-45, 2014. Disponível em: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=514051622001>. Acesso em: 12 nov. 2021.
- CASTRO, T. M. D.; TAVARES, C. R. G.; LISOT, A.; KAMINATA, O. T. Caracterização de blocos cerâmicos acústicos produzidos com incorporação de lodo de lavanderia têxtil. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 20, p. 47-54, 2015. DOI: <https://doi.org/10.1590/S1413-41522015020000088966>.
- COGO, Maria da Cunha. **Estudo de caracterização e disposição dos resíduos de uma indústria têxtil do Estado do Rio Grande do Sul**. Trabalho de Diplomação em Engenharia Química – Departamento de Engenharia Química, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Rio Grande do Sul, 2011.
- COLANZI, J.; PIETROBON, C. L. Caracterização físico-química de lodo gerado no processo de tratamento dos efluentes de lavanderia têxtil. In: **XI Encontro Anual de Iniciação Científica**, Maringá, p. 260, 2002.
- COSSU, R.; WILLIAMS, I. D. Urban mining: Concepts, terminology, challenges. **Waste Management**, v. 45, p. 1-3, 2015. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2015.09.040>.
- CURTY, R. G.; DELBIANCO, N. R. As diferentes metrias dos estudos métricos da informação: evolução epistemológica, inter-relações e representações. **Encontros Bibli: revista eletrônica de biblioteconomia e ciência da informação**, v. 25, p. 01-21, 2020. DOI: <https://doi.org/10.5007/1518-2924.2020.e74593>.
- Ferreira M. D.; Costa T. N.; Teixeira F. G.; Jacques J. J.; Cattani A. Redução dos Resíduos Têxteis por Meio de Projeto de Produto de Moda. **Design & Tecnologia**, v.10, 2015.
- KAZANÇOGLU, Y.; ADA, E.; OZTURKOGLU, Y.; OZBILTEKIN, M. Analysis of the barriers to urban mining for resource melioration in emerging economies. **Resources Policy**, v. 68, p. 101768, 2020. DOI: <http://doi.org/10.1016/j.resourpol.2020.101768>.
- LIU, W.; WANG, J.; LI, C.; CHEN, B.; SUN, Y. Using bibliometric analysis to understand the recent progress in agroecosystem services research. **Ecological Economics**, v. 156, p. 293-305, 2019. DOI: <http://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2018.09.001>.
- MENDES JUNIOR, Biagio de Oliveira. Indústria: Indústria Têxtil. **Caderno Setorial ETENE**, 2022.
- MENEGUCCI, F.; MARTELI, L.; CAMARGO, M.; VITO, M. Resíduos têxteis: Análise sobre descarte e reaproveitamento nas indústrias de confecção. **Anais: XI Congresso Nacional de Excelência em Gestão**, Rio de Janeiro, 2015.

NACKE, O. Informetría: un nuevo nombre para una nueva disciplina. Definición, estado de la ciencia y principios de desarrollo. **Revista Española de Documentación Científica**, Madrid, v. 6, n. 3, p. 183-204, 1983. Disponível em: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=4314842>. Acesso em: 02 de jan. 2022.

NALIMOV, V. V.; MULCHENKO, Z. M. **Measurement of Science: Study of the Development of Science as an Information Process**. Washington DC: Foreign Technology Division, 1971.

NETWORK, Circular Economy. Rapporto sull'economia circolare in Italia. **Focus sull'Economia Circolare nella Transizione alla Neutralità Climatica**. Fondazione per lo Sviluppo Sostenibile, 2021.

NORTEVISUAL, Serviços Ambientais. Maringá – PR, 2010. Disponível em: <http://www.nortevisual.com.br>. Acesso em: 20 jan. 2023.

ONU - Organização das Nações Unidas. **China e Estados Unidos lideram a lista de países que mais geram lixo eletrônico**, 2020. Disponível em: <https://news.un.org/pt/story/2020/07/1719142#:~:text=A%20China%20%C3%A9%20o%20maior,%C3%8Dndia%20com%203%2C2%20milh%C3%B5es>. Acesso em: 28 mar. 2023.

PIMENTA, A. A.; PORTELA, A. R. M. R.; OLIVEIRA, C. B.; RIBEIRO, R. M. A bibliometria nas pesquisas acadêmicas. **Scientia [Internet]**, v. 4, n. 7, p. 1, 2017.

PIRES, A. S.; REATEGUI, E.; FRANÇA, A. C. X; BETTINGER, E.; FRANCO, S. R. K. Implicações do sistema de classificação de periódicos Qualis em práticas de publicação no Brasil entre 2007 e 2016. **Arquivos Analíticos de Políticas Educativas**, v. 28, n. 25, p. 1-25, 2020. <https://doi.org/10.14507/epaa.28.4353>

SCARPEL, L. C. P. **Pesquisa científica**. Instituto tecnológico de aeronáutica, 2016. Disponível em: <http://www.mec.ita.br/~cge/Acervo/PesquisaCientifica.pdf>. Acesso em: 13 abr. 2021.

SILVA, Carina. **Incorporação de lodo têxtil em materiais de construção civil: uma revisão**. 2023. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Civil) - Universidade Federal de Pernambuco, Caruaru, 2023.

SOARES, P. B.; CARNEIRO, T. C. J.; CALMON, J. L.; CASTRO, L. O. da C. de O. Análise bibliométrica da produção científica brasileira sobre Tecnologia de Construção e Edificações na base de dados Web of Science. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 16, n. 1, p. 175-185, jan./mar. 2016. DOI: [10.1590/s1678-86212016000100067](https://doi.org/10.1590/s1678-86212016000100067).

VIOTTO, H. G. F.; DE ANGELIS NETO, G.; SCHUSTER, B. S.; TABONI, L. R.; JUNIOR, A. M. Gestão sustentável do lodo proveniente da lavanderia têxtil. **Anais: X Congresso Brasileiro de Gestão Ambiental**, nov. 2019.

XAVIER, L. H.; NASCIMENTO, H. F. F.; LINS, F. A. F. (Org.) **Manual para a destinação de resíduos eletroeletrônicos: orientação ao cidadão sobre como dispor adequadamente os resíduos eletroeletrônicos na cidade do Rio de Janeiro**, 1ª Edição. Rio de Janeiro: CETEM-MCTIC/UFRJ/INEA, 2017.

XAVIER, L.H., OTTONI, M. **Economia Circular e Mineração Urbana. Resíduos de Equipamentos Eletroeletrônicos**. 1ª Edição. Rio de Janeiro: CETEM, 2019.

YOO, B.; JANG, M. A bibliographic survey of business models, service relationships, and technology in electronic commerce. **Electronic Commerce Research and Applications**, v. 33, p. 100818, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.elerap.2018.11.005>.

ZENG, X.; XIAO, T.; XU, G.; ALBALGHITI, E.; SHAN, G.; LI, J. Comparing the costs and benefits of virgin and urban mining. **Journal of Management Science and Engineering**, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jmse.2021.05.002>.

## CAPÍTULO 2

### ECONOMIA CIRCULAR NO CICLO PRODUTIVO DAS LAVANDERIAS DO POLO TÊXTIL DO AGRESTE PERNAMBUCANO: MINERAÇÃO URBANA DE METAIS PESADOS DO LODO DOS LEITOS DE SECAGEM

#### RESUMO

A indústria têxtil destaca-se na economia mundial desde a primeira revolução industrial, sendo relevante atualmente nos aspectos sociais, econômicos, culturais e políticos. É uma indústria que abrange uma ampla cadeia produtiva, e devido a isto aparece como grande geradora de resíduos e responsável por excessiva extração de recursos naturais. Deste modo, alternativas precisam ser tomadas para mitigar os impactos decorrentes desta indústria. Como alternativa surge a mineração urbana, que contribui com um desenvolvimento sustentável e com a economia circular. Diante do exposto, o presente trabalho tem como objeto de estudo o Arranjo Produtivo Local do Agreste Pernambucano, por ser o segundo maior polo têxtil do país, e visa compreender o ciclo produtivo das lavanderias do polo têxtil, além de identificar métodos e determinar o grau de eficiência para aplicação da mineração urbana. A compreensão do ciclo das lavanderias ocorreu a partir do levantamento secundário de livros, artigos, dissertações, teses e sites oficiais do governo. A caracterização do lodo também ocorreu através do levantamento de dados secundários, se concentrando principalmente no trabalho de Silva (2018), intitulado “Utilização de métodos quimiométricos na determinação de propriedades e aplicações de lodo industrial do polo têxtil do Agreste pernambucano”. Para determinar os metais presentes no lodo, Silva utilizou um espectrômetro de absorção atômica. No levantamento acerca de metais presentes no polo têxtil em estudo foi possível observar a presença de diversos metais como Alumínio (Al), Arsênio (As), Boro (B), Cádmio (Cd), Chumbo (Pb), Cobalto (Co), Cobre (Cu), Cromo (Cr), Ferro (Fe), Manganês (Mn), Níquel (Ni), entre outros. As concentrações destes metais superaram o máximo permitido pelo Conselho Nacional do Meio Ambiente (Conama). Em relação a precificação dos metais, mostrou-se que economicamente a mineração urbana não é tão viável a curto prazo; mas que a longo, pensando em saúde pública e na finitude dos metais, a mineração urbana é uma alternativa que merece destaque. Conclui-se então que a mineração urbana é um caminho promissor para mitigar os impactos causados pela indústria têxtil e contribuir com a economia circular.

**Palavras-chave:** Lodo Têxtil; Economia Circular; Sustentabilidade.

## **CIRCULAR ECONOMY IN THE PRODUCTION CYCLE OF THE LAUNDERS IN THE TEXTILE POLE OF AGRESTE PERNAMBUCANO: URBAN MINING OF HEAVY METALS FROM THE SLUDGE OF DRYING BEDS**

### **ABSTRACT**

The textile industry has stood out in the world economy since the first industrial revolution, and is currently relevant in social, economic, cultural and political aspects. It is an industry that covers a wide production chain, and because of this it appears to be a major generator of waste and responsible for excessive extraction of natural resources. Therefore, alternatives need to be taken to mitigate the impacts arising from this industry. As an alternative, urban mining appears, which contributes to sustainable development and the circular economy. In view of the above, the present work has as its object of study the Local Productive Arrangement of Agreste Pernambuco, as it is the second largest textile hub in the country, and aims to understand the productive cycle of the textile hub's laundries, in addition to identifying methods and determining the degree efficiency for urban mining application. The understanding of the laundry cycle occurred from the secondary survey of books, articles, dissertations, theses and official government websites. The characterization of the sludge also occurred through the collection of secondary data, focusing mainly on the work of Silva (2018), entitled "Use of chemometric methods in determining the properties and applications of industrial sludge from the Agreste textile hub in Pernambuco". To determine the metals present in the sludge, Silva used an atomic absorption spectrometer. In the survey of metals present in the textile complex under study, it was possible to observe the presence of several metals such as Aluminum (Al), Arsenic (As), Boron (B), Cadmium (Cd), Lead (Pb), Cobalt (Co), Copper (Cu), Chromium (Cr), Iron (Fe), Manganese (Mn), Nickel (Ni), among others. The concentrations of these metals exceeded the maximum allowed by the National Environmental Council (Conama). Regarding the pricing of metals, it was shown that urban mining is not economically viable in the short term; but in the long run, thinking about public health and the finiteness of metals, urban mining is an alternative that deserves to be highlighted. It is therefore concluded that urban mining is a promising way to mitigate the impacts caused by the textile industry and contribute to the circular economy.

**Keywords:** Textile Sludge; Circular Economy; Sustainability.

## 1. INTRODUÇÃO

A indústria têxtil encontra-se entre os três maiores setores da economia mundial, sendo relevante nas dimensões econômica, social, cultural e política. Esta abrange uma grande cadeia produtiva que vai da plantação de algodão até os desfiles de moda, passando por fiações, tecelagens, beneficiadoras, confecções e varejo. Devido a isso, há uma ampla quantidade de recursos exigidos pelo processo, como linhas, agulhas, máquinas de lavar, corantes, solventes, tintas, pesticidas, dentre outros (BERLIN, 2014). Assim, o setor destaca-se como grande gerador de resíduos.

Dentre os segmentos desta indústria, é importante ressaltar a lavanderia têxtil, por ser uma das áreas que mais acarreta impactos negativos ao meio ambiente, decorrente da grande quantidade de resíduos gerados, como o lodo têxtil. Segundo Souto (2017), o lodo têxtil é um material semissólido, composto de matéria orgânica e inorgânica, advindo dos tratamentos de efluentes. Este resíduo pode conter na sua composição metais pesados e outros elementos, como cádmio, cobre, cromo, chumbo, níquel, alumínio, ferro, zinco e manganês, que dependendo da disposição final, podem poluir o solo, a água e a atmosfera, afetando negativamente a fauna e a flora (COGO, 2011). Assim sendo, há uma maior preocupação quanto à destinação e disposição final deste resíduo, a qual muitas vezes ocorre de forma inadequada, através de métodos que não levam em consideração a segurança sanitária e ambiental.

Além disso, a necessidade de uma grande quantidade de insumos aumenta a exploração de recursos naturais não renováveis extraídos pela atividade mineradora. Tais recursos naturais são esgotáveis, não renováveis, com estoque finito. Já a atividade de mineração apresenta elevado impacto ambiental, especialmente se realizado em lavra a céu aberto, o que compromete a capacidade suporte do ecossistema em que está sendo desenvolvido, pondo em risco a biodiversidade local (NAHAS, 2021). Visando mitigar os problemas mencionados até então, surge a Mineração Urbana, que consiste na retirada das matérias-primas presentes nos resíduos. Esta pode ser aplicada ao lodo têxtil, uma vez que este é rico em elementos químicos que são necessários para a produção e/ou manutenção dos bens de consumo; reduzindo a exploração dos recursos naturais primários, além de incentivar a reciclagem e a logística reversa (XAVIER; NASCIMENTO; LINS, 2017).

Diante do exposto, o presente trabalho tem como objeto de estudo o Arranjo Produtivo Local de Confecções do Agreste Pernambucano (APLCAPE), por ser o

segundo maior polo têxtil do país e de grande importância para o desenvolvimento econômico e social do estado e da região em que se encontra inserido (SEBRAE, 2012). Este estudo visa analisar o ciclo produtivo das lavanderias, identificando métodos e a potencialidade da Mineração Urbana do lodo advindo do leito de secagem de efluentes das indústrias do APLCAPE, por meio da inserção da Economia Circular para metais via métodos laboratoriais de extração, como uma saída para minimizar os possíveis impactos ambientais causados desta etapa produtiva deste setor. Desta forma, busca contribuir com o desenvolvimento sustentável da indústria em estudo, identificando proposições técnicas com potencialidade para serem aprimoradas.

## **2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA**

### **2.1. A indústria têxtil durante as revoluções industriais**

O processo industrial pode ser dividido em cinco etapas, indo da Revolução Industrial 1.0 à Revolução Industrial 5.0. A Revolução Industrial 1.0 é definida pela criação da máquina a vapor, por Thomas Newcomen, e pelo aperfeiçoamento desta, por James Watt, em 1765. A indústria têxtil foi a primeira a utilizar a tecnologia, criando uma série de máquinas voltadas para este setor, o que a impulsionou diante do mercado (SAKURAI; ZUCHI, 2018).

A Indústria 2.0 é caracterizada pela eletrificação, linhas de montagem e desenvolvimento da indústria química. Já a Indústria 3.0 é marcada pelo avanço tecnológico em diversos âmbitos, destacando-se a automação, a partir da eletrônica e computação. Neste cenário de desenvolvimento industrial, houve um crescimento da produção e, conseqüentemente, da economia mundial (SAKURAI; ZUCHI, 2018, BESSA et al., 2020).

A Indústria 4.0 é determinada por um conjunto de tecnologias, como Computação em Nuvem, Sistemas Ciber-físicos e Internet das Coisas. Segundo Maestri et al. (2018), a indústria têxtil apresenta pouca aplicação das tecnologias desenvolvidas neste período. Em pesquisa realizada pelos autores, foi demonstrado pouco interesse das empresas em investir em tecnologia, apesar do potencial de evolução setorial com tal inserção.

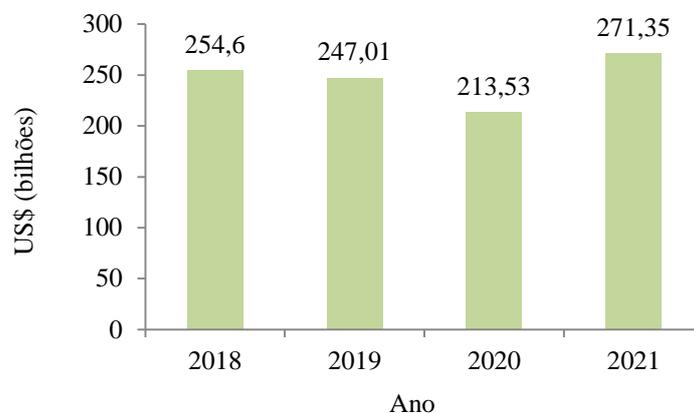
Alguns estudiosos já apontam que há setores econômicos que estão inseridos na Indústria 5.0. De acordo com Aslam et al. (2020), essa fase surge em 2016, com a colaboração entre homem e tecnologia, de modo a contribuir com um desenvolvimento

sustentável. Pela grande demanda da indústria têxtil e pela necessidade de atividades com grande precisão por parte dos trabalhadores, a aplicação do conceito da Indústria 5.0 poderia auxiliar a alavancar ainda mais este setor, elevando a produtividade, eficiência e eficácia.

## **2.2. O setor têxtil no Brasil**

De acordo com o Instituto de Estudos e Marketing Industrial (IEMI, 2022), atualmente, o setor têxtil e de confecção brasileiro encontra-se em 4º (quarto) lugar no *ranking* mundial, sendo a maior cadeia têxtil completa do Ocidente. Em 2020, o Brasil contava com 22,5 mil empresas formais, 1,34 milhão de empregados formais e 8 milhões de empregados indiretos, dos quais 60% destes são mão de obra feminina; sendo o segundo setor com maior geração de emprego. No mesmo ano, a indústria têxtil obteve um faturamento de R\$190 bilhões, com uma produção média de 8,1 bilhões de peças. O Brasil, por exemplo, no ano de 2019, contava com 25,5 mil empresas formais, 1,5 milhão de empregados diretos e 8 milhões de empregados indiretos, sendo o segundo setor com maior geração de emprego (IEMI, 2022).

Quanto aos valores de exportação e importação, ainda há uma considerável discrepância, uma vez que no ano de 2021 foi exportado R\$ 1,14 bilhão em produtos têxteis, enquanto o valor de importações foi de 5,9 bilhões (ABIT, 2022). A partir destes dados conclui-se que a produção do Brasil é volumosa, tanto para consumo próprio quanto para exportação, embora fique evidente que seu maior consumidor é o mercado interno (CAVALCANTI; SANTOS, 2020). Além dos dados citados anteriormente, vale ressaltar que o país configura-se como referência mundial em *design* de moda, contando com mais de 50 faculdades de moda espalhadas por 11 estados. (ABIT, 2022). Com a pandemia causada pela Covid-19 houve uma queda na importação e na exportação dos produtos têxteis (Figura 1). Mas, de acordo com Mendes Junior (2022), mesmo com o encolhimento do comércio internacional, o país apresentou um desempenho excelente, principalmente se comparado a tradicionais países que viram seu comércio despencar.

**Figura 1** - Exportações de têxteis no mundo, de 2018 a 2021

Fonte: Adaptado de Mendes Junior (2023)

Uma forma de avaliar o valor do mercado têxtil no país é analisar o valor bruto das produções. Assim, em 2020, o Brasil apresentou um valor bruto de produção de quase 50 bilhões. O nordeste contou com um valor superior a 7,7 bilhões, equivalendo a 15,5% do total do Brasil (MENDES JUNIOR, 2023). O estado de estudo do presente trabalho, Pernambuco, apareceu como o 9º estado com o maior valor bruto (Tabela 1). A partir destes dados, fica evidente a importância do Nordeste – e de Pernambuco – para a produção têxtil brasileira.

**Tabela 1** - Valor bruto da produção industrial têxtil em 2020, em ordem decrescente

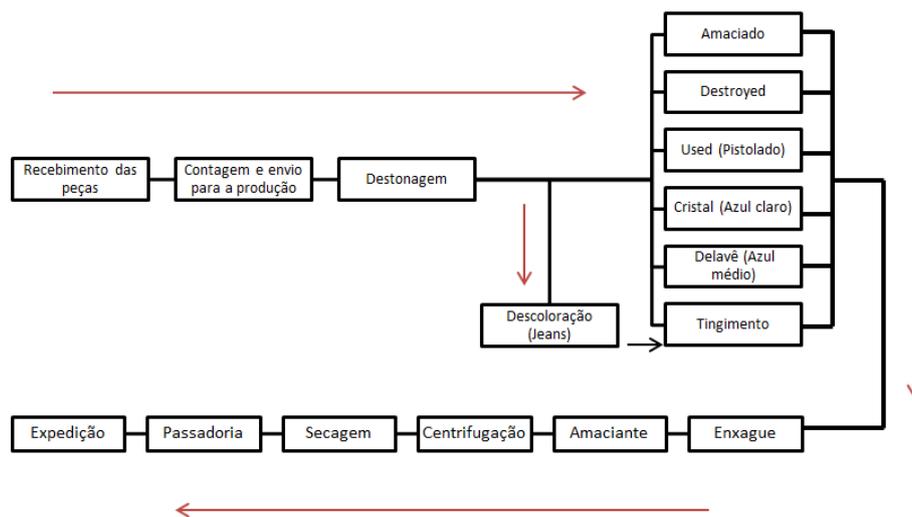
Estado	Valor da produção industrial (R\$ mil)	% do total
São Paulo	17.501.550	35,06
Santa Catarina	13.257.914	26,56
Minas Gerais	3.786.450	7,59
Paraná	2.587.947	5,18
Rio Grande do Sul	2.530.273	5,07
Bahia	2.045.425	4,10
Ceará	1.767.163	3,54
Paraíba	1.437.654	2,88
Pernambuco	1.086.902	2,18
Rio de Janeiro	834.771	1,67
Sergipe	699.274	1,40
Mato Grosso do Sul	629.911	1,26
Demais Estados	1.750.641	3,51
Brasil	49.915.775	100,00

Fonte: Adaptado de Mendes Junior (2023)

### 2.3. Lavanderia têxtil

Compreender os estágios de beneficiamento das lavanderias têxteis (Figura 2) permite entender os aspectos ambientais que fazem parte dessa etapa da indústria têxtil. Durante estas etapas, diversos produtos químicos são utilizados para obter a aparência desejada das roupas. Deste modo, o efluente final do processo deve passar por uma estação de tratamento. A entrada de insumos varia de acordo com o tipo de beneficiamento selecionado, alterando durante o decorrer dos anos, de acordo com as estações da moda e o tipo de matéria prima e tecidos usados. Uma vez que o processo permite a produção de roupas com diferentes características (Figura 3), é possível citar diversos modelos de *jeans*, como amaciado (A), *destroyed* (B), *used* (pistolado) (C), cristal (azul claro) (D), delavê (azul médio) (E) e o jeans tingido (SILVA, 2016).

**Figura 2** - Fluxograma dos processos de uma lavanderia têxtil



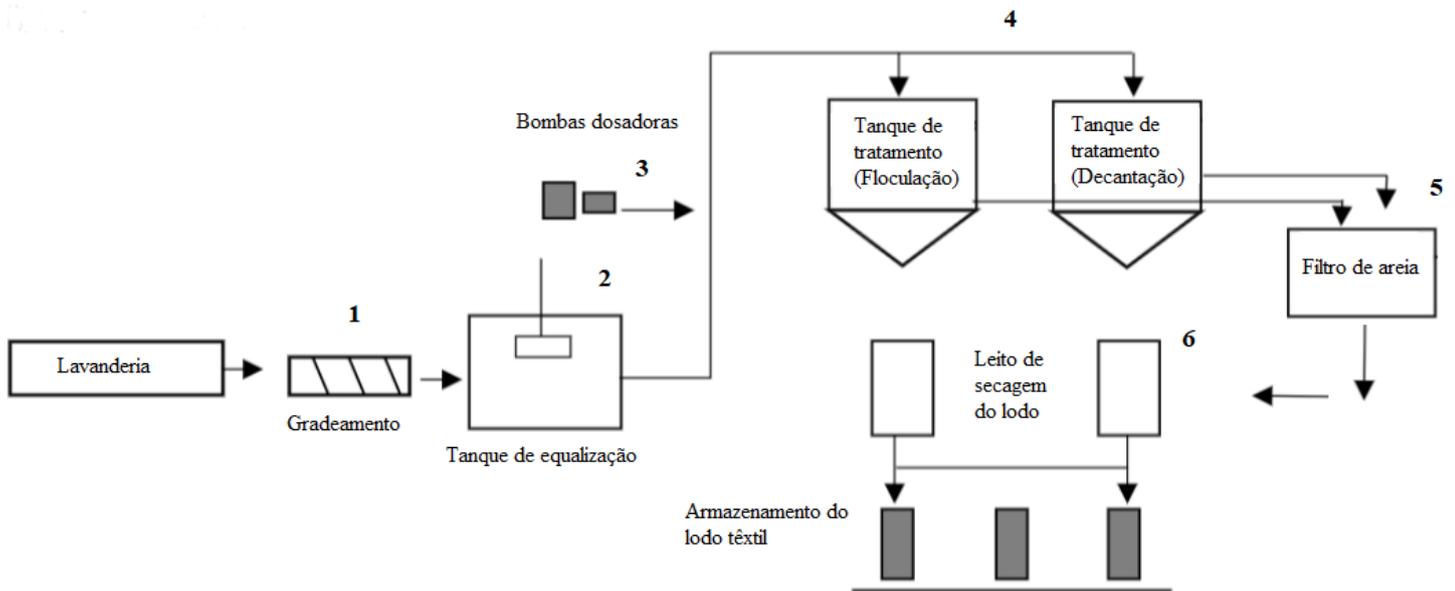
Fonte: Adaptado de Silva (2016)

**Figura 3 - Acabamento dos processos de beneficiamento**

Fonte: Souto (2017)

As lavanderias presentes no APLCAPE realizam um processo de tratamento físico-químico que, em sua maioria, consiste em 6 (seis) etapas (Figura 4). A primeira etapa, do (1) tratamento preliminar, consiste na passagem do efluente por um gradeamento, com o objetivo de remover fibras e outros resíduos maiores. Em seguida, o efluente é transferido para um (2) tanque de equalização, onde é homogeneizado e tem seu pH ajustado, para tratamento químico. No tratamento químico ocorre a adição de Policloreto de Alumínio ou Sulfato de Alumínio, que atuam nas cargas superficiais das moléculas desestabilizando-as, para facilitar a formação de flocos quando adicionado um polímero (LIBÂNIO, 2010). Posteriormente, o efluente é bombeado para o (3) tanque de floculação e (4) decantação, quando ocorre a formação e a decantação do lodo têxtil. Na quinta etapa, o efluente passa por um (5) filtro de areia, para a remoção de sólidos suspensos restantes. Por fim, na última fase, o lodo vai para o (6) leito de secagem, onde permanece por cerca de 3 dias, para então ser encaminhado aos aterros sanitários, enquanto o efluente líquido volta aos corpos hídricos.

**Figura 4** - Esquema da estação de tratamento de efluentes de uma lavanderia têxtil



Fonte: Queiroga, Lamardo e De Melo (2020)

Entretanto, a eficiência do procedimento de tratamento apresenta eficiência relativa, uma vez que não é capaz de retirar todos os compostos que fazem parte do processo de beneficiamento das lavanderias. Neste processo, ocorre a aplicação de cores aos tecidos, utilizando-se grandes volumes de corantes. Esses produtos químicos apresentam metais pesados e aumentam a demanda química de oxigênio (DQO), sendo assim um risco ao meio ambiente e à saúde humana (SOUTO, 2017).

#### 2.4. Legislação pertinente aos resíduos sólidos

De acordo com a Lei nº 12.305 (BRASIL 2010, Art 3º), que institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), os resíduos sólidos são definidos como

material, substância, objeto ou bem descartado resultante de atividades humanas em sociedade, a cuja destinação final se procede, se propõe proceder ou se está obrigado a proceder, nos estados sólido ou semissólido, bem como gases contidos em recipientes e líquidos cujas particularidades tornem inviável o seu lançamento na rede pública de esgotos ou em corpos d'água, ou exijam para isso soluções técnica ou economicamente inviáveis em face da melhor tecnologia disponível

Ainda de acordo com esta Lei, os resíduos sólidos são classificados em duas classes, conforme o grau de periculosidade; a Classe I referente aos resíduos perigosos e a Classe II aos resíduos não perigosos. Esta última ainda é dividida em outras duas subclasses, uma que engloba os resíduos inertes e outra que abrange os resíduos não inertes.

De Moura et al. (2020) relatam que, segundo a Agência Estadual de Meio Ambiente (CPRH) do Estado de Pernambuco, o lodo proveniente das lavanderias têxteis é considerado um resíduo não perigoso (Classe II). Entretanto, Souto (2017) afirma que o lodo pode ser classificado como perigoso (Classe I), não perigoso não-inerte (Classe II A) ou não perigoso inerte (Classe II B), isto porque o lodo pode apresentar diferentes características, de acordo com os elementos que o compõem. Segundo a autora, após a realização de testes ecotoxicológicos em amostras de lodo provenientes de lavanderias têxteis, há argumentos suficientes para classificar este resíduo como Classe I.

Independente da tipologia do resíduo, a partir da aprovação da PNRS, todos se tornaram responsáveis pela gestão adequada dos resíduos gerados, como pode ser observado no parágrafo 1º do Art. 1º desta Lei, o qual afirma que estão sujeitas à observância desta legislação

peças físicas ou jurídicas, de direito público ou privado, responsáveis, direta ou indiretamente, pela geração de resíduos sólidos e as que desenvolvam ações relacionadas à gestão integrada ou ao gerenciamento de resíduos sólidos. (BRASIL, 2010, Art. 1º).

No Art. 25, a Lei determina que o poder público, o setor empresarial e a coletividade estão incumbidos de garantir o cumprimento da PNRS, assim como as diretrizes e demais deliberações presentes nesta política (BRASIL, 2010). Desde o estabelecimento da Lei, planos e ações vêm sendo adotados por parte das esferas estaduais e municipais, objetivando assegurar a execução da legislação, de modo que ocorra um trabalho integrado entre o poder público e privado que vise à gestão ambientalmente adequada dos resíduos sólidos produzidos em seus territórios. Deste modo, as legislações estaduais e municipais contribuem para a execução da PNRS, visando “do micro para o macro, buscar solução para as questões desafiadoras dos resíduos sólidos, cada vez mais abundantes na produção industrial e na sociedade de consumo” (PEREIRA, 2017, p. 46).

## 2.5. Lodo têxtil

Durante o processo de tratamento de efluentes industriais advindos das lavanderias têxteis, as estações de tratamento geram grande quantidade de resíduos sólidos, denominados de lodos têxteis (VIOTTO et al., 2019). Estes resíduos consistem num material semissólido, composto de matéria orgânica e inorgânica, podendo conter também metais pesados como cádmio, cobre, cromo, chumbo, níquel, além de alumínio, ferro, zinco e manganês (COGO, 2011).

O volume de lodo gerado varia de acordo com a eficiência do sistema de tratamento de efluente e dos métodos utilizados. Apesar de haver diferentes processos de tratamentos dos efluentes têxteis, os lodos gerados apresentam aspectos similares, como alto teor de umidade e a presença predominante de alumínio, sódio, ferro e silício. A concentração elevada de ferro e alumínio ocorre devido ao tipo de coagulante utilizado, podendo ser sulfato de alumínio ou sulfato de ferro, durante o tratamento do efluente (COLANZI, 2002).

## 2.6. Bioacumulação e Biomagnificação

A preocupação com o alto nível de metais pesados no meio ambiente advém da capacidade destes encontrarem-se retidos no solo, solubilizar-se na água, podendo atingir o lençol freático, e serem absorvidos pelas plantas e outros seres vivos, entrando na cadeia alimentar (AUGUSTO et al., 2014).

A bioacumulação é um termo geral que descreve um processo pelo qual substâncias e/ou produtos químicos são absorvidos e armazenados num organismo. Este processo pode ocorrer de dois modos, de forma direta ou indireta. Denomina-se forma direta quando os organismos assimilam as substâncias a partir do contato com o meio ambiente contaminado (solo, sedimento, água e ar). Já de forma indireta, a contaminação ocorre através do contato com recursos alimentares que contenham o produto químico, sendo este um alimento (CACCIAMALI et al., 2022). A partir da bioacumulação, os organismos adquirem contaminantes mais rapidamente do que seus corpos são capazes de eliminar (MANKES; SILVER, 2016), face à existência de estruturas celulares que fazem o armazenamento de substâncias.

Quando se trata do aumento da concentração química em um organismo aquático em comparação com a água, ou seja, quando as concentrações no organismo

são mais elevadas que a do ambiente circundante, têm-se a bioconcentração (VOUTSAS et al., 2002).

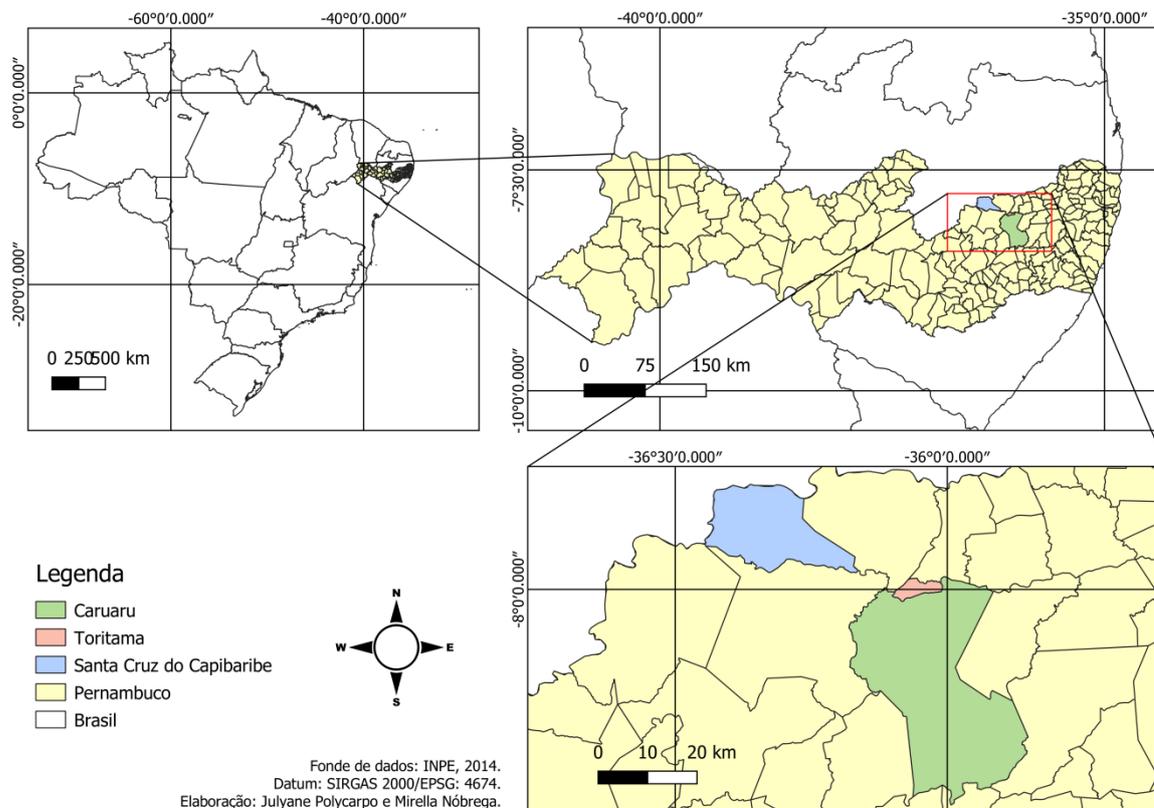
Os organismos que bioconcentram e bioacumulam elementos químicos podem ser utilizados como indicadores da qualidade ambiental. Entretanto, existe a preocupação com a biomagnificação, também chamada de magnificação trófica. Neste caso, os metais pesados ou demais substâncias acumulam-se nos tecidos dos organismos aquáticos, ao longo da cadeia alimentar, atingindo as plantas e, sucessivamente, os consumidores secundários e terciário, até o topo da pirâmide trófica, contaminando assim todos os organismos com elementos tóxicos (SHAH et al., 2020). Portanto, alternativas que impeçam o descarte incorreto desses elementos químicos e estudos que visem à retirada desses produtos da natureza são de extrema urgência para o meio ambiente, visando a qualidade de vida dos organismos vivos.

#### **4. METODOLOGIA**

##### **3.1. Caracterização da área de estudo**

O presente trabalho tem como objeto de estudo os municípios de Caruaru, Toritama e Santa Cruz do Capibaribe, pertencentes ao Arranjo Produtivo Local (APL) Têxtil do Agreste Pernambucano (Figura 5). A seleção destes municípios ocorreu devido à representatividade que os mesmos têm dentro do APL, correspondendo a 77% do Produto Interno Bruto (PIB), de acordo com informações do Serviço Brasileiro de Apoio às Micro e Pequenas Empresas (SEBRAE, 2012).

**Figura 5 - Localização Caruaru, Toritama e Santa Cruz do Capibaribe no mapa do estado de Pernambuco**



Fonte: Autora (2021)

Os Arranjos Locais Produtivos (APL) são definidos como conjuntos de empresas, com agentes econômicos, políticos e sociais ligados a um mesmo setor ou atividade econômica, ambicionando promover benefícios econômicos e sociais na região em que se encontra (SOUZA; BEZERRA; GONÇALVES, 2020). O APLCAPE engloba dez municípios, - que atuam na confecção de peças de vestuários visando atender vários estados do Brasil – sendo estes, Agrestina, Brejo da Madre de Deus, Caruaru, Cupira, Riacho das Almas, Santa Cruz do Capibaribe, Surubim, Taquaritinga do Norte, Toritama e Vertentes.

Estima-se que o arranjo seja constituído por 18.803 empresas e empreendimentos complementares, os quais são divididos em pequeno, médio e grande porte, cujo porte é definido mediante a capacidade de produção, a área útil ocupada e o número de funcionários, conforme a Lei nº 14.549 (PERNAMBUCO, 2011). As empresas de médio porte apresentam uma produção entre 3.001 e 5.000 unidades/dia, área útil de 3.001 e 10.000 m<sup>2</sup> e entre 50 a 99 empregados. Por fim, as empresas de

grande porte possuem uma produção de 5.001 a 10.000 unidades/dia, área útil entre 10.001 a 15.000 m<sup>2</sup> e acima de 99 funcionários (DA SILVA FILHO et al., 2021).

Em regiões semiáridas, como é o caso do Agreste pernambucano, atividades econômicas com um consumo relativamente menor de água – como confecções – são de extrema importância, devido às secas que ocorrem nessas regiões. Enquanto outras atividades possuem um baixo rendimento nestes períodos, as produções do APLCAPE não apresentam baixas. Um indicador da importância do APL é a taxa de crescimento demográfico, que entre 2000 e 2009 apresentou um aumento de 27% da população total dos dez municípios, crescendo 2,2 vezes mais rapidamente que o Brasil e 2,4 vezes mais rapidamente que o Nordeste. Já o Produto Interno Bruto (PIB) cresceu 56%. Essa expansão demográfica indica um desempenho econômico positivo, uma vez que a população tende a migrar para regiões que podem lhe oferecer melhores oportunidades (SEBRAE, 2012).

### **3.2. Caracterização do ciclo produtivo do APL e do lodo têxtil**

A compreensão se deu através do levantamento de dados secundários, advindos de livros, artigos, dissertações, teses e sites oficiais do governo. O trabalho de Lorena (2018) foi utilizado para compreensão dos riscos causados pelas lavanderias de destonagem de jeans, onde a autora utilizou da Matriz GUT para determinar o grau de prioridade de cada risco listado. A Matriz GUT é uma ferramenta de gestão da qualidade criada por dois estudiosos, Charles H. Kepner e Benjamin B. Tregoe, focada na resolução de questões urgentes (BASTOS, 2014).

A caracterização também ocorreu a partir de dados secundários, devido à existência de trabalhos recentes na área que tratam dos dados necessários para a presente pesquisa. Deste modo, foi utilizado o trabalho de Silva (2018) como base para caracterizar o lodo, por este trabalho apresentar dados mais completos diante do objetivo da presente pesquisa e por ainda ser recente. Além disto, optou-se focar nos metais pesados presentes em comuns com o trabalho de Silva (2016), intitulado “Modelo de Gestão Ambiental para Reúso de Águas de Lavanderias do Agreste de Pernambuco”.

Em seu trabalho, Silva (2018), analisou 4 amostras de lodos provenientes do APL, determinando os metais presentes. Primeiramente, foram coletados 2 kg de lodo de 4 estações de tratamento diferentes, diretamente do leito de secagem. Antes de secar

foi realizado um pré-tratamento para retirada de restos de tecidos grudados. Após isto, o lodo ficou em uma estufa a 60°C até a secagem total. Para determinar a concentração dos metais presentes no lodo, foi realizada uma mistura para a extração. Esta consistiu em uma extração ácida, com ácido fluorídrico e água régia, que é a mistura dos ácidos clorídrico e nítrico, sendo em volume, três partes do primeiro para uma parte do segundo. Para preparar a mistura para as extrações Silva (2018, p. 40) seguiu os seguintes passos:

1. Preparar uma solução de água régia na proporção 1:3 (v/v) de HNO<sub>3</sub> e HCl;
2. Pesquisar cerca de 0,200 g do resíduo e colocar em frasco de Teflon. Adicionar 0,5 mL de água régia e 3 mL de ácido fluorídrico. Colocar o sistema em uma chapa de aquecimento e esperar até que o volume seja reduzido significativamente, ou seja, até que a amostra esteja solubilizada;
3. Retirar o sistema da chapa e esperar esfriar (em banho maria);
4. Adicionar 10 mL de água, 5 mL de H<sub>3</sub>BO<sub>3</sub> 4% e 1 mL de HCl concentrado (fumegante) e levar o sistema novamente ao aquecimento até a solução adquirir um aspecto límpido;
5. Resfriar o sistema e transferir para um balão volumétrico de 100 mL completando o volume. Ao realizar a prática, deve-se tomar o cuidado de utilizar os balões volumétricos o mais breve possível para evitar a solubilização do silício, proveniente do vidro, devido à utilização do ácido fluorídrico e, utilizar recipiente de plástico para o armazenamento do extrato.

Para determinação dos elementos, no extrato da digestão ácida, foi utilizado um espectrofotômetro de absorção atômica.

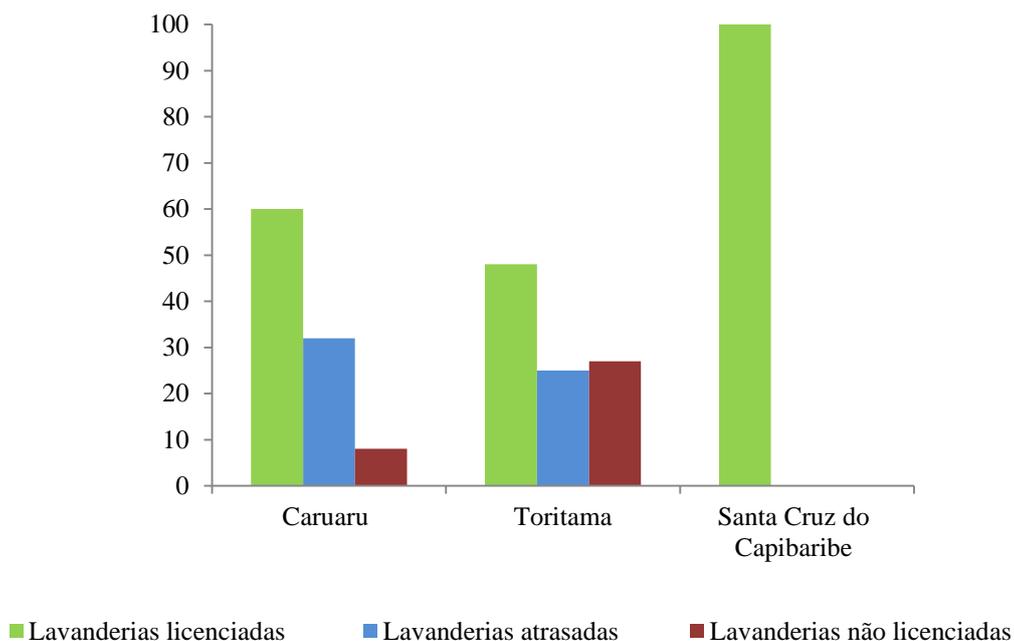
## **5. RESULTADOS E DISCUSSÃO**

### **4.1. Compreensão do APL**

De acordo com dados levantados por Alves e Lima (2022), a respeito das lavanderias da área em estudo, pôde-se observar que Santa Cruz do Capibaribe é a única cidade que apresenta todas as suas lavanderias licenciadas. Em seguida, Caruaru aparece com mais da metade de duas lavanderias licenciadas. Apesar do número de lavanderias não licenciadas serem de apenas 8%, deve-se prestar atenção ao número de lavanderias com licenciamento em atraso, ou seja, lavanderias com licença vencida, que chegou a 32%. Por fim, Toritama aparece com 48% de suas lavanderias licenciadas e

ainda apresenta 27% de lavanderias não licenciadas (Figura 6). Vale ressaltar que Caruaru, seguida de Toritama, apresenta muito mais lavanderias do que a cidade de Santa Cruz do Capibaribe, o que explica a maior facilidade desta última a obter 100% de lavanderias licenciadas.

**Figura 6** – Licenciamento das lavanderias da indústria têxtil em Santa Cruz do Capibaribe, Caruaru e Toritama



Fonte: Adaptado de Alves e Lima (2022)

Mesmo estando licenciada, uma lavanderia pode ocasionar diversos riscos ao meio ambiente, às pessoas que moram nas redondezas e aos trabalhadores que estão inseridos nesta indústria. Deste modo, Lorena et al. (2018) realizaram uma listagem desses riscos, analisando-os a partir da ferramenta Matriz GUT (Quadro 1).

**Quadro 1** - Lista de riscos das lavanderias de destonagem de jeans, por grau de prioridade

Etapa do processo	Risco (efeito)	G	U	T	Prioridade
Lavagem	Contaminação de corpos hídricos por poluição do efluente por carregamento de metais pesados	3	3	2	18
Lavagem	Doenças dermatológicas e doenças diversas por contato dos químicos por pessoal não atuante de processo	3	4	4	48
Lavagem	Queda de pessoal	2	4	3	24
Lavagem, Secagem e ETE	Desperdício de energia	1	2	2	4
Lavagem	Contaminação de solo por destinação inadequada de resíduos perigosos	3	3	2	18
Lavagem e Secagem	Corte ou perda de membros	5	4	5	100
Lavagem, Secagem, ETE e Passagem das peças	Choque elétrico	4	4	4	64
Lavagem	Contaminação de águas subterrânea ou solo	2	3	2	12
Lavagem	Contaminação de corpos hídricos e solo	3	3	2	18
Lavagem e Secagem	Contaminação de solo e águas por destinação inadequada de resíduos perigosos	2	3	2	12
Secagem e ETE	Queda de pessoal	3	4	3	36
Secagem	Contaminação de solo por destinação inadequada de resíduos perigosos	3	3	2	18
Secagem e ETE	Contaminação de corpos hídricos e solo	3	3	2	18
ETE	Contaminação de corpos hídricos por poluição do efluente por carregamento de metais pesados	3	3	2	18
ETE	Contaminação de solo por destinação inadequada de resíduos perigosos	3	3	2	18
Lavagem e ETE	Doenças dermatológicas e doenças diversas por contato dos químicos	2	4	4	32
ETE e Acabamento	Contaminação de solo e águas por destinação inadequada de resíduos perigosos	2	3	2	12
Leito de secagem	Contaminação de solo e águas por percolação de líquidos	2	3	2	12
Leito de secagem, Acabamento e Geração de vapor	Contaminação de solo	2	3	2	12
Acabamento	Corte ou perda de membros	3	4	5	60
Acabamento	Contaminação de corpos hídricos por poluição do efluente por carregamento de metais pesados - efeito de <i>used</i>	3	3	2	18
Acabamento	Doenças cancerígenas	5	4	4	80
Geração de vapor	Desmatamento da flora local	2	2	2	8
Geração de vapor	Contaminação do ar por emissão de gases	2	3	2	12
Geração de vapor	Contaminação do ar por emissão de gases contaminantes	3	3	3	27
Geração de vapor	Queimaduras graves	5	4	5	100
Geração de vapor	Desconforto térmico	3	3	2	18
Geração de vapor e Toda a fábrica	Queimaduras de leve a média	3	3	2	18
Geração de vapor	Desconforto térmico	2	3	2	12
Geração de vapor	Provocar ilha de calor	2	2	2	8
Geração de vapor	Danos materiais e humanos	5	5	5	125
Geração de vapor	Choque elétrico	4	4	5	80
Passagem das peças	Queimaduras leves a médias	3	3	3	27
Toda a fábrica	Queda por desnível	2	3	2	12

Fonte: Lorena et al. (2018)

É possível observar que metais pesados aparecem mais de uma vez na lista de prioridade, comprovando ser um risco para o meio ambiente e consequentemente para o ser humano.

#### 4.2. Caracterização do lodo têxtil

De acordo com o trabalho de Silva (2016), realizado nas lavanderias do Agreste de Pernambuco, foram detectados nos efluentes têxteis a presença de Cádmio (Cd), Chumbo (Pb), Cobre (Cu), Cromo (Cr), Ferro (Fe), Manganês (Mn), Níquel (Ni) e

Zinco (Zn). Como o lodo têxtil é um produto da secagem do efluente têxtil, estes metais podem estar presentes nos mesmos.

Já no trabalho de Silva (2018), além destes metais pesados, em suas amostras de lodo têxtil foram encontrados outros elementos, como Alumínio (Al), Arsênio (As), Boro (B), Cobalto (Co), entre outros (Tabela 2). Na presente pesquisa, optou-se por debater sobre os metais pesados presentes em ambos os trabalhos, visto que são os mais comumente encontrados no polo têxtil em estudo.

**Tabela 2** - Resultados obtidos para as amostras de lodo

Amostras de Lodo	Concentração de Metais						
	Chumbo (ppm)	Cobre (ppm)	Cromo (ppm)	Ferro (%)	Manganês (%)	Níquel (ppm)	Zinco (ppm)
Amostra 1	18	110	28	0,32	0,03	17	121
Amostra 2	39	133	12	0,19	0,01	9	47
Amostra 3	14	620	71	2,06	0,15	33	143
Amostra 4	12	463	16	0,8	1,13	15	93

Fonte: Adaptado de Silva (2018)

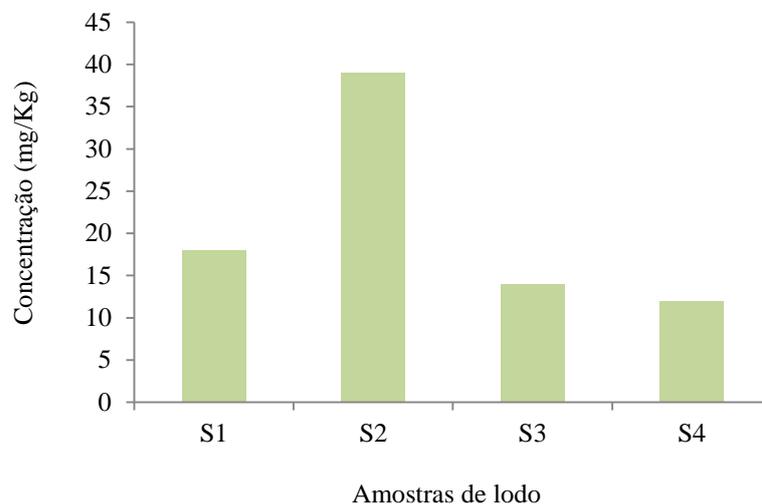
#### 4.2.1. Chumbo

O Chumbo (Pb) é um metal pesado, de número atômico 82, densidade de  $11,29 \text{ g.cm}^{-3}$  e de coloração branco azulada. Através das práticas antropogênicas esse metal contamina os solos, as águas e, conseqüentemente, as plantas e os seres vivos. Há uma grande preocupação com o chumbo, pois ele apresenta uma alta capacidade cumulativa, sendo assim, um dos poluentes mais perigosos para o meio ambiente (LOZI, 2019; LIMA et al., 2020). De acordo com a ATSDR (2022), o Chumbo é a segunda substância mais perigosa, apresentando uma grande ameaça para a saúde humana e para o meio ambiente de acordo com seu grau de toxicidade.

A Legislação Brasileira, através da Resolução Conama nº 430 de 13 de maio de 2011 (CONAMA, 2011), determina que as atividades industriais geradoras de efluentes não podem lançar valores de chumbo superiores a  $0,5 \text{ mg.Kg}^{-1}$ , uma vez que a partir desse limite os valores são considerados tóxicos. Como observa-se, nos dados tratados por Silva (2018), no lodo têxtil os valores de Chumbo chegaram a  $39 \text{ mg.Kg}^{-1}$  (Figura 7), em sua amostra mais contaminada. Um valor alarmante se comparado ao determinado pelo Conama para efluentes, uma vez que os lodos têxteis são resultantes

destes efluentes, indicando a contaminação dos mesmos. Neste caso, para diluir esse lodo para chegar no valor determinado pelo Conama, seriam necessários 7,8 L de água.

**Figura 7** - Concentração de Chumbo (Pb) nas amostras de lodo



Fonte: Adaptado de Silva (2018)

De acordo com o GRX (2023), o Chumbo tem ampla aplicação na fabricação de acumuladores, na fabricação de forros para cabos, sendo também um elemento de construção civil, na composição de pigmentos, soldas suaves, munições, revestimento com lençol de chumbo em proteção radiológica, blindagens em radioterapia e medicina nuclear (NAWAZ; LINKE; KOÇ, 2019). Entretanto, visto as regulamentações ambientais cada vez mais restritivas no mundo, a fabricação de chumbo tetra etílico (TEL), especialmente por ser aditivo na gasolina, combustível que é emissor de gases do efeito estufa (LACERDA et al., 2023). No caso do Brasil, desde 1978 este aditivo deixou de ser usado como antidetonante. Este elemento químico é resistente ao ataque de muitos ácidos, sendo usado para a fabricação e manejo do ácido sulfúrico.

O chumbo também é empregado como manta protetora para os aparelhos de raio-X e raios gamma, fato que vem elevando tal aplicação visto diversos usos da energia atômica tanto em tratamentos e exames médicos como em outros setores, como atividades radiológica. Tais radiações advindas de equipamentos são capazes de atingir as células humanas, causar mutações gênicas, trazendo assim riscos para pacientes e operadores. O chumbo confere alta densidade e alto número atômico, tornando muito estável frente a radiação ionizante, sendo um dos materiais mais empregados no setor da

saúde para proteção radiológica conforme Portaria Federal 453/1998 (MINISTÉRIO DA SAÚDE, 1998). Além do lençol de chumbo, as vestimentas plumbíferas como aventais de chumbo ou plumbíferos, protetor de tireoide, protetores de gônadas, saias e blusas plumbíferas também são bastante utilizadas em universidades, laboratórios, hospitais, clínicas que utilizem equipamentos de raios x diagnósticos.

Também assinala-se a aplicação deste metal no forro para cabos de telefone e de televisão, visto a ductilidade única do chumbo. O uso de chumbo em pigmentos tem sido muito importante, porém a sua utilização tem diminuído muito. O pigmento, que contém este elemento, é o branco de chumbo e tons de amarelo; além do sulfato básico de chumbo e os cromatos de chumbo (ZAMANI; EAVANI; RAFIEE, 2021).

Os silicatos, os carbonatos e os sais de ácidos orgânicos, que são derivados do chumbo, são usados como estabilizadores contra o calor e a luz para os plásticos de cloreto de polivinila (PVC), para a fabricação de vidros e cerâmicas, detonador padrão para os explosivos e inseticidas para a proteção dos cultivos (LUO et al., 2022). O litargírio (óxido de chumbo) é muito empregado para melhorar as propriedades magnéticas dos ímãs de cerâmica de ferrita de bário.

Apesar dos benefícios há uma preocupação quanto em especial com este elemento, uma vez que o Chumbo não apresenta função nos sistemas biológicos, assim, sua presença é apenas tóxica aos seres vivos. De acordo com Assi et al. (2016), a exposição a esse metal pode causar diversos danos ao organismo, como aos sistemas homeopático, esquelético, urinário, nervoso, reprodutivo, entre outros prejuízos ao corpo humano.

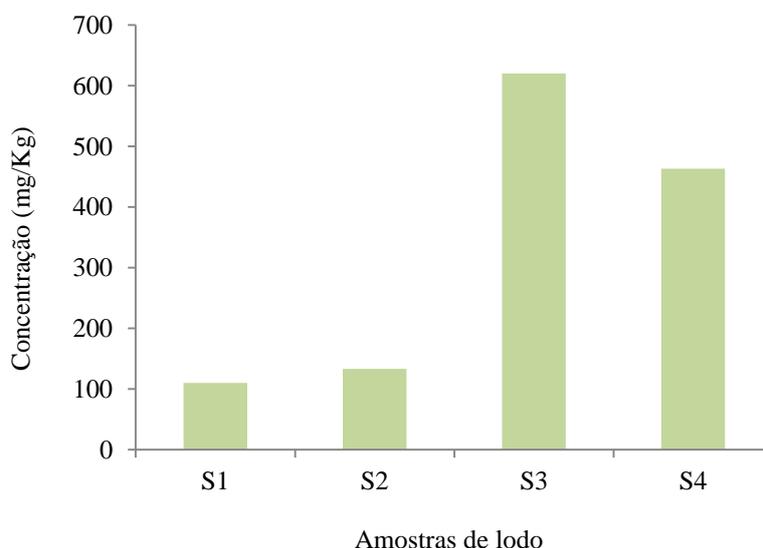
#### **4.2.2. Cobre (Cu)**

O Cobre (Cu) encontra-se no grupo 11 da tabela periódica, conhecido como grupo dos metais de cunhagem. Apresenta número atômico 29 e massa específica  $63,6 \text{ g.mol}^{-1}$ . É conhecido pela civilização e usado pela mesma há mais de seis mil anos, sendo especialmente utilizado em sua forma metálica e como componentes de ligas especiais (SILVA et al., 2019). “O cobre também é usado na agricultura, no tratamento da água no controle de algas, na preservação de madeira, couro e tecido e como aditivo em alimentos” (CESTEB, 2022, p.1). Vale ressaltar, que na última década, aproximadamente 35% de todo o cobre consumido anualmente são advindos de fontes recicláveis, afirma a Associação Brasileira do Cobre (ABCOBRE, 2023).

De acordo com a ATSDR (2022), o cobre aparece em 120º dentre as substâncias com maior toxicidade e que apresenta risco à saúde humana e ao meio ambiente, reforçando o que foi dito anteriormente em relação a este metal possuir baixa toxicidade.

A Legislação Brasileira, através da Resolução Conama nº 430 de 13 de maio de 2011 (CONAMA, 2011), determina que as atividades industriais geradoras de efluentes não devem lançar valores de cobre dissolvido superiores a  $1 \text{ mg.Kg}^{-1}$ , já que valores superiores a esse são de risco à saúde humana e ao meio ambiente. No trabalho de Silva (2018), o cobre foi o elemento de maior concentração, com valores variando de 110 a  $620 \text{ mg.Kg}^{-1}$  (Figura 8).

**Figura 8** - Concentração de Cobre (Cu) nas amostras de lodo



Fonte: Adaptado de Silva (2018)

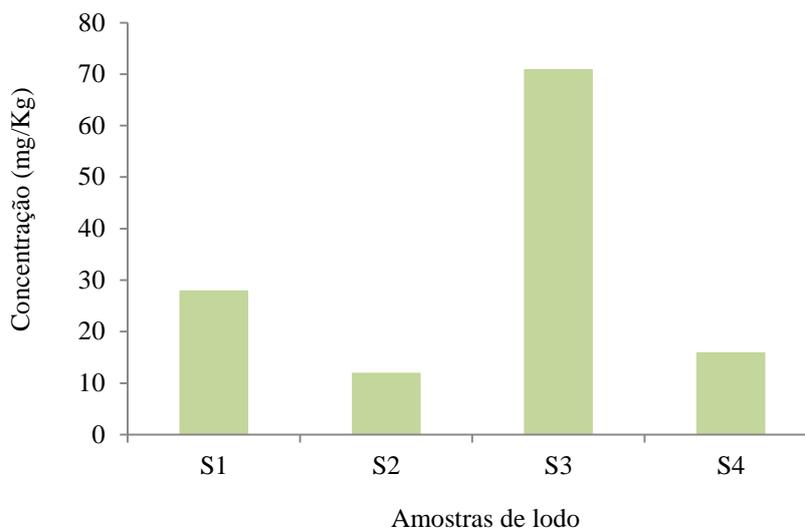
Estes altos valores são indicativos de alta concentração desse metal nos efluentes do APL, mostrando o risco ambiental causado por esta indústria. Considerando o valor de maior concentração encontrado nas amostras ( $620 \text{ mg.Kg}^{-1}$ ), seriam necessários 620 L de água para diluir esse metal pesado até atingir o valor estipulado pelo Conama, deixando em evidência como essa concentração presente neste lodo é alta.

O Cobre é essencial para muitas funções fisiológicas e bioquímicas e, comparado a outros elementos, os sais desse metal possuem baixa toxicidade, além de ser barato, o que facilita seu uso. Entretanto, em grandes quantidades e dissociado no corpo humano produz superóxido, danificando as proteínas e a cadeia de DNA (CHERFI et al., 2014; SILVA et al., 2019).

### 4.2.3. Cromo (Cr)

O Cromo (Cr) é o sétimo metal mais abundante no meio ambiente, possui número atômico 24, massa atômica  $51 \text{ g.mol}^{-1}$ , com estados de oxidação variando de -2 a +6, sendo mais comuns os estados +2, +3 e +6, que variam em suas propriedades físico-químicas (SOUTO, 2017; LOZI, 2019). Cromo compõe o ferrocromo, a eletroplatina, bem como na produção de pigmentação e em curtimentos (DESMICA et al., 2003), além da produção de aço inoxidável, que apresenta aproximadamente 8% deste metal. Em um segundo plano esse elemento é usado no processamento de refratários, de modo a obter-se tijolos de cromo, assim como nos processos químicos para produção de ácidos de cromo e cromatos (KLUSÁKA et al, 2023). O uso do Cromo na metalurgia se dá visando aumentar a resistência do material à corrosão, em vista de dificilmente oxidar, e para proporcionar um acabamento brilhante (ZENG et al., 2023), assim como em processos de cromagem, ou seja, na deposição sobre uma peça metálica de uma camada protetora de cromo, através da eletrodeposição (AKHTAR et al., 2022).

Dentre os estados do Cromo, o hexavalente (Cromo (VI)) é o que apresenta maiores riscos ao ser humano e ao meio ambiente, aparecendo em décimo sétimo lugar na lista de toxicidade da ATSDR (2022). De acordo com a Resolução Conama nº 430 de 13 de maio de 2011 (CONAMA, 2011), as atividades industriais geradoras de efluentes não podem lançar valores de Cromo Hexavalente superiores a  $0,1 \text{ mg.L}^{-1}$  e de Cromo Trivalente superiores a  $1 \text{ mg.L}^{-1}$ ; evidenciado como o Cr (VI) é muito mais tóxico que o Cr (III). Nas amostras de lodo de Silva (2018), a concentração de Cromo variou de 12 a  $71 \text{ mg.Kg}^{-1}$  (Figura 9), valores altos considerando os riscos que este metal representa. Analisando o valor mais alto encontrado nas amostras, seriam necessários 710 L de água para diluir o lodo até o valor máximo permitido pelo Conama, se o Cromo analisado na amostra se tratar de Cr (VI), uma quantidade bastante expressiva. Se tratando de Cr (III) esse valor cai para 71 L de água.

**Figura 9** - Concentração de Cromo (Cr) nas amostras de lodo

Fonte: Adaptado de Silva (2018)

Além de poder ser detectado em resíduos sólidos industriais, o Cr (VI) também se encontra nos efluentes onde, de acordo com Moreira e Bueno (2019), pode ser transportado por grandes distâncias devido à alta solubilidade, possibilitando a contaminação do lençol freático e de outras fontes de água. Ainda de acordo com os autores, em relação à toxicidade, o metal tem ação e corrosiva no ser humano, indo de irritação das vias aéreas a potencial cancerígeno. Já o Cr (III) é um micronutriente essencial ao ser humano atuando em funções indispensáveis ao organismo; mas podendo tornar-se tóxico de acordo com a concentração presente (LOZI, 2019).

#### 4.2.4. Ferro (Fe)

O Ferro (Fe) é um metal de transição, pertencente ao grupo 8 da tabela periódica. Possui número atômico 26, massa molar  $55,845 \text{ Kg.mol}^{-1}$  dureza  $7874 \text{ g.mol}^{-1}$  e cor cinza prateado. É o quarto elemento mais abundante do planeta Terra, e entre os metais apenas o alumínio é mais abundante. O Ferro é o metal mais amplamente utilizado, correspondendo a mais de 90% da produção mundial de metal. Isso ocorre devido seu baixo custo e sua alta resistência. Devido a esses fatores, este metal é utilizado em diversos setores, como eletrônicos, manufatura, automotivo e construção civil (SOUTO, 2017).

De acordo com a Resolução Conama nº 430 de 13 de maio de 2011 (CONAMA, 2011), as atividades industriais geradoras de efluentes não podem lançar valores de

ferro dissolvido superiores a 15mg/L, onde a partir desse limite os valores são considerados tóxicos. Na pesquisa de Silva (2018), uma das amostras apresentou mais de 2% de Ferro considerando seu volume total da amostra. Entretanto, também houve amostra com taxa de concentração muito baixa, onde o Ferro compôs apenas 0,19% do volume total da amostra (Figura 10).

**Figura 10** - Concentração de Ferro (Fe) nas amostras de lodo



Fonte: Adaptado de Silva (2018)

De acordo com Tavares (2021), o Ferro é um nutriente essencial não só ao ser humano, como também é um micronutriente essencial para as plantas, e a carência desse elemento afeta principalmente os países subdesenvolvidos. De acordo com Grotto (2010, p.8), o ferro funciona de forma vital para a homeostase celular e “A sua habilidade em aceitar e doar elétrons o torna imprescindível para diversas reações biológicas.”. Entretanto, assim como outros elementos, o excesso desse metal também é prejudicial à saúde e ao meio ambiente, podendo causar problemas cardíacos e hepáticos. Lançamentos de efluentes com uma grande carga de ferro destacam-se como uma das fontes de contaminação do meio ambiente por esse elemento, assim como atividades de mineração, soldagem, polimentos de metais, entre outros (LIMA; PEDROZO, 2001).

#### 4.2.5. Manganês (Mn)

O Manganês (Mn) é um metal de transição cinza claro, pertencente ao grupo 6 da tabela periódica. Seu número atômico é 25, sua massa molar corresponde a 54,938 g.mol<sup>-1</sup> e sua densidade é 7,470 g.cm<sup>-3</sup>. Este não ocorre em sua forma pura/elementar, mas sim combinado com outras substâncias, como oxigênio, enxofre e cloro. O manganês inorgânico, que é retirado de rochas, é usado em ligas metálicas. Já o Permanganato de Potássio é usado como oxidante, branqueador e no tratamento de doenças da pele. Em forma orgânica, o metal é utilizado em fungicidas e inibidores de fumaça. Também há o composto orgânico tricarbonil metilciclopentadienil manganês (TMM), é um líquido volátil de coloração laranja, insolúvel em água, usado como aditivo na gasolina nos Estados Unidos e Canadá, como assinala relatório da Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (CETESB, 2012).

De acordo com a ATSDR (2022), o manganês aparece em 143<sup>o</sup> dentre as substâncias com maior toxicidade e que apresente risco à saúde humana e ao meio ambiente, em uma lista de 275 substâncias. De acordo com a Resolução Conama n<sup>o</sup> 430 de 13 de maio de 2011 (CONAMA, 2011), as atividades industriais geradoras de efluentes não podem lançar valores de manganês dissolvido superiores a 1mg.L<sup>-1</sup>, onde a partir desse limite os valores são considerados tóxicos. No trabalho de Silva (2018), o Manganês foi um dos metais que apresentou menor concentração em todas as amostras, apresentando apenas 0,01% em sua amostra com menor concentração (Figura 11). Indicando que este metal não apresenta um problema alarmante no lodo do APL em estudo.

**Figura 11** - Concentração de Manganês (Mn) nas amostras de lodo

Fonte: Adaptado de Silva (2018)

O Manganês é um nutriente essencial para grande parte dos organismos vivos, incluindo os seres humanos. Em pequenas quantidades contribui nos processos reprodutivos, manutenção da estrutura óssea e funcionamento do sistema nervoso. Mas em altas concentrações, este pode causar, ao ser humano, sintomas como tosse, náusea, cefaleia, fadiga, perda do apetite, insônia e inflamação nos pulmões que podem levar a pneumonia química. Em exposição ainda mais elevada, pode ocasionar efeitos neurológicos e neuropsiquiátricos (CETESB, 2012).

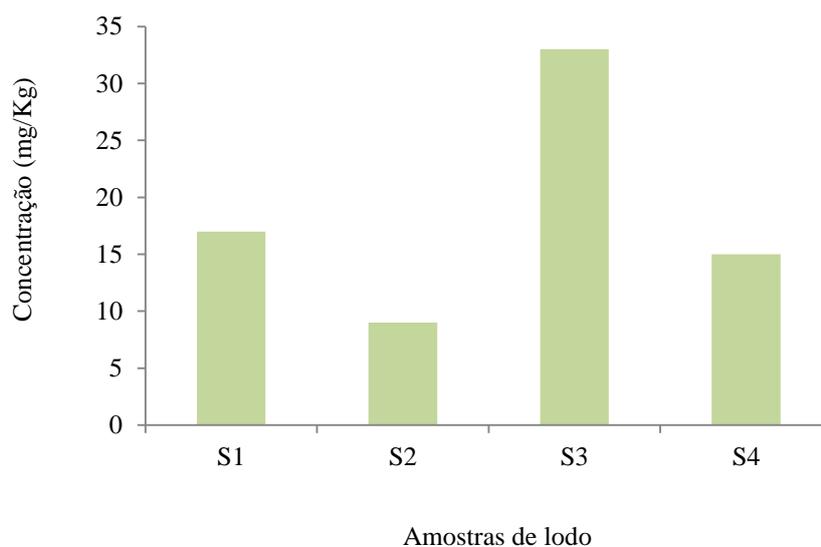
#### 4.2.6. Níquel

O Níquel é um metal branco prateado, de número atômico 28, massa molar  $58,693 \text{ g.mol}^{-1}$  e densidade  $8,5 \text{ g.cm}^{-3}$ . Em sua forma metálica é branco prateado, flexível e maleável, possuindo grande resistência à corrosão e oxidação. Além de ser insolúvel em água quente ou fria, sendo solúvel apenas em ácidos nítrico ou sulfúrico. É o 24º elemento mais abundante na crosta terrestre, sendo utilizado em larga escala, como na produção de aços inoxidáveis e na produção de ligas especiais, devido a sua resistência à ação corrosiva. (CUNHA; FILHO, 2000; GONZALES, 2016). De acordo com a Cetesb (2022), o Níquel também é utilizado em larga escala para a produção de baterias alcalinas, moedas, pigmentos inorgânicos e de próteses clínicas e dentárias. Dentre os 275 elementos presentes na Lista de Prioridades da ATSDR (2022), a qual

ordena as substâncias com maior potencial ameaçador à saúde humana e ao meio ambiente, o níquel se encontra em 57°.

Já a Legislação Brasileira, através da Resolução Conama nº 430 de 13 de maio de 2011 (CONAMA, 2011), determina que as atividades industriais geradoras de efluentes não devem lançar valores de níquel superiores a  $2\text{mg.L}^{-1}$ , já que valores superiores a esse são de risco à saúde humana e ao meio ambiente. Nas amostras de Silva (2018), a concentração de Níquel variou de 9 a  $33\text{mg.Kg}^{-1}$  (Figura 12). Valores bem superiores aos determinados pelo Conama, indicando que o efluente destas lavanderias podem estar contaminando o meio ambiente. Para expressar como esses valores são superiores, basta destacar que para diluir  $33\text{mg.Kg}^{-1}$ , a maior concentração encontrada, até atingir o valor máximo liberado pelo Conama, são necessários 16,5 L de água.

**Figura 12** – Concentração de Níquel (Ni) nas amostras de lodo



Fonte: Adaptado de Silva (2018)

Segundo dados da Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (CETESB, 2022), o Níquel está presente no solo, na água, no ar e na biosfera e encontra-se em diferentes concentrações. Ainda de acordo com a Cetesb,

Os solos agrícolas podem conter entre 3 e  $1000\text{mg/kg}$ . Os níveis naturais do metal encontrados na água doce variam de 2 a  $10\text{µg/L}$  e de 0,2 a  $0,7\text{µg/L}$  na água do mar. Níveis atmosféricos do metal em áreas remotas variam de 1 a  $3\text{ng/m}^3$ , já em áreas rurais e urbanas a concentração no ar varia de 5 a  $35\text{ng/m}^3$  (CETESB, 2022, p.1).

O Níquel encontra-se no ambiente devido tanto a fontes naturais quanto a fontes antropogênicas, circulando através dos compartimentos ambientais por meio de processos químicos e físicos, sendo também transportado biologicamente por organismos vivos. O Níquel atinge o solo, a água, o ar e, conseqüentemente, os organismos vivos, através da erosão de solos e rochas, dos lixos municipais, do descarte de efluentes industriais, entre outras atividades (CETESB, 2022).

A exposição a esse metal ocorre por inalação de ar, ingestão de água e de alimentos ou através do contato com a pele. O contato dérmico ocorre normalmente devido ao uso de bijuterias ou outros adereços que contenham o material, causando uma dermatite. Os alimentos que apresentam maiores níveis de níquel são legumes, nozes, sementes oleaginosas, ervas, especiarias e condimentos e principalmente o cacau, com níveis variando de 8 a 12 mg.kg<sup>-1</sup>. A principal forma de exposição é a respiratória, através de atividades industriais, afetando os trabalhadores com doenças benignas, como asma e fibrose, ou doenças malignas como o câncer respiratório (GONZALEZ, 2016; CETESB, 2022).

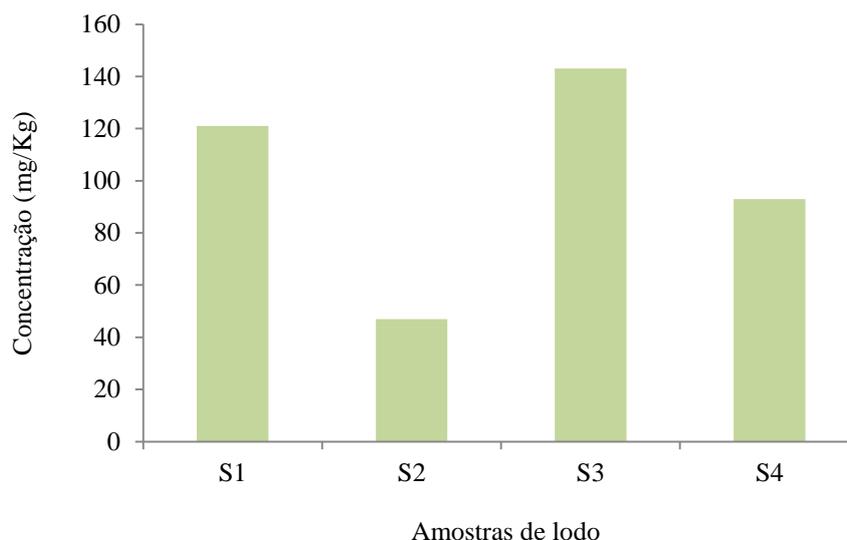
#### **4.2.7. Zinco**

O Zinco (Zn) é um metal brilhante de transição interna encontrado na crosta terrestre, podendo se combinar com outros elementos, formando assim compostos de zinco. Este apresenta número atômico 30, massa molar 65,392 g.mol<sup>-1</sup> e densidade 7,14 g.cm<sup>-3</sup> (CETESB, 2022). Este metal é muito usado na indústria automobilística, na indústria de construção civil e na de eletrodoméstico. Também é utilizado na indústria de cerâmica, borracha e tinta. E através do sulfato de Zinco, o metal também tem aplicação na indústria têxtil e no enriquecimento de solos pobres em Zinco (CESTEB, 2022). De acordo com a ATSDR (2022), o Manganês aparece em 74<sup>o</sup> dentre as substâncias com maior toxicidade e que apresenta risco à saúde humana e ao meio ambiente, em uma lista de 275 substâncias.

A Legislação Brasileira, através da Resolução Conama nº 430 de 13 de maio de 2011 (CONAMA, 2011), determina que as atividades industriais geradoras de efluentes não devem lançar valores de níquel superiores a 5mg.L<sup>-1</sup>, já que valores superiores a esse são de risco à saúde humana e ao meio ambiente. Constata-se, a partir do trabalho de Silva (2018), que o Zinco é o segundo metal com maior concentração no lodo do APL do Agreste pernambucano, variando de 47 a 143 mg.Kg<sup>-1</sup> (Figura 13). Os valores

são preocupantes, visto que indicam que os efluentes têxteis apresentam uma concentração superior ao permitido pelo Conama, colocando em risco o meio ambiente e a saúde humana. Considerando o valor mais alarmante ( $143 \text{ mg.Kg}^{-1}$ ), observa-se que para diluí-lo com o objetivo de chegar no valor indicado pelo Conama são necessários 28,6 L de água.

**Figura 13** - Teores de Zinco (Zn) nas amostras de lodo



Fonte: Adaptado de Silva (2018)

De acordo com a Cetesb (2022), a principal emissão natural do Zinco é pela erosão. Já as fontes antropogênicas são: mineração, produção de Zinco, produção de ferro e aço, corrosão de estruturas galvanizadas, combustão de carvão e outros combustíveis, eliminação e incineração de resíduos e uso de fertilizantes e agrotóxicos contendo zinco. O ser humano pode ser exposto a esse metal através do ar ambiente, da água e de alimentos. Alimentos ricos em proteínas apresentam alta concentração de zinco, enquanto grão apresentam concentrações menores. Na água, o teor pode ser maior devido à dissolução do metal em acessórios de tubulação.

Apesar do Zinco ser essencial para o organismo em pequenas quantidades, em concentrações maiores pode causar cólicas, náuseas, vômitos, anemia, danos no pâncreas e diminuição do colesterol HDL (CETESB, 2022).

#### 4.2.8. Resumo dos metais pesados

Para facilitar a compreensão acerca dos metais pesados estudados, as informações gerais e mais importantes foram agrupadas em um quadro (Quadro 2).

**Quadro 2 - Resumo dos metais em estudo**

Metais	Número atômico	Massa atômica (u)	Utilização	Malefícios
Chumbo	82	207,20	Fabricação de forros para cabos, construção civil, composição de pigmentos, soldas suaves, munições, revestimento com lençol de chumbo em proteção radiológica, blindagens em radioterapia e medicina nuclear.	Danos ao organismo, como aos sistemas homeopático, esquelético, urinário, nervoso, reprodutivo, entre outros prejuízos ao corpo humano.
Cobre	29	63,55	Essencial ao organismo, componentes de ligas especiais, tratamento de água, controle de algas, preservação de couro, madeira e tecido, aditivo em alimentos.	Em grandes quantidades e dissociado no corpo humano produz superóxido, danificando as proteínas e a cadeia de DNA.
Cromo	24	52,00	Compõe o ferrocromo, a eletroplatina, utilizado na produção de pigmentação e de aço inoxidável, usado no processamento de refratários, de modo a obter-se tijolos de cromo e aumentar a resistência do material à corrosão.	Tem ação corrosiva no ser humano, indo de irritação das vias aéreas a potencial cancerígeno.
Ferro	26	55,85	Usado em: eletrônicos, manufatura, automotiva, construção civil. Exencial ao ser humano e às plantas.	Em excesso pode causar problemas cardíacos e hepáticos.
Manganês	25	54,94	Ligas metálicas, oxidante, branqueador, tratamento de doenças de pele, aditivo na gasolina nos EUA e Canadá. É um nutriente essencial para grande parte dos organismos vivos.	Em altas concentrações, este pode causar, ao ser humano, sintomas como tosse, náusea, cefaleia, fadiga, perda do apetite, insônia e inflamação nos pulmões que podem levar a pneumonia química. Em exposição ainda mais elevada, pode ocasionar efeitos neurológicos e neuropsiquiátricos.
Níquel	28	58,69	Produção de aço inoxidável, ligas especiais, baterias, moedas, pigmentos inorgânicos, próteses clínicas e dentárias.	Asma, fibrose, câncer.
Zinco	30	65,38	Indústria automobilística, construção civil, eletrodomésticos, indústria de cerâmica, borracha e tinta, indústria têxtil, enriquecimento de solos.	Náuseas, vômitos, anemia, danos no pâncreas e diminuição do colesterol HDL.

### **4.3. Métodos de extração de metais pesados**

#### **4.3.1. Chumbo**

O minério de chumbo mais importante é a galena, que costuma aparecer em combinação com o zinco, a pirita e a prata. A concentração de chumbo presente na galena é de cerca de 87%, por isto, esse mineral é o mais utilizado para a obtenção do elemento. Para obter o chumbo metálico, que é utilizado na indústria, primeiro é realizada a britagem e a moagem do mineral, visando reduzir o tamanho das partículas. Posteriormente, para reduzir as impurezas o mineral passa por flotação e filtração. Em seguida o método de ustulação é aplicado, o qual consiste em uma queima de sulfetos. Neste método, primeiramente, se aquece o mineral em alta temperatura utilizando um fluxo de oxigênio, obtendo-se óxido de chumbo. Em seguida, ainda em alto-forno o óxido reage com o carbono, sendo reduzido a chumbo metálico fundido. Por fim, o chumbo metálico fundido é resfriado em lingotes de chumbo, pronto para ser aplicado na indústria (HOLZBACH et al., SOBRAL et al., 2012)

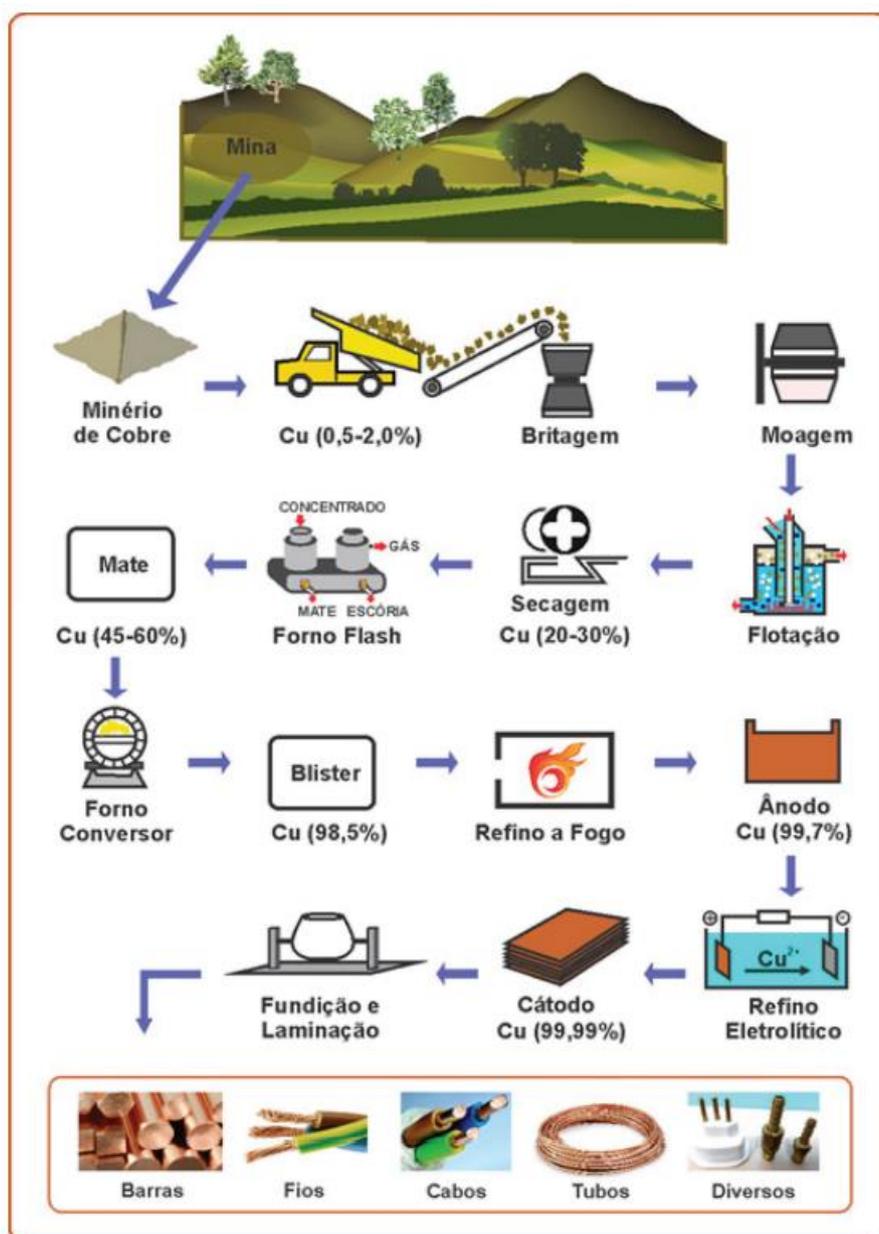
#### **4.3.2. Cobre**

A mineração de cobre se dá por lavra, podendo ser a céu aberto, subterrânea ou mista. Atualmente, 75% da produção de cobre ocorre por lavra a céu aberto. A determinação do método de lavra acontece por fatores como localização do minério, distribuição e forma do corpo do minério, profundidade e extensão do capeamento, teor do minério, características do minério, topografia, entre outros. A lavra a céu aberto envolve 5 etapas: (i) decapeamento, (ii) perfuração, (iii) detonação, (iv) carregamento e (v) transporte (GEOSCAN, 2022).

O beneficiamento de minérios sulfetados, utilizando o método de extração pirometalúrgica, é responsável por 80% da produção de cobre. Na primeira etapa do beneficiamento ocorre britagem primária, que costuma ser feita utilizando britadores giratórios. Em seguida tem-se a etapa de moagem, a qual utiliza moinho autógeno, juntamente britagem pebbles e a moagem de bolas. A flotação é feita em células de grande capacidade e o concentrado obtido nesta etapa passa por um processo de separação sólido-líquido através do espessamento e da filtração. Na pirometalurgia, primeiramente acontece a fundição do concentrado de cobre a 1400 °C em presença de

ar. Depois sílica é adicionada, auxiliando na conversão de sulfeto de ferro remanescente em óxido de ferro e posteriormente em silicato de ferro. Já o sulfeto de cobre é convertido em óxido de cobre e em seguida em cobre metálico. Depois de remover o silicato de ferro é obtido o mate com 45 a 60% de cobre e a etapa de conversão dá origem ao cobre blister com 98,5 % de pureza. Na etapa seguinte, onde ocorre um refino a fogo “cobre anódico com 99,7% de pureza, que segue para o refino eletrolítico para obtenção do cobre catódico com pureza superior a 99,99%” (Figura 14) (SILVA et al., 2019, p. 1156).

**Figura 14** - Etapas do beneficiamento do minério de cobre sulfetado da mina até o produto final

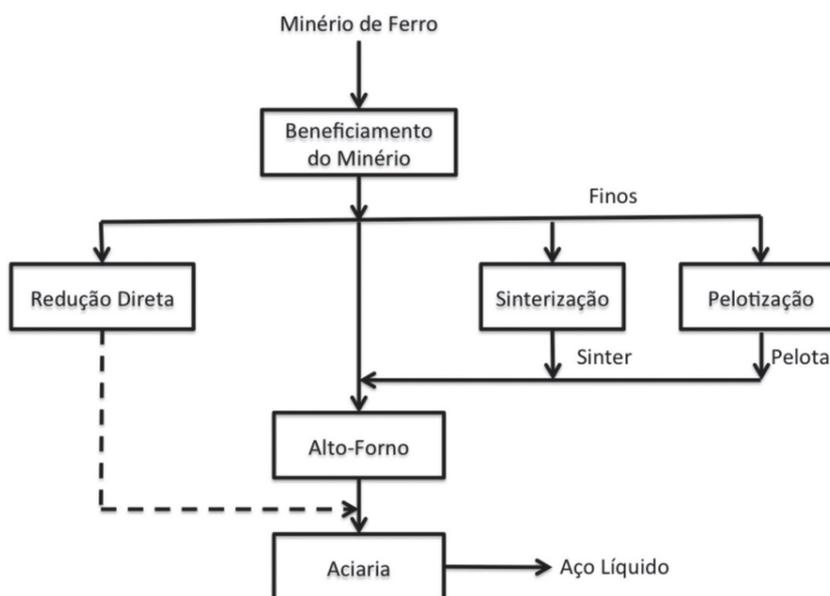


Fonte: Silva et al. (2019)

### 4.3.3. Ferro

Ao chegar às usinas, a primeira etapa do beneficiamento do ferro consiste na britagem, a qual visa reduzir o tamanho dos grandes blocos de minério. Os pedaços quebrados passam por uma peneira de até 2 centímetros e os que ficarem na peneira retornam a britadeira, objetivando obter o tamanho ideal para as etapas seguintes e para comercialização. Já nas siderúrgicas, o minério de ferro vai para fornos de altas temperaturas, juntamente com carvão e cal. Este processo produz o ferro gusa, que possui alto teor de carbono. A redução no nível de carbono que irá determinar se o ferro gusa será transformado em ligas de aço (Figura 15) ou em ferro fundido (DUARTE, 2019).

**Figura 15** - Processamento básico do minério de ferro para a fabricação de aço líquido

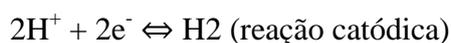


Fonte: Duarte (2019)

### 4.3.4. Manganês

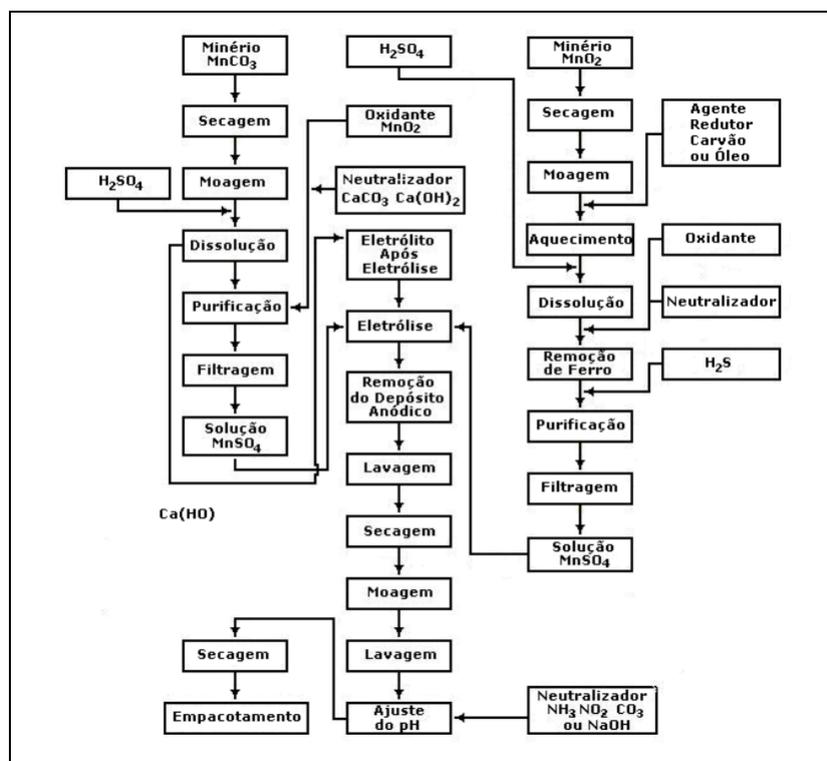
Os minérios de manganês lavrados são comumente de origem sedimentar. A lavra costuma ser a céu aberto, utilizando escavadeira mecânica, rippers, draglines, entre outros equipamentos. Para a obtenção do dióxido de manganês eletrolítico, que é muito utilizado, como por exemplo em pilhas secas, ocorre o processo de ustulação. A

extração tem normalmente a pirolusita e compreende 4 estágios: ustulação redutora, lixiviação, eletrólise e pós eletrólise (Figura 16). Na ustulação ocorre a redução parcial do dióxido natural de manganês. Já na etapa de lixiviação ocorre a dissolução do manganês, através da mistura do minério em pó com ácido sulfúrico. Na etapa de eletrólise ocorrem as reações:



Por fim, na última etapa, calcário em pó é adicionado, visando neutralizar o excesso de ácido e purificar a solução de manganês (SAMPAIO et al, 2008).

**Figura 16** - Fluxograma do processo de obtenção do EMD



Fonte: Sampaio et al. (2008)

#### 4.3.5. Níquel

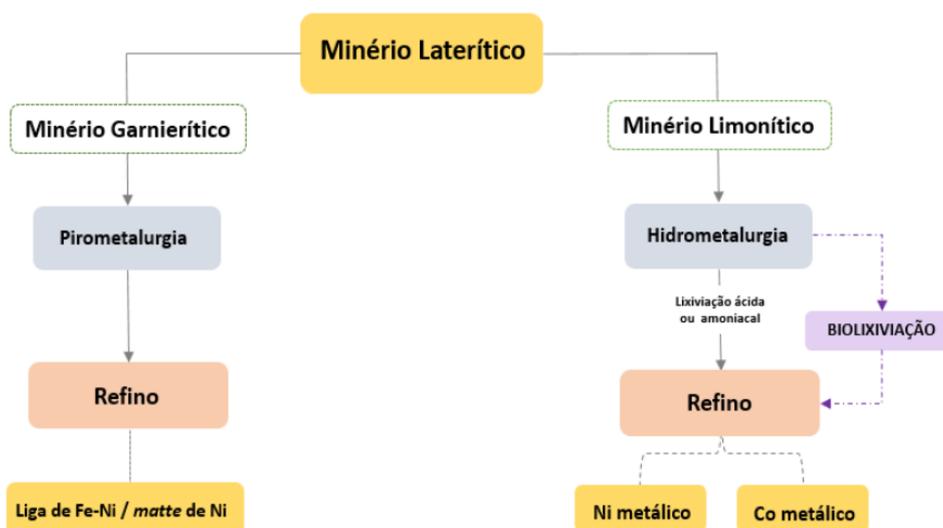
A forma de obtenção do níquel varia de acordo com as características da matéria prima, podendo ocorrer por meio dos minérios sulfetados ou por meio da extração de

minerais lateríticos. No primeiro método de extração, a primeira etapa consiste de uma flotação, que objetiva elevar o teor de níquel na matéria-prima.

Na etapa seguinte ocorre a oxidação do enxofre em fornos *flash* ou em fornos retangulares. Este processo resulta num resíduo rico em sulfetos metálicos, denominado matte. Este pode ser comercializado ou seguir para o refino. No refinamento, é utilizado ácido sulfúrico para obter uma solução de sulfatos solúveis, a qual passar por um processo de extração por solvente e eletrólise. Assim, o níquel é isolado, em sua forma metálica, no cátodo, com pureza acima de 99% (ANDRADE et al., 2000).

Já no segundo tipo de obtenção, ocorre primeiramente a moagem e floculação. Em seguida ocorre a oxidação por aquecimento e a fundição, que visa separar a fração que é rica em ferro. A fração restante, rica em níquel e cobre, é encaminhada à fabricação de ligas metálicas ou submetida ao processo de refinamento eletrolítico (Figura 17) (NASCIMENTO; GIESE; SANTANA, 2020).

**Figura 17** - Esquema simplificado de rotas de processo de minério laterítico de níquel e cobalto.



Fonte: Nascimento, Giese & Santana (2020)

#### 4.3.6. Zinco

Existem dois processos mais comuns para a extração do zinco, o processo pirometalúrgico e o processo piro-hidro-eletrometalúrgico. Este último é o processo mais utilizado do mundo, enquanto o primeiro corresponde a cerca de 20% da produção mundial. No processo pirometalúrgico, o concentrado de zinco, quando sulfetado, é

submetido a ustulação na presença de oxigênio, obtendo-se assim óxido de zinco e dióxido de enxofre. Após a aglomeração do óxido, ocorre o processamento em alto forno para produzir o vapor de zinco, o qual é condensado visando a obtenção do zinco metálico, que apresenta cerca de 98% de pureza. De acordo com o grau de pureza que deseja-se obter, o zinco metálico é submetido ao refino, que consiste em refazer o processo de ebulição. Desta forma, o zinco pode atingir uma pureza de 99,95% (ANDRADE et al., 1998).

O processo hidrometalúrgico pode ser dividido em 5 principais etapas. De acordo com Andrade et al. (1998, p. 5), esta etapa consiste em:

1. Ustulação do concentrado sulfetado a fim de transformar o sulfeto em óxido, que é solúvel em ácido. Este estágio é dispensado no caso de concentrado oxidado.
2. Lixiviação do material oxidado obtido com ácido sulfúrico obtendo-se solução de sulfato de zinco.
3. Purificação da solução de sulfato de zinco, sendo o método mais utilizado o da adição de pó de zinco para precipitação de impurezas como cobre, cádmio, cobalto e níquel.
4. Eletrólise da solução de sulfato de zinco com regeneração do ácido, que é reutilizado na lixiviação. Obtêm-se cátodo de zinco com 99,99% de pureza.
5. Refusão dos cátodos para produção do zinco nas formas usuais de lingotes ou placas.

#### **4.4. Métodos de extração de metais pesados em escala laboratorial**

A concentração de metais pesados no lodo têxtil, objeto de estudo da presente pesquisa, são baixas. Desta forma, para extrair os metais, não se aplica os métodos convencionais de extração para cada elemento, utilizam-se então métodos de extração multielementar em escala laboratorial.

Os métodos analíticos utilizados na caracterização química de amostras ambientais são diversos. Antigamente, métodos clássicos como a gravimetria e a volumetria eram amplamente usados. Entretanto, estes métodos exigem muito tempo e recursos humanos intensivos, além de serem bastante limitados em relação à detecção. Em decorrência disto, novos métodos surgiram e passaram a ser mais utilizados. Entre estes métodos, pode-se citar: (i) a Espectrometria de Absorção Atômica com Chama (F

AAS), (ii) a Espectrometria de Absorção Atômica com Forno de Grafite (GF AAS), (iii) a Espectrometria de Absorção Atômica com Chama com Geração de Hidretos (HF-AAS), (iv) a Espectrometria de Emissão Óptica com Plasma Indutivamente Acoplado (ICP OES) e (v) a Espectrometria de Massa com Plasma indutivamente Acoplado (ICP-MS).

#### **4.4.1. Espectrometria de Absorção Atômica (AAS)**

Uma das metodologias mais utilizadas para determinar o quantitativo de elementos em uma amostra é a Espectrometria de Absorção Atômica, do inglês *Atomic Absorption Spectrometry* (AAS). O princípio fundamental da AAS envolve “a medida da absorção da intensidade da radiação eletromagnética, proveniente de uma fonte de radiação primária, por átomos gasosos no estado fundamental” (KRUG; NÓBREGA; OLIVEIRA, 2006), ou seja, é uma técnica para quantificar elementos químicos utilizando a absorção de luz. Este ensaio possui uma elevada sensibilidade, deste modo pode quantificar elementos num limite inferior a ordem de ppb (partes por bilhão).

Em relação ao funcionamento do ensaio, parte-se de uma fonte de radiação eletromagnética, a qual emite luz a um atomizador, onde as amostras são decompostas em função do calor. No atomizador, cada átomo absorve uma quantidade específica de radiação eletromagnética, assim cada elemento emite um espectro de luz característico. Estes espectros são filtrados num monocromador, indo ao detector, que identifica o espectro e manda um sinal para o equipamento, obtendo-se assim a quantificação do elemento químico presente. A AAS é aplicada em variados tipos de amostras, sendo utilizada na área ambiental, geológica, farmacêutica, alimentícia, de matérias, entre outras (BRUCK, 2022). Assim, esta metodologia é utilizada em diversos trabalhos, como o de Silva (2018), intitulado “Utilização de métodos quimiométricos na determinação de propriedades e aplicações de lodo industrial do polo têxtil do Agreste pernambucano”, o qual aplicou a Espectrometria de Absorção Atômica para determinar os metais pesados e outros elementos presentes no lodo têxtil, como o trabalho intitulado “Monitoramento ambiental de metais pesados em macrófita aquática pela análise de espectrometria de absorção atômica – aas na bacia do rio cascavel, Guarapuava, PR”, de Negrão, Oliveira e Butik (2021).

Para cada tipo de material, uma técnica de atomização é mais recomendada. Entre as técnicas mais utilizadas, pode-se citar a Espectrometria de Absorção Atômica com Chama (F AAS), a Espectrometria de Absorção Atômica com Forno de Grafite (GF AAS) e a Espectrometria de Absorção Atômica com Chama com Geração de Hidretos (HF-AAS). A primeira é utilizada para amostras que apresentam quantidades grandes do elemento químico analisado. A segunda técnica é aplicada para amostras com teores em partes por bilhão (ppb) ou quando o número de amostras é limitado. Já o terceiro método é usado para amostras que formam hidretos voláteis em teores extremamente baixos.

#### **4.4.2. Espectrometria de Emissão Óptica por Plasma Indutivamente Acoplado (ICP-OES)**

O ensaio de ICP-OES, que em português significa Espectrometria de Emissão Óptica por Plasma Indutivamente Acoplado, é um dos métodos mais populares para determinar traços de elementos em diversos tipos de amostra. Esta técnica consiste em utilizar uma fonte de plasma extremamente quente para excitar os átomos ao ponto de emitirem fótons de luz de comprimento de onda característicos e específicos de um determinado elemento. O número de fótons produzidos por cada elemento vai variar de acordo com a concentração dos mesmos nas amostras. São cerca de 70 elementos que podem ser determinados por este instrumento, entretanto há certa limitação para alguns elementos. Elementos que entram naturalmente no plasma, como o Argônio, não podem ser identificados. Elementos abundantes na atmosfera também apresentam limitações severas quanto à quantificação, como Carbono, Hidrogênio, Nitrogênio e Oxigênio. Além destes, também ocorrem limitações para os elementos sintéticos que são tipicamente radioativos ou com curto tempo de vida. Mesmo com essas limitações, o ICP-OES é um instrumento que fornece confiabilidade e alto rendimento, por isto é um método tão utilizado (BASARI et al., 2019; COLZATO, 2023). Como exemplo da utilização do ICP-OES, pode-se citar o trabalho de Basari et al. (2023), intitulado “*Aluminium recovery from water treatment sludge under different dosage of sulphuric acid*”, que teve como objetivo determinar a concentração de Alumínio, mas que também acabou identificando concentrações de Ferro, Cálcio e Sódio.

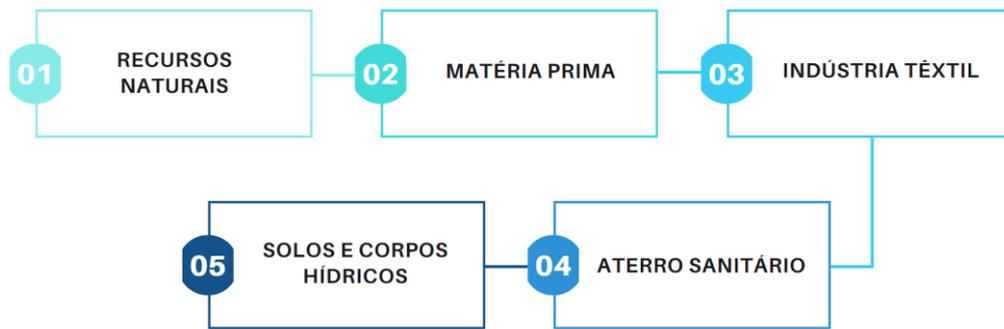
#### **4.4.3. Espectrometria de Massa com Plasma indutivamente Acoplado (ICP-MS)**

O ensaio de ICP-MS consiste num método analítico que permite separar espécies iônicas pela razão entre a massa e a carga, tendo como fonte de ionização um plasma de Argônio, de energia alta, e como detector um espectrômetro de massa alta ou baixa resolução. A partir deste método, é possível detectar grande parte dos elementos químicos, determinando cerca de 90% dos elementos da Tabela Periódica. Esta técnica permite detectar os elementos na ordem de  $0,001 \mu\text{g L}^{-1}$  a  $0,1 \mu\text{g L}^{-1}$ . Assim, o ensaio ICP-MS, assim como o ensaio ICP-OES, consiste num ensaio multielementar e possui uma alta sensibilidade; por isso, a aplicação do método vem sendo mais utilizada e tem sido amplamente estudado na área acadêmica. Entretanto, a técnica tem como desvantagem o alto custo, o que limita sua utilização em muitos laboratórios. Devido a isto, outras técnicas acabam sendo mais utilizadas (MOREIRA, 2012, FREITAS et al., 2015).

#### **4.5. Economia Linear x Economia Circular**

A Economia Linear consiste numa forma de consumo que tem começo, meio e fim, ou seja, não apresenta perspectiva de reutilização ou reciclagem, além de apresentar extração excessiva de recursos naturais. Devido a isto, este modelo está entrando em exaustão, uma vez que os recursos naturais explorados são finitos. Além deste problema, esse modelo de economia também contribui para uma grande geração de resíduos e, conseqüentemente, na poluição do meio ambiente. Na indústria têxtil este modelo também é aplicado. Os metais pesados, objeto de estudo do presente trabalho, são usados no beneficiamento de jeans, em seguida vão parar no lodo têxtil através do tratamento das lavanderias e, por fim, este lodo é descartado num aterro sanitário, indo parar nos corpos hídricos e no solo, poluindo os mesmos (Figura 18).

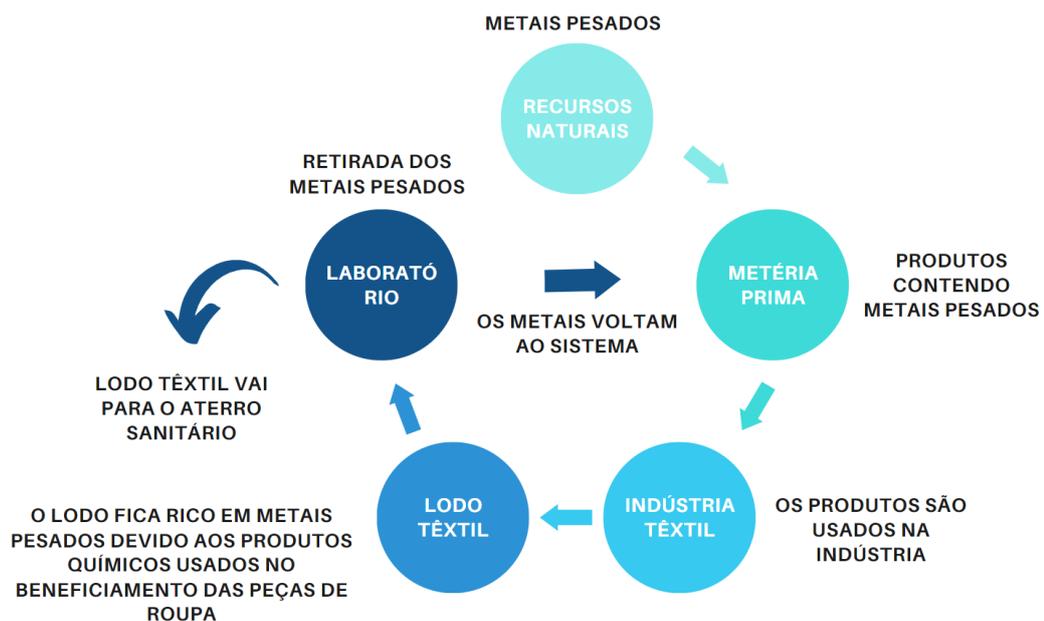
**Figura 18** - Modelo de Economia Linear para os metais pesados em uma indústria têxtil



Fonte: Autora (2023)

Visando mitigar os impactos causados pela Economia Linear, surge a Economia Circular. Neste modelo de economia, os resíduos são considerados insumos para a produção de novos produtos. Ou seja, no lugar de haver o descarte dos recursos naturais presentes nos resíduos, estes são reintroduzidos no sistema. Este modelo tem como base a preservação e o aumento do capital natural, impulsionando a circulação dos produtos, componentes e materiais (GONÇALVES; BARROSO, 2019). A presente pesquisa apresenta a Mineração Urbana como método para a aplicação da Economia, Circular, uma vez que esta técnica objetiva retirar os metais pesados do lodo têxtil, em escala laboratorial, e reintroduzir os metais como matéria prima (Figura 19).

**Figura 19** - Modelo de Economia Circular para os metais pesados em uma indústria têxtil



Fonte: Autora (2023)

#### 4.6. Precificação dos metais

De acordo com Fonseca (2017), as lavanderias geram em média 17g de lodo para cada peça de jeans lavada. Considerando a produção total a cada 3 meses, 2 toneladas de lodo são destinadas ao aterro sanitário, sendo assim, ao ano uma lavanderia produz em média 8 toneladas de lodo têxtil.

Considerando a concentração de cobre mais expressiva encontrada na amostra, ao ano, 0,312kg de Chumbo são enviados para o aterro sanitário, provenientes apenas de uma lavanderia têxtil. Valores muito superiores aos recomendados pelo Conama. Entretanto, ao avaliar o valor desse metal, analisando se vale a pena a aplicação da mineração urbana nessa área, o valor obtido ao ano chega a apenas R\$ 53,36, levando em conta a média do metal no mercado. O mesmo acontece com o Cobre, que de acordo com a empresa Comércio de Sucatas Aricanga (2023) seu valor varia de R\$ 25,00 a R\$ 38,00 o kg. Avaliando o lucro anual tendo em consideração a amostra com maior concentração ( $610 \text{ g.t}^{-1}$ ) e a média do preço do Cobre, obtêm-se um valor de R\$ 153,72.

Mais alto que o Chumbo, mas ainda pouco expressivo, ao lembrar que se trata de um valor anual. Com o Níquel o valor que pode ser obtido ao recuperar o metal do lodo têxtil descartado anualmente, é ainda mais baixo do que dos dois elementos vistos anteriormente, tendo um valor de apenas R\$ 3,61, ao considerar a concentração mais alta obtida por Silva (2016). De acordo com a LojaQuímica, o kg de Zinco equivale a R\$113. Assim, levando em consideração a concentração mais alta deste elemento nas amostras de lodo, o valor obtido pelo Zinco presente no lodo têxtil de apenas uma lavanderia, em um ano, é de R\$ 16,16. Deste modo, observa-se que apesar da concentração ser alta para o meio ambiente, quando se trata do financeiro os valores se tornam pouco expressivos.

### 5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A indústria têxtil é fundamental e de extrema importância para a economia mundial, desde as primeiras revoluções industriais. Para o Brasil, esta indústria é de suma relevância, se destacando no mundo, contribuindo com o PIB e sendo responsável por grande geração de empregos, sejam eles formais ou informais. Entretanto, como todo investimento, além dos impactos positivos esta indústria também possui impactos

negativos. Sua grande cadeia produtiva requer explorações de recursos naturais e, conseqüentemente, gera uma grande quantidade de resíduos.

Pôde-se observar que estes resíduos, principalmente os gerados pelas lavanderias têxteis, apresentam um grande impacto ambiental. O lodo têxtil e o efluente têxtil contaminam os corpos hídricos, a atmosfera e o solo, chegando aos seres vivos, ou por contato direto ou por contato indireto, como na alimentação de produtos contaminados. Durante o trabalho foi constatado que as lavanderias do APLCAPE apresentam no lodo têxtil concentrações de metais pesados muito superiores do que as permitidas pelo Conama, comprovando o impacto ambiental negativo ocasionado por esta área da indústria. Deste modo, é necessário pensar em alternativas para minimizar os impactos causados por esses resíduos.

No presente trabalho, pretendeu-se avaliar a implementação da Mineração Urbana, como solução para reduzir os metais pesados nos lodos têxteis. Entretanto, apesar de ser uma alternativa para a retirada destes metais e reaplicação dos mesmos na cadeia produtiva, contribuindo com a economia circular, se avaliar apenas a questão financeira a proposta se torna inviável. Uma vez que, apesar da concentração de metais pesados serem consideradas altas a nível ambiental, são baixas para ter-se algum rendimento no mercado após a retirada dos metais, considerando o valor dos mesmos. Assim sendo, a Mineração Urbana nessa indústria não deixa de ser uma opção para contribuir com a economia circular, mas deve-se levar em conta que não haverá lucro financeiro em curto prazo, e sim um impacto positivo ambientalmente. Entretanto, pensando em longo prazo, esta alternativa também se torna economicamente viável, já que mitiga os impactos de saúde pública e permite a recuperação de metais finitos.

Diante do que foi estudado na presente pesquisa, observa-se a necessidade de pesquisas contínuas nessa área, diante da sua importância e dos impactos que podem causar. Assim, a busca por alternativas que mitiguem os impactos negativos e ampliem os impactos positivos devem ser incentivadas.

## REFERÊNCIAS

ABCOBRE – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DO COBRE. **Estoques e fluxos**, 2023. Disponível em: <https://abcobre.org.br/estoques-e-fluxos/>. Acesso em: 31 jul. 2023.

ABIT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA TÊXTIL E DE CONFECÇÃO. **Perfil do Setor**, 2023. Disponível em: <https://www.abit.org.br/cont/perfil-do-setor>. Acesso em: 12 jul. 2023.

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR ISO 14031/2015: **Gestão Ambiental - Avaliação de desempenho ambiental**. Rio de Janeiro, 2015.

ANDRADE, M. L. A. D.; CUNHA, L. M. D. S.; GANDRA, G. T.; RIBEIRO, C. C. Níquel: novos parâmetros de desenvolvimento. 2000.

ANDRADE, M. L. A. D.; CUNHA, L. M. D. S.; VIEIRA, J. R. M.; OLIVEIRA, E. F. C. D. (1998). Zinco. Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social, 1998.

AKHTAR, M.N.; LOHCHAB, Amal; SINGH, D.; KUMAR, R.R.; GAUR, Piyush; YADAV, B.K. Experimental studies on the effect of chromium plating on the mechanical properties of SAE 4140 steel. **Materials Today: Proceedings**, v. 5, October 2022

ALVES, J. R. S.; LIMA, A. R. F. Remediação De Efluente Industrial Em Lavanderias Do Polo Têxtil No Agreste Pernambucano. **International Journal of Management – PDGV**, v. 2, n. 1, p. 1-19, 2022.

ASLAM, F.; AIMIN, W.; LI, M.; EHMAN, K. Innovation in the era of IoT and industry 5.0: Absolute innovation management (AIM) framework. **Information (Switzerland)**, v. 11, n. 2, p. 1-24, 2020. DOI: <https://doi.org/10.3390/info11020124>

ASSI, M. A.; HEZMEE, M. N. M.; HARON, A. W.; SABRI, M. Y. M.; RAJION, M. A. The detrimental effects of lead on human and animal health. **Veterinary World**, v. 9, 2016.

ATSDR – Agency for Toxic Substances and Disease Registry. **ATSDR’s Substance Priority List**, 2022. Disponível em: <https://www.atsdr.cdc.gov/spl/index.html>. Acesso em: 15 jul. 2023.

AUGUSTO, A. S.; BERTOLI, A. C.; CANNATA, M. G.; CARVALHO, R.; BASTOS, A. R. R. Bioacumulação de metais pesados em Brassica juncea: Relação de toxicidade com elementos essenciais. **Revista Virtual de Química**, v. 6, n. 5, p. 1221-1236, 2014.

BASRI, M. H.; DON, N. M.; KASMURI, N.; HAMZAH, N.; ALIAS, S.; AZIZAN, F. A. Aluminium recovery from water treatment sludge under different dosage of sulphuric acid. **Journal of Physics: Conference Series**. IOP Publishing, 2019.

BASTOS, M. Ferramentas da Qualidade – Matriz Gut. **Portal Administração**, 2014. Disponível em: <http://www.portal-administracao.com/2014/01/matriz-gut-conceito-e-aplicacao.html>. Acesso em: 24 mai. 2021.

BERLIN, Lilyan Guimarães. A Indústria têxtil brasileira e suas adequações na implementação do desenvolvimento sustentável. **ModaPalavra e-periódico**, n. 13, p. 15-45, 2014. Disponível em: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=514051622001>. Acesso em: 12 nov. 2021.

BESSA, G. C., MAESTRI, G., HILLER, A. P.; OLIVEIRA, F. R.; STEFFENS, F. Indústria têxtil 5.0: Novos modelos de gestão organizacional para a indústria de confecção. X ConBRepro – Congresso Brasileiro de Engenharia de Produção. 2020.

BRASIL. Lei nº 12.305, de 2 de agosto de 2010. **Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos**; altera a Lei no 9.605, de 12 de fevereiro de 1998; e dá outras providências.

BRUCK, Alexandre. Espectrometria de Absorção Atômica: o que é e como funciona. c2Lab, São Paulo, 19 mai 2022. Disponível em: <https://c2lab.com.br/blog-espectrometria-de-absorcao-atomica-o-que-e-e-como-funciona/>. Acesso em: 16 ago 2023.

CASTRO, T. M. D.; TAVARES, C. R. G.; LISOT, A.; KAMINATA, O. T. Caracterização de blocos cerâmicos acústicos produzidos com incorporação de lodo de lavanderia têxtil. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 20, p. 47-54, 2015. DOI: <https://doi.org/10.1590/S1413-41522015020000088966>.

CETESB, Companhia Ambiental do Estado de São Paulo. Cobre. **Ficha de Informação Toxicológica**, 2022. Disponível em: <https://cetesb.sp.gov.br/laboratorios/wp-content/uploads/sites/24/2022/02/Cobre.pdf>. Acesso em: 31 jul. 2022.

CETESB, Companhia Ambiental do Estado de São Paulo. Manganês. **Ficha de Informação Toxicológica**, 2012. Disponível em: <https://cetesb.sp.gov.br/veicular/wp-content/uploads/sites/24/2013/11/manganes.pdf>. Acesso em: 26 jun. 2022.

CETESB, Companhia Ambiental do Estado de São Paulo. Níquel e seus compostos. **Ficha de Informação Toxicológica**, 2022. Disponível em: <https://cetesb.sp.gov.br/laboratorios/wp-content/uploads/sites/24/2021/05/Ni%CC%81quel.pdf>. Acesso em: 26 jun. 2022.

CETESB, Companhia Ambiental do Estado de São Paulo. Zinco. **Ficha de Informação Toxicológica**, 2022. Disponível em: <https://cetesb.sp.gov.br/laboratorios/wp-content/uploads/sites/24/2021/05/Zinco.pdf>. Acesso em: 26 jun. 2022.

CHERFI, A.; ABDOUN, S.; GACI, O. Foody survey: Levels and potential health risks of chromium, lead, zinc and copper content in fruits and vegetables consumed in Algeria. **Food and Chemical Toxicology**, v. 70, p. 48-53, 2014.

COGO, Maria da Cunha. **Estudo de caracterização e disposição dos resíduos de uma indústria têxtil do Estado do Rio Grande do Sul**. Trabalho de Diplomação em Engenharia Química – Departamento de Engenharia Química, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Rio Grande do Sul, 2011.

COLANZI, J.; PIETROBON, C. L. Caracterização físico-química de lodo gerado no processo de tratamento dos efluentes de lavanderia têxtil. **Anais: XI Encontro Anual de Iniciação Científica**, Maringá, p. 260, 2002.

COLZATO, Marina. Fundamentos ICP-OES. **Central Multiusuário de Análises Ambientais**, São Paulo, 2023. Disponível em: <https://cmaa.esalq.usp.br/fundamentos-icp-oes/>. Acesso em: 16 ago 2023.

CONAMA – Conselho Nacional do Meio Ambiente. **Resolução n° 430**, 13 mai. 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.

CURTY, R. G.; DELBIANCO, N. R. As diferentes metrias dos estudos métricos da informação: evolução epistemológica, inter-relações e representações. **Encontros Bibli: revista eletrônica de biblioteconomia e ciência da informação**, v. 25, p. 01-21, 2020. DOI: <https://doi.org/10.5007/1518-2924.2020.e74593>.

DA SILVA FILHO, A. R. A.; DUARTE, A. D.; SINESIO, E. P.; DA SILVA, G. L.; DOS SANTOS PESSÔA, S. G. Classificação, caracterização e diagnóstico das Lavanderias de Beneficiamento de Jeans na Cidade de Caruaru – PE, no Agreste Pernambucano. **Research, Society and Development**, v. 10, n. 1, p. 2021. DOI: <http://dx.doi.org/10.33448/rsd-v10i6.14402>.

DE LIMA, B. A.; DA SILVA, L. D. F. **Toxicidade do Chumbo em Batons: Efeitos Adversos à Saúde Humana**. Trabalho de Conclusão de Curso. 2019.

DE MOURA, L. S.; SILVA, C. L.; DOS SANTOS REIS, A. C.; MARINHO, E. P.; DA NÓBREGA, A. C. V.; CARNEIRO, A. M. P. Caracterização de lodo produzido nas lavanderias têxteis da região Agreste de Pernambuco para uso em materiais de construção alternativos. **Research, Society and Development**, v. 10, n. 4, e40910414078, 2021. DOI: <http://dx.doi.org/10.33448/rsd-v10i4.14078>.

DESMICA, V.; FURIC, K.; HOCHLEITNER, B.; MANTLER, M.. A comparative analysis of five chrome green pigments based on different spectroscopic techniques. **Spectrochimica Acta, Part B: Atomic Spectroscopy**, V. 18, 2003.

DUARTE, Hélio A. Ferro-Um elemento químico estratégico que permeia história, economia e sociedade. **Química Nova**, v. 42, p. 1146-1153, 2020.

FONSECA, Agnes Camila Nascimento da. **Avaliação de desempenho ambiental de lavanderias de beneficiamento têxtil em Caruaru-PE**. Trabalho de Conclusão de Curso – Universidade Federal Rural de Pernambuco, 2017.

FREITAS, P. C. D.; CARVALHO, R. M. D.; SILVA, J. S. A.; PRADO, T.; DUARTE, E. R.; FRESCURA, V. L.; CHAVES, E. S. Extração assistida por ultrassom para determinação colorimétrica de ferro em solo: Uma comparação com espectrometria de massa com plasma indutivamente acoplado. **Química Nova**, v. 38, p. 570-574, 2015.

GEOSCAN. **Minério de cobre: Entenda mais sobre e saiba como encontrar**, 03 mar 2023. Disponível em: <https://www.geoscan.com.br/blog/minerio-de-cobre/>. Acesso em : 17 ago 2023.

GONÇALVES, Taynara Martins; BARROSO, Ana Flavia da Fonseca. A economia circular como alternativa à economia linear. **Anais do XI SIMPROD**, 2019.

GONZALEZ, Karina Regina. Toxicologia do Níquel. **Revista Intertox de Toxicologia Risco Ambiental e Sociedade**, v. 9, n. 2, p. 30-54, jun. 2016.

GROTTO, Helena ZW. Fisiologia e metabolismo do ferro. **Revista Brasileira de Hematologia e Hemoterapia**, v. 32, p. 08-17, 2010.

GRUPO GRX. Características, aplicações, história do chumbo, lençol de chumbo, lingote de chumbo, placa de chumbo. **Grupo GRX**. Disponível em: <https://www.grupogrx.com.br/chumbo#:~:text=O%20mais%20amplo%20uso%20do,em%20radioterapia%20e%20medicina%20nuclear>. Acesso em: 31 jul. 2023.

HOLZBACH, J. C.; BARROS, E. I. T. M.; DE OLIVEIRA KRAUSER, M.; LEAL, P. V. B. Chumbo: Uma introdução à extração e a fitorremediação. **Journal of biotechnology and Biodiversity**, v. 3, n. 4, p. 178-183, 2012.

KLUSÁKA, Jan; KPZÁKOVÁA, Kamila; JAMBORA, Michal Jambora; SEITLA, Stanislav. Fatigue behavior of DIN 1.4307 and DIN 1.4306 stainless steels under high frequency loading. **Procedia Structural Integrity**, v. 13, 2023.

KRUG, Francisco José; NÓBREGA, Joaquim Araújo; OLIVEIRA, Pedro Vitoriano de. **Espectrometria de Absorção Atômica**. Parte 1 - Fundamentos e Atomização com Chama. Disciplina de Pós-Graduação, ESALQ, 2004.

LACERDA, Diego; PESTANA, Inacio Abreu; VERGILIO, Cristiane dos Santos REZENDE, Carlos Eduardo de. Global decrease in blood lead concentrations due to the removal of leaded gasoline. **Chemosphere**, v. 21, February 2023

Lessa, Lenita Villamarin Lopez. **Significados do modelo CAPES de avaliação: a vez das vozes docentes dos Programas de Pós-Graduação brasileiros**. Tese de Doutorado (Pós-graduação em Educação) – Universidade Federal da Paraíba, 2016.

LIMA, I. V.; PEDROZO, M. D. F. M. Ecotoxicologia do ferro e seus compostos. **Série Cadernos de Referência Ambiental**, Salvador, v.4, 2001.

LORENA, E. M.; LORENA, C. M.; MEDEIROS, R. M.; EL-DEIR, S. G.; HOLANDA, R. M.; ARAÚJO, V. 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**, v. 18, n. 2, p. 620-640, 2018.

LOZI, Amanda Alves. **Toxicidade comparada dos metais pesados, arsênio, cádmio, chumbo, cromo e níquel, sobre parâmetros reprodutivos de camundongos machos adultos após exposição aguda**. Dissertação (Pós-Graduação em Biologia) – Universidade Federal de Viçosa. Minas Gerais, p. 86, 2019.

MAESTRI, Gabriela et al. Análise da Indústria 4.0 no segmento têxtil: a importância do investimento digital no setor. **Realização**, p. 130. 2018.

MANKES, R. F.; SILVER, C. D. Hospital antibiotic wasting and evaluation of potential ecologic effects. **Peertechz Journal Environmental Science Toxicology**, v. 22, 2016.

MENEGUCCI, F.; MARTELI, L.; CAMARGO, M.; & VITO, M. Resíduos têxteis: Análise sobre descarte e reaproveitamento nas indústrias de confecção. **Anais: XI Congresso Nacional de Excelência em Gestão**, Rio de Janeiro, 2015.

MOREIRA, Isabel Maria Neto da Silva. **Determinação de metais (Cu, Fe, Zn, Pb, Cd e Ni) em tecidos de organismos marinhos da Baía de Ilha Grande, RJ, Brasil**. 2012. Tese (Doutorado) – Departamento de Química, PUC – RIO, Rio de Janeiro, 2012.

MOREIRA, P. A.; BUENO, S. M. Presença De Cromo Hexavalente Na Água Potável. **Revista Corpus Hippocraticum**, v. 1, n. 1, 2019.

MINISTÉRIO DA SAÚDE. Portaria 453 - Aprova o Regulamento Técnico que estabelece as diretrizes básicas de proteção radiológica em radiodiagnóstico médico e odontológico, dispõe sobre o uso dos raios-x diagnósticos em todo território nacional e dá outras providências. Diário Oficial da União, 1 jul. 1998.

NAHAS, Mariana Medeiros Pereira Leite Pedrosa. **Cenários de Desaceleração da Indústria Extrativa Mineral e seus Impactos Econômicos: implicações para o desenvolvimento regional e produtivo de Minas Gerais e de suas regiões minerárias**. Tese de Doutorado – Programa de Pós-Graduação em Economia, Universidade Federal de Minas Gerais, Minas Gerais, 2021.

NASCIMENTO, L. N.; GIESE, E. C.; SANTANA, A. C. DE O. Bioprocesso para extração de níquel e cobalto de lateritas brasileiras. **XXVIII Jornada de Iniciação Científica e IV Jornada de Iniciação em Desenvolvimento Tecnológico e Inovação**, 2020.

NAWAZ, Waqas; LINKE, Patrick; KOÇ, Muammer. Safety and sustainability nexus: A review and appraisal. **Journal of Cleaner Production**, v. 10, April 2019.

NORTEVISUAL, **Serviços Ambientais**. Maringá – PR, 2010. Disponível em: <http://www.nortevisual.com.br>. Acesso em: 10 out. 2022.

PEREIRA, Maria Concebida. **O lixo do luxo: um modelo para o tratamento dos resíduos têxteis de polos de indústrias de confecções**. Dissertação (Mestrado) – Planejamento e Análise de Políticas Públicas, Faculdade de Ciências Humanas e Sociais, Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, São Paulo, 2017.

PERNAMBUCO. Lei Estadual nº 14.549. Dispõe sobre licenciamento ambiental, infrações e sanções administrativas ao meio ambiente, e dá outras providências. **Diário Oficial do Estado de Pernambuco**. Recife, 21 dez. 2011.

LOJAQUIMICA. **Zinco em pó**. Disponível em: <https://www.lojaquimica.com.br/materia-prima/diversos/zinco-em-po-1-kg>. Acesso em: 24 jul. 2023.

LUO, Yu-Sen; ABDELLAH, Yousif Abdelrahman Yousif; HAFEEZ, Muhammad; YANG, Xi; HOU, Wen-Tao; KONG, Xu-Hui; WANG, Rui-Long. Herbivore-induced tomato plant volatiles lead to the reduction of insecticides susceptibility in *Spodoptera litura*. **Pesticide Biochemistry and Physiology**, v. 25, August 2022.

QUEIROGA, G. M.; LAMARDO, E. Z.; DE MELO, D. de C. P. Desempenho De Etes De Lavanderias Têxteis Do Polo De Confecções Do Município De Caruaru, Agreste Pernambucano, Que Utilizam Processos Físico-Químicos. **REDE-Revista Eletrônica do PRODEMA**, v. 13, n. 2, p. 55-71, 2020

SAKURAI, Ruudi; ZUCHI, Jederson Donizete. As revoluções industriais até a indústria 4.0. **Revista Interface Tecnológica**, v. 15, n. 2, p. 480-491, 2018. DOI: <https://doi.org/10.31510/infa.v15i2.386>.

SAMPAIO, J. A.; ANDRADE, M. C.; DUTRA, A. J. B.; PENNA, M. T. M. **Rochas e Minerais Industriais**, p. 633-648, 2008.

SHAH, M.; KAUSAR, S.; MIAN, J. A.; JABEEN, H.; ULLAH, N.; RASOOL, A.; AHMED, D. Bioaccumulation of heavy metals in the tissues of *Schizothorax plagiostomus* at River Swat. **Brazilian Journal of Biology**, v. 82, p. e243633, 2021.

SILVA, Fábila Martins. **Utilização de métodos quimioterápicos na determinação de propriedades e aplicações de lodo industrial do polo têxtil do Agreste pernambucano**. Dissertação (Programa de Pós-Graduação em Química) – Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife, 2018.

SILVA, L. A.; VICTOR, M. M.; LOPES, W. A.; CUNHA, S. Cobre: produção industrial e aplicações. **Química Nova**, v. 42, p. 1154-1161, 2019.

SILVA, Rivaldo Antônio Jerônimo da. **Modelo de gestão ambiental para reúso de águas de lavanderias do agreste de Pernambuco**. Dissertação (Programa de Pós-

Graduação em Engenharia Ambiental) - Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife, 2016.

SOBRAL, L. G. S.; OLIVEIRA, D. M. D.; SOUZA, C. E. G. D.; FRANÇA, S. C. A.; BRAGA, P. F. A. Metalurgia do chumbo: processos de produção e refino. **CETEM/MCTI**, 2012. Disponível em: [https://cetem.gov.br/antigo/santo\\_amaro/pdf/cap12.pdf](https://cetem.gov.br/antigo/santo_amaro/pdf/cap12.pdf). Acesso em: 17 ago 2023

SOUTO, T. J. M. P. **Estudo do comportamento químico e ambiental de efluentes industriais e resíduos sólidos oriundos de lavanderias do polo têxtil no Agreste pernambucano**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental, Universidade Federal Rural de Pernambuco. Recife, 2017.

SOUZA, S. M. A. de; BEZERRA, P. R. S.; GONÇALVES, G. A. da C. Estágio de desenvolvimento do arranjo produtivo local de confecções do município Toritama (PE). **Iberoamerican Journal of Strategic Management (IJSM)**, v. 19, n. 4, p. 100-118, Oct./Dec. 2020. DOI: <https://doi.org/10.5585/riac.v19i4.16310>.

SUCATAS ARICANGAS. **Quanto custa o quilo do cobre? Confira!**, 2023. Disponível em: <https://encurtador.com.br/yJMX4>. Acesso em: 27 jul. 2023.

TAVARES, Ana Catarina Oliveira. **Caracterização de plantas de arroz mutantes no gene FRD-like em relação à homeostase de ferro e toxicidade por alumínio**. 2021. Dissertação (Mestre em Biotecnologia e Informação) - Escola Superior de Biotecnologia da Universidade Católica Portuguesa. Porto, p.60, 2021.

VIOTTO, H. G. F.; DE ANGELIS NETO, G.; SCHUSTER, B. S.; TABONI, L. R.; JUNIOR, A. M. Gestão sustentável do lodo proveniente da lavanderia têxtil. **Anais: X Congresso Brasileiro de Gestão Ambiental**, nov. 2019.

VOUTSAS, EPAMINONDAS; MAGOULAS, KOSTIS; TASSIOS, DIMITRIOS. Prediction of the bioaccumulation of persistent organic pollutants in aquatic food webs. **Chemosphere**, v. 48, n. 7, p. 645-651, 2002.

XAVIER, Lúcia Helena; LINS, Fernando A. Freitas. Mineração Urbana de resíduos eletroeletrônicos: uma nova fronteira a explorar no Brasil. **Brasil Mineral**, v. 379, n. 1, p. 22-26, 2018.

XAVIER, L. H.; NASCIMENTO, H. F. F.; LINS, F. A. F. (Org.) **Manual para a destinação de resíduos eletroeletrônicos**: orientação ao cidadão sobre como dispor adequadamente os resíduos eletroeletrônicos na cidade do Rio de Janeiro, 1ª Edição. Rio de Janeiro: CETEM-MCTIC/UFRJ/INEA, 2017.

ZAMANI, Azimeh; EAVANI, Sara; RAFIEE, Ezzat. Synthesis and characterization of anticorrosion, low-lead leaching PbCrO<sub>4</sub>/eggshell composites as the environmentally sustainable yellow pigments. **Journal of Cleaner Production**, v. 12, 2021.

ZENG, Qu; HUI, Weijun; ZHANG, Yongjian; LIU, Xiangjiang; YAO, Liu. Very high-cycle fatigue performance of high carbon-chromium bearing steels with different metallurgical qualities. **International Journal of Fatigue**, v. 15, 2023.