



UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DE PERNAMBUCO

Departamento de Tecnologia Rural

Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental

Caracterização Química do Lodo Proveniente de Resíduos do  
Arranjo Produtivo Local Têxtil e Confecções para Criação de um  
Hidrogel Fertilizante com Aplicação na Potencialização do  
Agronegócio em Pernambuco

BEATRIZ SILVA SANTOS

Recife

2023

BEATRIZ SILVA SANTOS

Caracterização Química do Lodo Proveniente de Resíduos do Arranjo  
Produtivo Local Têxtil e Confecções para Criação de um Hidrogel  
Fertilizante com Aplicação na Potencialização do Agronegócio em  
Pernambuco

Projeto submetido ao Programa de Pós-  
Graduação em Engenharia Ambiental da  
Universidade Federal Rural de Pernambuco,  
como requisito parcial à obtenção do título  
de Mestre em Engenharia Ambiental.

**Área de concentração:** Engenharia Ambiental

**Linha de pesquisa:** Controle e Remediação da Poluição

**Orientador:** Prof. Dr. Alex Souza Moraes

**Coorientador:** Prof. Dr. Romildo Morant de Holanda

Recife

2023

Dados internacionais de catalogação (CIP)  
Sistema Integrado de Bibliotecas da UFRPE  
Biblioteca Central, Recife- PE, Brasil

Beatriz Silva Santos

Caracterização Química do Lodo Proveniente de Resíduos do Arranjo Produtivo Local  
Têxtil e Confeccões para Criação de um Hidrogel Fertilizante com Aplicação na  
Potencialização do Agronegócio em Pernambuco

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia  
Ambiental da Universidade Federal Rural de Pernambuco, defendida e aprovada em 24  
de fevereiro de 2023 pela Banca Examinadora constituída pelos seguintes membros:

---

Prof. Dr. Alex Souza Moraes (UFRPE)

Orientador

---

Prof. Dr. Otávio Pereira dos Santos Junior

Avaliador Externo

---

Prof. Dr. Victor Casimiro Piscoya

Avaliador Interno

“Na natureza, nada se cria,  
nada se perde, tudo se  
transforma”.

*Antoine Laurent Lavoisier*

## AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, que até aqui me sustentou, me dando força para nunca desistir dos meus sonhos.

Quero agradecer a minha família, em especial a minha vó Joselita Teixeira do Anjos (*In Memoriam*), por todo amor, apoio e dedicação, não medindo esforços para que eu alcançasse os meus objetivos. Foi, e ainda é, o meu maior exemplo de pessoa, bondade e mulher.

O meu orientador Alex Souza Moraes, que durante o período do curso foi essencial para a minha caminhada na universidade e o desenvolvimento da pesquisa, sempre me apoiando, orientando de forma compreensiva e com muita tranquilidade. Aos demais docentes e funcionários que contribuíram para a minha formação.

Aos meus amigos e colegas que estiveram ao meu lado durante todo o período, vocês não imaginam o quanto todas as mensagens e palavras de apoio foram essenciais. Em especial aos recifenses que me acolheram. Sou grata a todos que estiveram envolvidos e colaboraram de alguma forma!

Enfim, a Fundação de Amparo à Ciência e Tecnologia do Estado de Pernambuco (FACEPE), pela bolsa concedida durante a realização deste trabalho.

## RESUMO

O estado de Pernambuco é considerado um dos maiores polos industriais têxteis do país. Dentre as cidades que integram esse Arranjo Produtivo Local (APL) do Agreste Pernambucano destacam-se: Caruaru, Toritama e Santa Cruz do Capibaribe. Neste sentido, o presente estudo tem como objetivo caracterizar quimicamente o lodo proveniente de várias lavanderias de Caruaru para aplicação em diversos APL no Estado de Pernambuco. Mais especificamente, promover aos órgãos ambientais, municipal e estadual, além de empresas interessadas, os níveis de concentração de compostos orgânicos e inorgânicos presentes nos lodos. Inicialmente, realizado a coleta de 11 amostras de lodo depositado diretamente das estações de tratamento de efluentes das lavanderias de Caruaru. O material foi armazenado e preparado no Laboratório de Medicamentos, Tecnologias, Energias e Soluções Ambientais da UFRPE, onde foi realizado as análises de pH e matéria orgânica. Posteriormente, as amostras foram preparadas para realizar análise química do lodo no laboratório GEOSOL, usando a técnica (ICP/OES). Após a análise dos resultados, foi possível quantificar alguns micronutrientes como o arsênio, cromo, chumbo, zinco, cobre e níquel por quilo de lodo, conseqüentemente, determinar a dose adequada de lodo em toneladas por hectare (ton. ha<sup>-1</sup>) para ser aplicado como corretivo agrícola para as culturas de sorgo, cana-de-açúcar, soja e milho. De acordo com as taxas máximas de aplicação do lodo industrial em solos agrícola, os dados obtidos mostraram uma variação da dosagem adequada de 3.05 a 127.65 (ton. ha<sup>-1</sup>) dependendo da composição química do lodo e exigência nutricional das culturas. Sendo assim, conclui-se que os dados analisados mostraram ser satisfatórios para aplicação do lodo com adubo fertilizante em culturas da APL local.

Palavras chave: Tratamento de efluentes; Águas residuais; Lavanderias; Cultivo.

## ABSTRACT

The state of Pernambuco is considered one of the largest textile industrial centers in the country. Among the cities that are part of this Local Productive Arrangement (APL) of Agreste Pernambucano, the following stand out: Caruaru, Toritama, and Santa Cruz do Capibaribe. In this sense, the present study aims to chemically characterize the sludge from several laundries in Caruaru for application in several APLs in the State of Pernambuco. More specifically, to promote to environmental, municipal, and state agencies, in addition to interested companies, the levels of concentration of organic and inorganic compounds present in the sludge. Initially, 11 samples of sludge deposited directly from the effluent treatment stations of the Caruaru laundries were collected. The material was stored and prepared at the Laboratory of Medicines, Technologies, Energy and Environmental Solutions at UFRPE, where pH and organic matter analyzes were carried out. Subsequently, the samples were prepared to carry out chemical analysis of the sludge in the GEOSOL laboratory, using the technique (ICP/OES). After analyzing the results, it was possible to quantify some micronutrients such as arsenic, chromium, lead, zinc, copper, and nickel per kilogram of sludge, consequently determining the appropriate dose of sludge in tons per hectare ( $\text{ton. ha}^{-1}$ ) to be applied as an agricultural corrective for sorghum, sugar cane, soy, and corn crops. According to the maximum application rates of industrial sludge in agricultural soils, the data obtained showed a variation of the adequate dosage from 3.05 to 127.65 ( $\text{ton. ha}^{-1}$ ) depending on the chemical composition of the sludge and nutritional requirement of the crops. Therefore, it is concluded that the analyzed data proved to be satisfactory for applying sludge with fertilizing fertilizer in cultures of the local APL.

**KEYWORDS:** Effluent treatment; Residual waters; Laundries; Cultivation.



## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 1.</b> Mapa de localização dos estados que fazem parte do programa Texbrasil ...	21
<b>Figura 2.</b> Esquema geral dos processos das lavanderias .....	23
<b>Figura 3.</b> Fórmula molecular do fast blue RR .....	25
<b>Figura 4.</b> Descarte inadequado do efluente têxtil .....	26
<b>Figura 5.</b> Mapa de localização município de Caruaru – PE .....	40
<b>Figura 6.</b> Lavanderias do município de Caruaru – PE .....	41
<b>Figura 7.</b> Coleta do lodo nas lavanderias têxteis .....	42
<b>Figura 8.</b> Determinação do pH das soluções .....	43
<b>Figura 9.</b> Queima em mufla para determinar matéria orgânica no lodo .....	44
<b>Figura 10.</b> Amostras separadas e identificadas para análise .....	45
<b>Figura 11.</b> Comparação entre concentrações de micronutrientes nas amostras de lodo e o limite máximo para aplicação em solo Agrícola .....	47

## **LISTA DE QUADROS**

- Quadro 1.** Levantamento dos insumos químicos usados nas lavanderias ..... 23
- Quadro 2.** Estudos de culturas com a aplicação do lodo como adubo fertilizante..... 36

## LISTA DE TABELA

<b>Tabela 1.</b> Limite de concentração de elementos-traço em bioossólidos .....	32
<b>Tabela 2.</b> Resultado dos cálculos sobre a concentração dos elementos em cada kg de lodo .....	51
<b>Tabela 3.</b> Resultados da quantidade de lodo que se pode aplicar por hectare de acordo a (Cetesb, 1999) .....	52
<b>Tabela 4.</b> Máximo permitido para aplicação de lodo nas culturas de milho, sorgo, cana-de-açúcar e soja .....	52
<b>Tabela 5.</b> Estudos com aplicação de lodo como fertilizante .....	54

## LISTA DE GRÁFICO

<b>Gráfico 1.</b> Critérios para o Projeto de Aplicação de Lodos em Áreas Agrícolas.....	34
<b>Gráfico 2.</b> Critérios para a determinação da taxa de aplicação .....	34
<b>Gráfico 3.</b> Potencial hidrogeniônico das amostras de lodo.....	48
<b>Gráfico 4.</b> Concentração de micronutrientes e matéria orgânica (MO) no lodo têxtil proveniente de lavanderia.....	50

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

<b>AAS</b>	Ácido Acetilsalicílico
<b>ABIT</b>	Associação Brasileira da Indústria Têxtil
<b>ABNT</b>	Associação Brasileira de Normas Técnicas
<b>Ag</b>	Prata
<b>Al</b>	Alumínio
<b>Al<sub>2</sub>SO<sub>4</sub></b>	Sulfato de Alumínio
<b>APAA</b>	Agência de Proteção Ambiental Americana
<b>APL</b>	Arranjo Produtivo Local
<b>APLCAPE</b>	Arranjo Produtivo Local de Confeccões do Agreste Pernambucano
<b>B</b>	Boro
<b>Ba</b>	Bário
<b>Bi</b>	Bismuto
<b>BR</b>	Rodovia (Brasil)
<b>Ca</b>	Cálcio
<b>Cd</b>	Cádmio
<b>CETESB</b>	Companhia Ambiental do Estado de São Paulo
<b>Co</b>	Cobalto
<b>CONAMA</b>	Conselho Nacional de Meio Ambiental
<b>CPRH</b>	Agência Estadual de Meio Ambiente
<b>Cr</b>	Cromo
<b>Cu</b>	Cobre
<b>DBO</b>	Demanda Bioquímica de Oxigênio
<b>DQO</b>	Demanda Química de Oxigênio
<b>Eh</b>	Potencial Redox/oxirredutor
<b>ETE</b>	Estação de Tratamento de Efluente
<b>Fe</b>	Ferro
<b>g</b>	Gramas
<b>g.cm<sup>-3</sup></b>	Grama por centímetro cúbico
<b>g.mol<sup>-1</sup></b>	Grama por moles
<b>H<sub>2</sub>O</b>	Molécula da água
<b>HNO<sub>3</sub></b>	Ácido Nítrico
<b>IBAMA</b>	Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis

<b>IBGE</b>	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
<b>K</b>	Potássio
<b>La</b>	Lantânio
<b>Li</b>	Lítio
<b>Mg</b>	Magnésio
<b>mL</b>	Mililitro
<b>mm</b>	Milímetro
<b>Mn</b>	Manganês
<b>MO</b>	Matéria orgânica
<b>Na</b>	Sódio
<b>Ni</b>	Níquel
<b>P</b>	Fósforo
<b>P+L</b>	Produção mais limpa
<b>PAHs</b>	Hidrocarbonetos policíclicos aromáticos
<b>Pb</b>	Chumbo
<b>pH</b>	Potencial hidrogeniônico
<b>POPs</b>	Poluentes Orgânicos Persistentes
<b>Sb</b>	Antimônio
<b>Sc</b>	Escândio
<b>Sn</b>	Estanho
<b>Sr</b>	Estrôncio
<b>Th</b>	Tório
<b>Ti</b>	Titânio
<b>U</b>	Urânio
<b>UFRPE</b>	Universidade Federal Rural de Pernambuco
<b>USEPA</b>	United States Environmental Protection Agency
<b>V</b>	Vanádio
<b>W</b>	Tungstênio
<b>Y</b>	Ítrio
<b>Zn</b>	Zinco
<b>Zr</b>	Zircônio

## SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO</b> .....	16
<b>2. OBJETIVOS</b> .....	18
<b>2.1. Objetivo geral</b> .....	18
<b>2.2. Objetivos específicos</b> .....	18
<b>3. REVISÃO DE LITERATURA</b> .....	19
<b>3.1. Setor têxtil no mundo</b> .....	19
3.1.1. Setor têxtil no Brasil .....	20
3.1.2. Processo produtivo .....	21
<b>3.2. Características do efluente têxtil</b> .....	24
3.2.1. Efluente têxtil e suas problemáticas ambientais .....	25
3.2.2. Tratamento do efluentes .....	27
3.2.3. Legislação para efluentes têxtil .....	28
<b>3.3. Características do lodo</b> .....	29
3.3.1. Lodo e sua problemática ambiental .....	29
3.3.2. Legislação para lodo .....	31
3.3.3. Tratamento para lodo .....	32
<b>3.4. Aplicação para lodos têxteis</b> .....	33
<b>3.5. Aspectos e impactos ambientais das lavanderias têxteis</b> .....	36
<b>4. METODOLOGIA</b> .....	39
<b>4.1. Área de estudo</b> .....	39
<b>4.2. Procedimentos experimentais</b> .....	40
<b>5. RESULTADOS E DISCUSSÃO</b> .....	46
<b>5.1. Quantificação do lodo</b> .....	46
<b>5.2. Caracterização química do lodo</b> .....	46
<b>5.3. Aplicação do lodo como fertilizante agrícola</b> .....	50
<b>6. CONCLUSÃO</b> .....	58
<b>7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b> .....	59
<b>8. ANEXO</b> .....	73

## 1. INTRODUÇÃO

Segundo o estudo desenvolvido por Cavalcanti et al. (2019) a indústria têxtil brasileira é composta por diversos polos, em que produz um tipo de confecção determinada. Os mesmos autores destacam o polo do agreste de Pernambuco, sendo especialista na produção de peças jeans.

O agreste de Pernambuco é formado por 10 municípios, entre as cidades que integram esse Arranjo Produtivo Local (APL) destacam-se Caruaru, Toritama e Santa Cruz do Capibaribe, que despontam como grande repositório de demandas socioambientais ocasionadas pela exploração de recursos naturais desde a sua criação.

A cidade de Toritama, no agreste pernambucano, conhecido como a capital do jeans é considerado o segundo maior polo de confecção jeanswear do Brasil. Diante disso, APL gera 120 mil empregos diretos e 360 mil indiretos com a ligação a cadeia do jeans (SEBRAE, 2019).

De acordo com Guimarães et al. (2018) a fabricação de vestuário em jeans, produz mensalmente aproximadamente 4,8 milhões de peças que são processadas em 175 lavanderias industriais têxtil de beneficiamento, o que corresponde 5.300 toneladas de tecidos de jeans mensal. Segundo Araujo et al. (2019) os produtos são comercializados em sua maioria na própria região, e atraem consumidores de outros estados e regiões.

O estado de Pernambuco é considerado um dos maiores polos industriais têxteis do país e como consequência natural deste desenvolvimento, os processos industriais das lavanderias de beneficiamento possuem grande potencial poluidor devido à qualidade de resíduo sólido gerado, o consumo de água e o descarte inadequado dos efluentes, entre outros impactos que podem ser causados.

Os insumos utilizados nas lavanderias são adquiridos de forma aleatória através de importação ou compra local, ocasionando falta de padronização e coleta de informações adequadas sobre o tipo de produto, dificultando o correto dimensionamento e elevados custos das estações de tratamento de efluentes (SILVA, 2016).

Muitos estudos reportam a presença de substâncias perigosas, incluindo metais pesados, presentes no lodo têxtil provenientes do tratamento das águas residuais, e que, muitas das políticas públicas adotadas na redução desse potencial poluidor se mostram incapazes de medidas definitivas para conter o avanço do impacto ambiental (SOUTO, 2017).



Essa dificuldade de controle da matéria prima utilizada nas lavanderias resulta no lodo com grande diversidade em sua composição, pois além de rico em fibras de tecidos, também possui resíduos de corantes, diversos compostos orgânicos e inorgânicos, enzimas, agentes oxidantes e abrasivos, oriundos dos diversos processos presentes nas lavanderias (LIRA, 2019).

De acordo com Stanford et al. (2020) O lodo têxtil pode ser encarado como uma fonte de micro e macronutrientes, pois além de seu grande teor de matéria orgânica e inorgânica pode servir como complemento aos adubos nitrogênio, fosforo e potássio (NPK), resultando em uma composição necessárias para nutrição de muitas culturas da região. A falta de conhecimento dos efeitos do lodo têxtil de Jeans nas comunidades microbianas, no crescimento e nutrição das plantas em solos tropicais representa um problema importante para o uso de resíduos orgânicos para uma agricultura sustentável.

Unido a este esforço investigativo de criação de um adubo de baixo custo, é possível planejar o desenvolvimento sustentável utilizando como instrumento os processos têxteis como motivador da economia circular, pois o produto gerado pode ser aplicado para suprir o déficit hídrico histórico da região. Além disso, após o tratamento adequado, a água residual é considerada um recurso hídrico potencial para reciclagem e reutilização, o que está associado a benefícios econômicos e financeiros (HESPANHOL, 2008).

No entanto, a destinação final ou aplicação do mesmo de forma incorreta pode ocasionar contaminação no meio ambiente devido à possível presença de substâncias como metais pesados, microrganismos patogênicos e até mesmo excesso de nutrientes que compõe o biossólido (NEVES, 2017).

A atual proposta de pesquisa consiste na caracterização e verificação do potencial de criação de um hidrogel fertilizante, como uma alternativa capaz de combater a exploração do trabalho infantil, proporcionar melhorias no reflorestamento e ainda potencializar culturas da região. Tal aplicação que tem como caráter inovador o uso dos rejeitos do APL Têxtil e Confecções em subsidiar outros APL's que possuam necessidades de corretivos agrícolas, como o do café, laticínios, floricultura, cerveja, vitivinicultura, avícola e alimentos, podendo potencializar o panorama do desenvolvimento do agronegócio no Estado.

## **2. OBJETIVOS**

### **2.1. Objetivo geral**

Caracterizar quimicamente o lodo proveniente das lavanderias de Caruaru para a produção de um gel fertilizante que poderá ser aplicado em alguns Arranjos Produtivos Locais no Estado de Pernambuco.

### **2.2. Objetivos específicos**

- Promover aos órgãos ambientais municipal e estadual, além de empresas interessadas, os níveis de concentração de compostos orgânicos e inorgânicos presentes nos lodos.
- Realizar o estudo da distribuição superficial geográfica do potencial poluidor dos lodos distribuídos em diversas lavanderias de Caruaru.
- Desenvolver a rotina de monitoramento da qualidade dos resíduos sólidos através da coleta e diversas análises químicas nos lodos gerados nas lavandeiras de Caruaru.

### **3. REVISÃO DE LITERATURA**

#### **3.1. Setor têxtil no mundo**

A indústria têxtil responde por mais de 37% da atividade industrial total na Europa, estando entre as indústrias de bens de consumo mais essenciais, empregando aproximadamente 1,7 milhões de pessoas apenas na Europa (EURATEX, 2017 :FRANCO, 2017). A China aparece nas pesquisas como o maior produtor e o maior consumidor de algodão do mundo, ainda é classificado como o maior investidor mundial nos segmentos de fibras curtas, tendo aumentado o seu investimento em 6% em 2019. Alguns estudos desenvolvidos até o ano de 2020 estimam que a China já é a maior fornecedora de fibras, fios e tecidos (CAMPO GRANDE NEWS, 2020).

Segundo Associação Brasileira da Indústria Têxtil e de Confecção - ABIT (2019) a Ásia é responsável por 73% dos volumes totais de confecções têxteis produzidos no mundo, por ordem de produção temos a China, Índia, Paquistão, Coreia do Sul, Taiwan, Indonésia, Malásia, Tailândia e Bangladesh. O Brasil ocupa a quarta posição entre os maiores produtores mundiais de artigos de vestuário e a quinta posição entre os maiores produtores de manufaturas têxteis.

Segundo a Abit (2013) a China, Índia, Indonésia, EUA e Taiwan foram os principais fornecedores de produtos têxteis para Brasil em 2012, no mesmo período a Argentina, EUA, Paraguai, Uruguai e Venezuela se destacaram sendo os maiores compradores. Depois da China, os maiores investidores em 2016 foram a Turquia e a Índia, (CAMPO GRANDE NEWS, 2020).

De acordo com os dados da Abit (2013) a China era a maior fornecedora do Brasil, em 2012 com 43% do volume total importado de jeans tecido, no mesmo ano a Argentina se destacou como a maior compradora. Mas, reduziu o volume de negócios em 14% nos anos de 2010, 2011 e 2012 em função de vários embargos que os argentinos criaram para os exportadores brasileiros.

A Turquia é o país com maior número de estudos relacionados à implementação de práticas de Produção Mais Limpa (P+L) na indústria têxtil, com o objetivo de aumentar a eficiência e minimizar os riscos às pessoas e ao meio ambiente (OLIVEIRA NETO et al., 2019).

### 3.1.1. Setor têxtil no Brasil

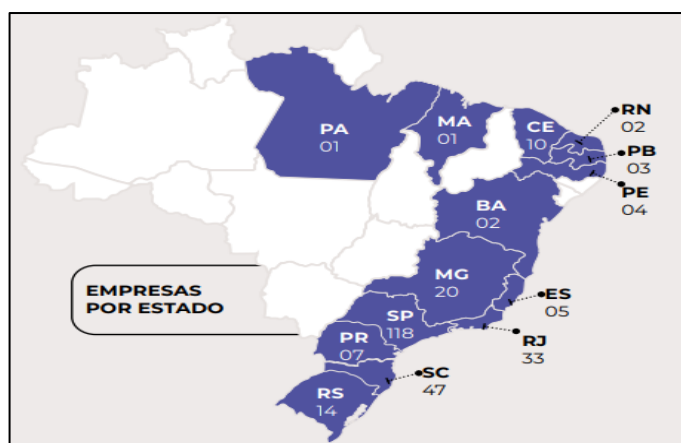
No Brasil produz desde as fibras até às confecções, possui uma das últimas cadeias têxteis completas do ocidente (ABIT, 2013). O país ocupa apenas a 25ª posição entre os exportadores, com a participação de 0,8% em valor importado embora o Brasil seja um grande produtor e consumidor de têxteis e de vestuário (IEMI, 2016).

A indústria têxtil é de grande importância para o setor econômico do país, atualmente emprega 1,6 milhão de pessoas de forma direta, sendo que a maioria são mulheres (ABIT, 2019). Segundo os mesmos autores a indústria da moda é o segundo maior empregador na indústria de transformação e, também, segundo maior gerador do primeiro emprego.

O setor têxtil é um dos mais antigos do Brasil, cresce de acordo com o impulso da demanda. O setor têxtil global é responsável pelo crescimento social e econômico de muitos países emergentes, incluindo o Brasil, produz cerca de 83 milhões de toneladas anualmente (OLIVEIRA et al., 2020).

Dados relativos entre o período de 2014 e 2015 mostram que 253 empresas participam do Programa de Internacionalização da Indústria da Moda Brasileira (Texbrasil), sendo que 176 são exportadoras e 77 não exportadoras, divididos em quatro segmentos: calçados, têxtil, não tecidos e vestuário. Em 2018, o número de empresas aumentou para 285, 119 não exportadoras e 166 exportadoras. Em 2019, os dados mostram a participação de 365 empresas, 156 não-exportadoras e 209 exportadoras. Até setembro de 2021, o programa contou com 328 empresas, 190 são exportadoras diretas, e dessas, 150 apresentaram crescimento nas exportações se comparadas ao mesmo período de 2020. Podemos observar o crescimento do setor têxtil entre o período analisado, os dados apontam um aumento de aproximadamente 66% do segmento têxtil. Entretanto, entre janeiro e outubro de 2022, 81 ações foram realizadas, que beneficiaram 315 participações de empresas. Em novembro de 2022 temos 267 empresas participantes, sendo que 28 são empresas novas e que não participaram do projeto no convênio anterior (ABIT, 2015; ABIT, 2018; ABIT, 2019; ABIT, 2020; ABIT, 2022).

Segundo os dados disponibilizados por Abit (2022) na figura 1, podemos visualizar os estados e a quantidade de empresas que participam do Programa Texbrasil.



**Figura 1- Mapa de localização dos estados que fazem parte do programa Texbrasil.**  
 Fonte: (ABIT, 2022).

De acordo com Abit (2019), o Brasil possui a maior cadeia produtiva integrada do Ocidente produzir desde as fibras até as confecções. O Brasil atualmente é a quinta maior indústria têxtil do mundo representando uma parcela importante da indústria química (CAVALCANTI & SANTOS, 2021). A indústria têxtil no Brasil é composta por diversos polos como, o do Agreste Pernambucano, o do Ceará, o do Vale do Itajaí, em Santa Catarina, e o de Americana, em São Paulo.

Dentre as cidades que integram o Arranjo Produtivo Local do Agreste de Pernambuco destacam-se Caruaru, Toritama e Santa Cruz do Capibaribe, que despontam como grande repositório de demandas socioambientais ocasionadas pela exploração de recursos naturais desde a sua criação.

Apesar disso a indústria têxtil vem contribuindo significativamente para estimular o mercado, gerando empregos, aumentando a economia industrial, acelerando a urbanização e promovendo o desenvolvimento social (ZHAO & LIN, 2019). Apesar da vantagem econômica, esse tipo de atividade causa diversos impactos ao meio ambiente, devido a quantidade de resíduos gerados durante o processo produtivo.

### 3.1.2. Processo produtivo

O processo de produção têxtil ocorre a partir da produção de fibras de tecidos, sejam elas naturais como algodão, seda, linho, lã, juta, sintéticas como poliamida, poliéster, elastano e polipropileno, ou artificiais como viscose e acetato (LUCENA,

2014). O processo pode ser basicamente dividido em fiação, tecelagem ou malharia, corte, costura, acabamento e embalagem (DUTRA, 2010).

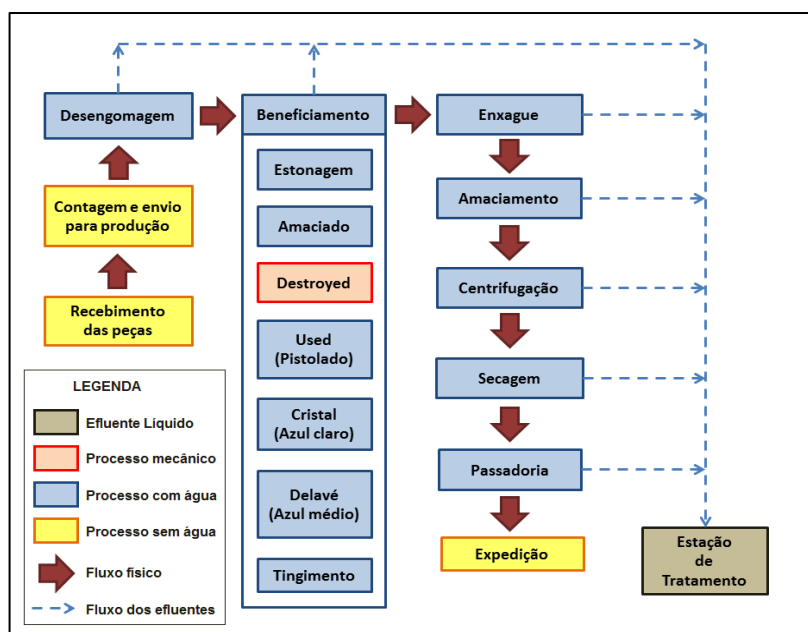
De acordo com os estudiosos as tendências de investimentos em maquinaria para fiação, tecelagem e tricotagem são um indicador fundamental das fontes da produção têxtil para o futuro (CAMPO GRANDE NEWS, 2020).

A fiação corresponde a etapa responsável pela matéria-prima fibrosa se transforma em fios. Primeiramente as fibras devem ser previamente tratadas e suas características físicas condicionam o processo a ser utilizado (DAMÁSIO & MONTEIRO, 2020).

De acordo com Queiroz et al. (2019) após o processo de fiação os fios são destinados à tecelagem. A tecelagem e/ou malharia são etapas de criação, os tecidos podem ser planos, em malha circular ou retilínea, a partir das escolhas dos clientes. Depois passam pela etapa de preparação que envolve o corte, costura e o acabamento de tecidos, malhas ou artigos confeccionados e estão prontas para seguir para as indústrias do setor confecção.

As peças jeans são recebidas nas lavanderias onde são separadas e pesadas seguindo o processo das lavanderias Figura 2 de acordo com a compra e escolha do cliente. Inicialmente, passam pela etapa de desengomagem para remover a “goma” aplicada ao fio de urdume (comprimento do tecido) durante o processo de engomagem de fios.

Em seguida passam para a etapa do beneficiamento conforme a estação da moda e a escolha do cliente, essas peças podem passar pela estonagem, amaciamento, destroyed, tingimento, entre outros. Após o beneficiamento as peças passam pela etapa de enxague, amaciamento, centrifugação, secagem, passadoria e pôr fim a expedição (SILVA & XAVIER, 2020).



**Figura 2 - Esquema geral dos processos das lavanderias.**

Fonte: O Autor (2023).

No quadro 1 contém as algumas etapas de beneficiamento das peças jeans, do tratamento de efluente têxtil citadas anteriormente e o levantamento de alguns produtos químicos que são usados em cada etapa.

<b>Etapas</b>	<b>Produtos químicos</b>	<b>Referência</b>
Desengomagem (por oxidação)	Peróxido de hidrogênio, hipoclorito de sódio ou clorito de sódio.	CPRH; GTZ, 2001.
Alvejamento	Cloro ou peróxido de hidrogênio.	CPRH; GTZ, 2001.
Tingimento	Corantes.	CPRH; GTZ, 2001.
Lavagem	Detergentes, sabões, sequestrantes e neutralizantes.	CPRH; GTZ, 2001.
Amaciamento	Amaciantes.	CPRH; GTZ, 2001.

Tratamento de efluente (físico-químico)	Cloreto férrico, sulfato ferroso, sulfato de alumínio, sais de alumínio e de ferro ou de polímeros sintéticos ou vegetais catiônicos	OLIVEIRA, 2008; CINTRA, 2009.
---	--	----------------------------------

**Quadro 1- Levantamento dos insumos químicos usados nas lavanderias.**

Fonte: O Autor (2023).

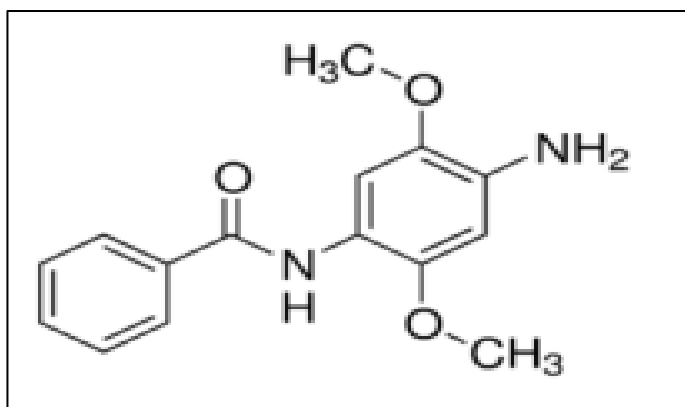
### 3.2. Características do efluente têxtil

O tratamento das águas residuais requer atenção, por serem consideradas um dos principais poluentes para o meio ambiente devido as características específicas, como alta concentração de carbono orgânico e inorgânico, cor forte, pH e toxicidade e baixa biodegradabilidade (ANVARI et al., 2014; GARCIA; -SEGURA et al., 2018).

As águas residuais geradas pela indústria têxtil pode ser uma das mais impactantes ao meio ambiente, isto devido ao grande volume de água necessária no setor produtivo, principalmente na etapa de tingimento e acabamento este problema se torna ainda mais grave devido aos resíduos de corantes e pigmentos que não fixam nas fibras que são incorporados na água residual dificultando seu tratamento (SU et al., 2016).

Os corantes têxteis são classificados como naturais ou sintéticos, cuja a utilidade é promover coloração a uma determinada fibra (KATHERESAN et al., 2018; CHEN et al., 2019). Conforme o modo de fixação, os principais grupos de corantes podem ser visto em: reativos, diretos, azóicos, ácidos, à cuba, de enxofre, dispersivos, pré-metálicos e branqueadores (SOUTO, 2023). Dentre eles um dos principais são os corantes sintéticos azóico que são amplamente utilizados para tingir tecidos (ZAKERHAMIDI et al., 2010; CHEN et al., 2017). Entre os corantes azoicos utilizados o fast blue RR é uma variação do corante fast blue B, se apresenta na forma de pó cristalino de coloração azul escura. Pode-se observar a fórmula molecular do azocorante fast blue RR na (Figura 3).





**Figura 3 - Fórmula molecular do fast blue RR.**

Fonte: <http://www.sigmaaldrich.com/catalog/product/aldrich/201545?lang=pt&region=BR>.

Representando a classe mais difundida de corantes, que constituem mais de 70% da demanda industrial global (aproximadamente 9 milhões de toneladas) (RAWAT et al., 2016). Além da utilização na indústria têxtil, os azo-corantes são muito utilizados nas indústrias de alimentos, cosméticos e pintura (SAFARIK et al., 2019; RAWAT et al., 2018). Vale ressaltar que a composição e o nível de contaminação dos efluente têxtil irá depender dos produtos usados no processo produtivo.

Diante disso, estes efluentes devem ser tratados antes de serem lançados no corpo hídrico para não causar contaminação no ecossistema aquático (ALMEIDA, et al., 2016).

### 3.2.1. Efluente têxtil e suas problemáticas ambientais

A água residual geradas na indústria de tingimento têxtil contém um cerca de 72 substâncias tóxicas, das quais 30 não podem ser removidos por processos de tratamentos (BHATIA et al., 2017). O efluente não é apenas tóxico, mas também é enriquecido pela presença de substâncias químicas mutagênicas e teratogênicas, bem como carcinogênicas (AFROZE; SEN; ANG, 2015).

De acordo com a estimativa do Banco Mundial, a indústria têxtil de tecido gera aproximadamente 20% do efluente industrial (KANT, 2012; CRUZ et al., 2019).

Diante disso, a preocupação ambiental a respeito desse tipo de indústria se torna maior, principalmente, pelo fato de que estas requerem uma elevada demanda de água no processo produtivo, gerando aproximadamente 100L de efluente por quilo de tecido produzido, o lançamento direto de efluentes têxteis causa poluição das águas superficiais e subterrâneas (ALMEIDA et al., 2016; BHATIA et al., 2017). De acordo com a pesquisa

realizado por Fonseca (2017) foi registrado o consumo de 1.500.000 litros de água adquiridos por caminhão-pipa para o mês de novembro de 2016 em uma lavanderia têxtil de Caruaru-PE, para a produção de 40.000 peças por mês. Com base nas informações adquiridas foi determinado o consumo 37,5 litros de água por peças de roupas, aplicando a equação 1 de indicadores, temos:

$$Ca = \frac{Qa(l)}{Qp (pc)} = l \text{ por peças} \quad (1)$$

Onde:

Ca: Consumo de água; Qa: Quantidade de água; Qp: Quantidade de peças.

Ainda em relação ao uso de água, verificou-se que 56% das lavanderias consomem entre 30 a 60 litros de água por kg de jeans produzindo (DA SILVA FILHO et al., 2021). A quantificação depende de alguns fatores, ente eles as variações nos tipos de beneficiamentos realizados. Essa água residual pode conter inúmeros contaminantes, principalmente os corantes sintéticos que são usados para colorir os tecidos, quando não se fixam geram um grande volume de águas residuais coloridas. Causando diversos impactos ambientais devido à alta solubilidade, cor residual e baixa biodegradabilidade requerer esforços adicionais para limpeza adequada das águas, alta carga de DBO e DQO, pH alcalino (LEE et al., 1999; BHATIA et al., 2017). Cerca de 80% dos corantes estão ligados covalentemente a fibras têxteis, sendo que o restante é perdido durante o processo de tingimento (CRUZ et al., 2019), como podemos observar na figura 4 abaixo.



**Figura 4 - Descarte inadequado do efluente têxtil.**

Fonte: (IRINEU, 2010).

Os efluentes da indústria têxtil são considerados um grande problema ambiental quando lançados nos corpos hídricos de forma incorreta (SILVA; ARGONDIZO; SEKI, 2020). Por isso, existe padrão de descarga de águas residuais estabelecido por vários órgãos reguladores ambientais / de poluição (KAUR et al., 2017; KAUR et al., 2018).

Como pode ser visto o setor têxtil é fundamental para o desenvolvimento econômico. Entretanto, proporciona impactos ambientais, causados devido a qualidade e ao grande volume de efluentes que são lançados nos corpos hídricos e os resíduos gerados e descartados sem os devidos tratamentos.

Quando os efluentes são lançados sem os devidos tratamentos adequados pode ocorrer interferência no processo de fotossíntese, o aumento da quantidade de matéria orgânica, causa turbidez da água dificultando a penetração dos raios solares, consequentemente, provocando a eutrofização do corpo hídrico (Wachholz e Lizama, 2021).

Além disso, os compostos químicos despejados na água podem causar bioacumulação ter alta toxicidade no organismo humano (MENDES; DILARRI; PELEGRINI, 2015; WACHHOLZ & LIZAMA, 2021). Afetando todo o ecossistema aquático e tornando-a imprópria para o consumo humano.

### 3.2.2. Tratamento do efluentes

De forma a reduzir a carga poluidora dos efluentes e atender a legislação surgiu a necessidade de buscar alternativas para mitigar os impactos ambientais. Várias opções têm sido propostas para a remoção de corantes de águas residuais de uma forma não seletiva, incluindo processos físicos, químicos e biológicos (LIU et al., 2018; YANG et al., 2019).

Sendo assim, alguns métodos de tratamento apropriado e eficiente, podem ser vistos como sugestões das possíveis técnicas: O tratamento físico-químico (TERA AMBIENTAL, 2020); Biodegradação (BALAN, 1998; BURATINI, 2008); Ultrafiltração (SILVA, 2004); Separação por membranas (LANG, 2009); Adsorção (KUMAR et al., 1998; CHOY et al., 2000), entre outros.

De acordo com Lorena et al. (2018) a lavanderia de beneficiamento do APL têxtil e de confecções de Pernambuco, Brasil, localizada em Caruaru-PE em estudo apresenta uma estação de tratamento primário de efluente, área composta de leito de secagem de lodo e uma área de estocagem provisória de lodo. Os resíduos finais deste processo são destinados a um aterro sanitário. Nas lavanderias de beneficiamento utiliza-

se o processo de tratamento físico-químico. Inicialmente, o efluente bruto é lançado no tanque de equalização e passa por uma homogeneização com hélices. Posteriormente, o efluente recebe uma dosagem de alguns produtos químicos (soda, sulfato de alumínio, cal e polímeros), depois são bombeados juntamente até os tanques de floculação. O efluente bruto decanta e o tratado fica na superfície. Este é canalizado para o rio. O efluente bruto decantado é levado para os leitos de secagem, até estarem suficientemente secos para serem ensacados e descartados.

Um dos problemas no tratamento de águas residuárias é a geração de lodo. Sendo que, além de requerer um determinado tempo para o processo de secagem, a destinação final gerar um certo custo para a empresa.

### 3.2.3. Legislação para efluentes têxtil

Visando uma proteção ambiental foram criadas leis nas esferas nacionais, estaduais e municipais. Estabelecendo condições e padrões de o lançamento de efluentes industriais a um corpo receptor, de acordo com a classificação do trecho do rio no qual o efluente irá ser lançado. Entre os parâmetros inclui cor, turbidez, pH e temperatura que podem modificar o meio e causar diversos impactos.

Diante disso, existe uma preocupação em relação ao lançamento dos efluentes de forma direta e indiretamente, principalmente quando se trata de águas residuais proveniente de lavanderias têxteis. Mas, infelizmente ainda não se tem uma legislação específica para efluentes têxteis. Logo, as lavanderias industriais devem seguir os padrões e exigências determinadas pelas legislações vigentes.

Em nível nacional, se destaca a resolução do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) 357/05 “dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes”, no art. 1º estabelece a classificação e diretrizes ambientais para o enquadramento dos corpos de água superficiais, bem como as condições e padrões de lançamento de efluentes.

Sendo que posteriormente, foi criada a Resolução 410/2009 e a 430/2011, alterando parcialmente e complementando a Resolução no 357/ 2005, do Conselho Nacional do Meio Ambiente-CONAMA. A resolução 430/11, no art. 1º “dispõe sobre condições, parâmetros, padrões e diretrizes para gestão do lançamento de efluentes em corpos de água receptores”. No entanto, é necessário destacar que em alguns estados ou

municípios há legislações próprias. De acordo com a classificação do trecho rio no qual o efluente irá ser lançado.

Além de atender a legislação, favorece o setor econômico da indústria de forma que o resíduo líquido ao passar por um tratamento eficiente e a depender da sua qualidade possa retornar como matéria-prima ao processo produtivo novamente, dando valorização ao produto que antes era considerado um resíduo.

### **3.3. Características do lodo**

A lama proveniente do tratamento dos efluentes de tingimento têxtil são extremamente difíceis de tratar, devido ao seu alto teor de poluentes complexos, como corantes, surfactantes, íons de metais pesados, detergentes, solventes e compostos recalcitrantes (NING et al., 2014).

O lodo têxtil tem composição variável (BALAN E MONTEIRO, 2001) e normalmente apresenta elementos como matéria orgânica, micronutrientes e macronutrientes (MARTINELLI et al., 2002). A composição do lodo depende do material usado no processo produtivo e dos reagentes utilizados no tratamento de em efluentes.

Segundo o estudo desenvolvido por Zou et al. (2019) a lama de tingimento têxtil contém materiais orgânicos tóxicos, como agentes de tingimento, surfactantes, aditivos, hidrocarbonetos aromáticos policíclicos (PAHs), poluentes orgânicos persistentes (POPs), aminas aromáticas (AAs) e metais pesados.

Para Anjos (2017) os lodos gerados possuem características semelhantes, algumas destas características são: alto teor de umidade, presença predominante de alumínio, sódio, ferro, silício e fios de tecidos. O ferro e o alumínio são constituintes de produtos utilizados no processo de tratamento do efluente, ficando retidos no lodo.

#### **3.3.1. Lodo e sua problemática ambiental**

De acordo com Zhang et al. (2020) o lodo é um subproduto gerado na etapa final dos processos de tratamento de águas residuais, sendo acumulado em grandes quantidades em estações de tratamento de águas residuais municipais e industriais. Constituído basicamente por água, matéria orgânica e metais pesados e classificado como resíduo sólido não perigoso (VIOTTO et al., 2019). Entretanto, Lima (2019) afirma em seu estudo que devido as características de composição o lodo têxtil pode ser considerado um resíduo de Classe I, perigosos e tóxicos segundo a ABNT NBR 10.004.

O lodo proveniente do tratamento de efluente das lavanderias de beneficiamento têxtil após o período de secagem são ensacados e armazenados até atingir uma quantidade significativa para ser transportado e descartado em aterro sanitário industrial.

Tal resíduo causa impactos ao meio ambiente e à saúde pública quando descartados de forma incorreta. Estudos ressaltam problemas ambientais, devido o grande volume de lodo gerado e a destinação final adequada. Como exemplo a dimensão do volume de resíduos gerados durante o processo produtivo têxtil na China tem aproximadamente 20 milhões de toneladas de lodo úmido a cada ano, por métodos tradicionais de tratamento como floculação e digestão biológica (Ran et al., 2019; Zou et al., 2019; Liu et al., 2020). Entretanto, Huang et al. (2018) afirma que o lodo contém grandes quantidades de energia e nutrientes, e grande potencial de reutilização.

De acordo com o estudo desenvolvido por Fonseca (2017) em uma lavanderia têxtil de Caruaru-PE, a cada 3 meses são destinadas 2 toneladas de lodo para o aterro sanitário. Entretanto, Souto (2017) identificou em lavanderias estudadas uma média de 1,5 toneladas por mês na cidade de Caruaru. No mês de novembro de 2016 se produzia cerca de 40.000 peças de jeans por mês, com base nas informações coletadas Fonseca (2017) calculou conforme (equação 2) a quantidade de lodo gerado por cada peça de jeans lavada. Obtendo como resultado 17g de lodo para cada peça de jeans lavada, representando cerca de 3% do peso de 1 peça com estimativa média de peso de 500g, a quantidade por dia é 33 kg por dia.

$$Cl = \frac{Ql \text{ (kg)}}{Qp \text{ (pç)}} = kg/pç \quad (2)$$

Onde:

Cl: Quantidade de lodo gerado por peça; QL: Quantidade de lodo; Qp: Quantidade de peças.

Conforme Pietrobon et al. (2002) a quantidade de lodo gerada pelo leito de secagem é calculada em 350kg por dia, quantidade superior ao encontrado, essa divergência deve ser analisada criteriosamente em estudos futuros levando em consideração os insumos e processos utilizados.

Diante do exposto, surge a necessidade de buscar por alternativas que minimize ou anulem os impactos que podem ser causados com a destinação final ou aplicação incorreta. Uma das principais preocupações é em relação a destinação final adequada para

tal resíduo, devido a composição química e o volume. Por isso, a legislação vigente dispõe sobre a classificação do mesmo.

### 3.3.2. Legislação para lodo

A lei Federal 12.305 de 02 de agosto de 2010, que dispõe sobre o gerenciamento e destinação final dos resíduos sólidos, a reutilização do lodo residual têxtil pode ser considerada como uma ferramenta de preservação ambiental e grande fonte de matéria-prima para diversas aplicações industriais (SOUTO, 2017). No entanto, infelizmente reciclagem do resíduo não foi implementada na cadeia produtiva têxtil.

Para Oliveira et al. (2020) o lodo quando descartado em aterros sanitários, existe um impacto ambiental considerável, no solo e nas águas subterrâneas, devido aos metais pesados presentes no mesmo. No estudo desenvolvido por Anjos (2017) o lodo pode ser caracterizado como Classe II não inerte, não podendo ser depositado em um aterro sanitário comum.

Segundo a norma ABNT NBR 10004, lodos provenientes do sistema tratamento de água são classificados como resíduos tóxicos. O lodo gerado durante o processo de tratamento do efluente obtém uma composição química variada, podendo conter metais.

A Resolução Nº 375, de 29 de agosto de 2006, onde o CONAMA define critérios e procedimentos, para o uso agrícola de lodos de esgoto gerados em estações de tratamento de esgoto sanitário e seus produtos derivados. Entretanto, esta Resolução não se aplica a lodo de estação de tratamento de efluentes de processos industriais.

A norma técnica Companhia de Tecnologia em Saneamento Ambiental de São Paulo – Cetesb P4.230/1999, estabelece os procedimentos, critérios e requisitos para a elaboração de projetos, implantação e operação de sistemas de aplicação de lodos de sistemas de tratamento biológico de despejos líquidos sanitários ou industriais, em áreas agrícolas, visando atendimento de exigências ambientais.

A Agência de Proteção Ambiental Americana - APAA (USEPA – United States Protection Agency) tabela 1, desenvolveu uma análise de risco para estimar os limites aceitáveis para a aplicação de biossólidos ao solo com base na concentração dos elementos-traço, estabelecendo 14 rotas de contaminação, com base nas diferenças de comportamento entre esses elementos, algumas das quais estão referenciadas por seus respectivos números.

**Tabela 1 - Limite de concentração de elementos-traço em biossólidos.**

<b>Elemento</b>	<b>Símbolo</b>	<b>Teor Médio</b>	<b>Taxa Anual</b>	<b>Limite Superior</b>
		mg Kg <sup>-1</sup>		
Arsênio	As	41	2.0	75
Cádmio	Cd	39	1.9	85
Cobre	Cu	15000	75	43000
Ferro	Fe	300	15	4300
Mercúrio	Hg	17	0.85	840
Molibdênio	Mo	-	-	75
Níquel	Ni	420	21	420
Selênio	Se	100	5.0	100
Zinco	Zn	2800	140	7500

Fonte: Agência de Proteção Ambiental Norte-Americana USEPA (2000).

Além disso, o CONAMA 420/2009 dispõe sobre critérios e valores orientadores de qualidade do solo quanto à presença de substâncias químicas e estabelece diretrizes para o gerenciamento ambiental de áreas contaminadas por essas substâncias em decorrência de atividades antrópicas. Levando em consideração a necessidade de prevenção da contaminação do solo visando à manutenção de sua funcionalidade e a proteção da qualidade das águas superficiais, subterrâneas e a existência de áreas contaminadas pode configurar sério risco à saúde pública e ao meio ambiente.

### 3.3.3. Tratamento para lodo

Segundo Lima (2019) as lavanderias tem a obrigatoriedade e a necessidade de tratamentos adequados para a disposição final apropriada do lodo têxtil em aterros sanitários. No estudo desenvolvido por Viotto et al. (2019) podemos observar algumas formas de tratamento do lodo que estão sendo desenvolvidas para a disposição final ambientalmente adequada deste resíduo como: gaseificação, pirólise, oxidação supercrítica, aplicação de protozoários, processos de recuperação de fosfato e outros processos de pré-tratamento focados no aumento da produção de biogás a partir do lodo.

Dentre as diversas técnicas de tratamento dos lodos, pode-se citar a secagem ou desidratação, solidificação ou estabilização e a incineração. Entretanto, os métodos convencionais de disposição final de lodo são principalmente aterros sanitários, compostagem e incineração (YU et al., 2018).



Em aspecto tecnológico, pode-se esperar por melhorias contínua dos processos existentes bem como a elaboração de novos processos inovadores e que visem o bem-estar do meio ambiente (GHALY et al., 2014).

Na China os dois principais métodos de descarte de a lama de tingimento têxtil são Aterro sanitário e incineração (NING et al., 2014). Segundo Liu et al. (2018) nas estações de tratamento de águas residuais tradicionais, o lodo é geralmente submetido a polieletrólito condicionamento, prensa de correia ou desidratação centrífuga, com uma diminuição em seu teor de água de 93-99,5% para 75–80%.

Uma outra alternativa usada foi a torrefação úmida assistida por micro-ondas foi adotada no estudo para coprocessamento de lodo têxtil e biorresíduos feito por (ZHENG; LEE; LIN, 2020). Viotto et al. (2019) ressalta que o aterro sanitário é geralmente considerado uma solução universal para a eliminação de lodo devido ao seu baixo custo e facilidade de operação.

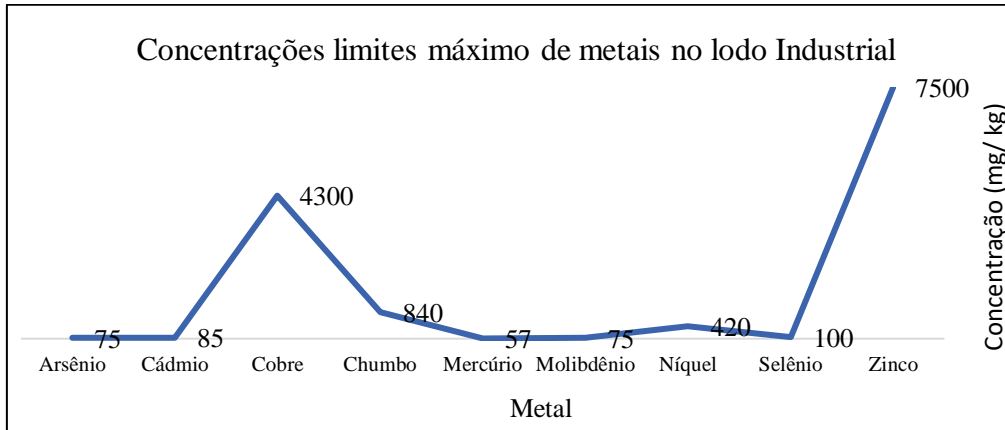
### **3.4. Aplicação para lodos têxteis**

Alguns estudos mostram a aplicação do lodo proveniente do tratamento dos efluentes domésticos e indústrias como uma solução econômica e ambientalmente viável. Desenvolvidos com o intuito de obter a valorização do resíduo, com aplicação de forma direta ou transformação do mesmo.

A produção de biocarvão, materiais cerâmicos, compósitos cimentícios e a geração de biogás a partir da digestão aeróbia do lodo têxtil, são exemplos de reutilização que reduzem a quantidade de resíduos depositado em aterros sanitários, contribuindo para um meio ambiente melhor, além de agregar valor a esse produto (SOHAIMI et al., 2017). Para Viotto et al. (2019) ressalta a aplicação do lodo no solo e o uso na indústria de construção civil e afirma que utilização de lodo industrial no solo inclui aplicações em pastagens, plantações, florestas, viveiros de plantas, parques públicos, gramados, hortas domésticas, entre outros. A utilização na agricultura serve como uma das principais prática de descarte de lodo por suas características fertilizantes (SANTORO et al., 2017). Além disso, a taxa de aplicação poderá, se basear na capacidade do lodo de neutralizar a acidez do solo (CETESB, 1999). Logo, o lodo têxtil pode ser utilizado como corretivo do solo, segundo os resultados obtidos por Prado e Natale (2004) o resíduo mostrou ser capaz de corrigir a acidez do solo, além de fornecer N, P, K, Ca, Mg, S, Zn e Mn.

A CETESB (1999) estabelece alguns critérios para caracterização e aplicação do lodo industrial em áreas agrícolas. Como podemos observar nos gráficos 1 e 2 os critérios para projeto e operação.

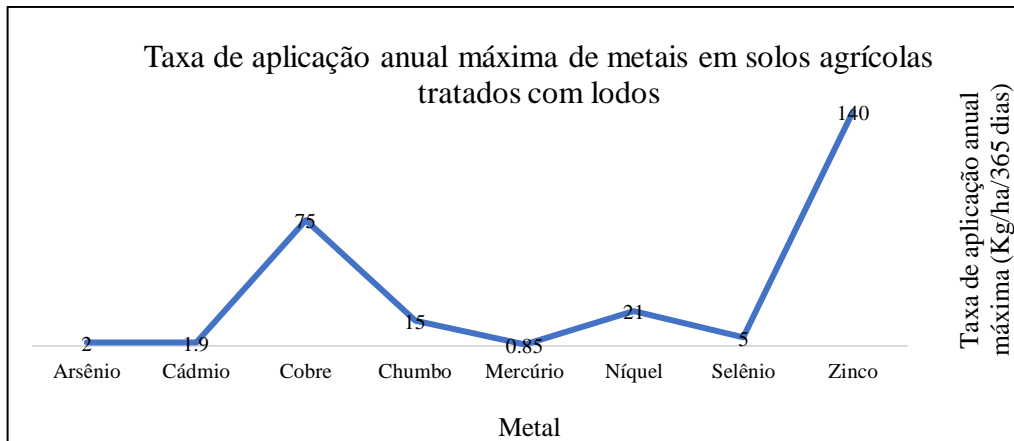
**Gráfico 1: Critérios para o Projeto de Aplicação de Lodos em Áreas Agrícolas.**



Fonte: (CETESB, 1999).

No gráfico 2 a seguir podemos observar um levantamento de dados com a proposta da aplicação do lodo têxtil como fertilizante, mostrando a relação da cultura com solo e os valores encontrados de macro e micronutrientes considerados adequados em estudos já desenvolvidos para proporcionar a máxima produção de tal cultura.

**Gráfico 2: Critérios para a determinação da taxa de aplicação.**



Fonte: (CETESB, 1999).

Para Apaolaza et al. (2005) a utilização agrícola de resíduos pode representar alternativas de menor custo em relação aos materiais convencionais como adubos e corretivos. O lodo apresenta potencial significativo para aplicação, atualmente existe poucos estudos desenvolvidos mostrando a eficiência do lodo industrial como adubo

fertilizante, o que pode ser explicado devido à composição química e os parâmetros estabelecidos pela a legislação.

Sendo que, quando os teores de metais pesados forem acima do permitido e não se adequar as normas, por exemplo CETESB P4.230/1999 que estabelece o uso em áreas agrícolas esse resíduo pode apresentar características favoráveis para ser aplicado como matéria prima nas indústrias de cerâmica. Como o estudo desenvolvido por Oliveira et al. (2018) que objetivou estudar a técnica de estabilização química do lodo e aplicar como base e sub-base de pavimentos.

Mesmo assim, ainda pode ser desafiador a utilização devida existe de algumas dúvidas sobre a composição e feitos ao longo prazo. Logo pode conter substâncias indesejáveis contaminando o solo e os recursos hídricos (SANTORO et al., 2017). O monitoramento do solo é um dos itens exigidos pela Companhia de Tecnologia em Saneamento Ambiental de São Paulo - Cetesb quando da apresentação de projetos de aplicação de lodo de curtume na agricultura (CETESB, 1999).

Castro et al. (2015) destaca a aplicação do lodo no setor agrícola como a alternativa mais utilizada no Brasil, na produção vegetal e recuperação de áreas degradadas. Com base no levantamento bibliográfico realizado pelo os mesmos os autores o milho aparece como a cultura mais testada o lodo de esgoto, em seguida temos o arroz, feijão, soja, milho e aveia e eucalipto. Entretanto, foi relatada por alguns grupos de pesquisa a utilização do lodo proveniente do tratamento de efluentes têxteis (Quadro 2).

<b>Cultura e o nome científico</b>	<b>Solo</b>	<b>Clima</b>	<b>Local</b>	<b>Referência</b>
Tifton ( <i>Cynodon sp</i> )	Latossolo Vermelho amarelo	Subtropical úmido.	Campos de altences-MG	Santos, 2012
Maracujazeiro-amarelo ( <i>Passiflora edulis f. flavicarpa</i> )	Subsolo Latossolo Vermelho	distróficoTropical de Savana	Jaboticabal-SP	Prado & Natale, 2004
Tomate ( <i>Solanum lycopersicum</i> )	substrato [turfa e substrato de perlita (70:30 em volume)]	Cfb de acordo com a Köppen e Geiger (quente e temperado)	Salttillo, Mexico	Narváez-Ortíz et al., 2013

Feijão-caupi ( <i>Vigna unguiculata</i> L. Walp)	Argissolo	Tropical	Igarassu-PE	Stanford et al., 2020
soja e trigo ( <i>Glycine max</i> e <i>Triticum spp.</i> )	Sistema de hidroponia em casa de vegetação	Tropical de altitude	Americana - SP	Araújo et al., 2005
Alface ( <i>Lactuca sativa</i> )	substrato de turfa de musgo e perlita (relação 70:30 v / v)	Cfb de acordo com a Köppen e Geiger (quente e temperado)	Saltillo, Mexico	Narváez-Ortiz et al, 2014
Soja e feijão-caupi ( <i>Glycine max</i> e <i>Vigna unguiculata</i> L. Walp)	Podzol amarelo	Tropical de altitude	Americana - SP	Araújo et al., 2007

**Quadro 2 - Estudos de culturas com a aplicação do lodo como adubo fertilizante.**

Fonte: O Autor (2023).

### 3.5. Aspectos e impactos ambientais das lavanderias têxteis

Como foi visto anteriormente para determinar os aspectos e impactos ambientais é necessário analisar todos os processos adotados nas lavanderias têxteis. Existe algumas normas e leis que contribuem para um processo industrial sustentável. A lei n. 1.413 de 14 de agosto de 1975 que dispõe sobre o controle da poluição do meio ambiente provocada por atividades industriais, regulamentando a prevenção ou remediação da poluição e contaminação do meio ambiente (BRASIL, 1975). A Lei n. 9.605, de 12 de fevereiro de 1998, a poluição decorrente de lançamento de resíduos, líquidos ou gasosos, em desacordo com as exigências considera-se crime ambiental e tem suas penalidades estabelecidas (BRASIL, 1998).

Como resultado da aplicação da legislação e fiscalização em 2009, 14 lavanderias localizadas em Caruaru-PE foram interditadas pela acusação de crime ambiental. O fato ocorreu devido o lançamento do efluente no corpo receptor de forma incorreta, até mesmo os empreendimentos com estação de tratamento de efluente não realizavam o tratamento adequado das águas residuais. Os responsáveis muitas vezes optam por economizar energia, insumos e água no processo (Silva et al., 2012).

Para Lorena et al. (2018) os riscos ambientais inerentes ao processo de lavagem e beneficiamento têxtil são considerados um fator negativo ao Arranjo Produtivo Local do Agreste Pernambucano. A produção gera contaminação nos corpos hídricos, no solo e no ar; além de desequilíbrio no ecossistema, por desmatamento da flora nativa; como também da feição social, por exposição dos trabalhadores a danos potenciais à saúde. O estudo dos autores consiste em estabelecer modelo de gestão de riscos em lavanderias de beneficiamento no APL têxtil e de confecções do Agreste de Pernambuco, baseado na ISO 31.000:2009, ocorrendo nos meses de novembro e dezembro de 2016, numa unidade fabril na cidade de Caruaru. Como resultado, foi possível estabelecer um modelo aplicado à indústria têxtil no segmento de lavagem de *jeans* com aderência as características locais. Para a validação do modelo, o mesmo foi aplicado à lavadeira em estudo, obtendo assim, dados quanto à identificação dos riscos demonstrando que os processos com maiores concentrações são o de lavagem e de geração de vapor (45,3%), sendo os riscos ecológicos como maior representatividade (51%). Concluiu-se que o modelo estabelecido, mesmo que preliminarmente, foi avaliado como satisfatório, visto o cumprimento das etapas pré-estabelecidas.

É notório que as indústrias causam poluição hídrica, sólida e atmosférica e colabora para degradação da flora nativa brasileira o que se acentua quando alinhadas a uma grande concentração de indústrias no mesmo território, a exemplo da cidade de Caruaru-PE, que apresenta quantitativo relevante de lavanderias têxteis no APL (BRITO, 2013; ROCHA, SILVA JUNIOR, VIANA, 2015). Os processos produtivos beneficiamento de jeans geram contaminação nos corpos hídricos e no solo, aumentados por descargas químicas oriundos da destinação inadequada de resíduos, no ar, por emissão de gases poluentes da queima da lenha, além de desequilíbrio no ecossistema, por desmatamento da flora nativa e da feição social, por exposição dos trabalhadores a danos potenciais á saúde (SILVA;BARROS;REENDE, 2005).

Outro consumo importante para as lavanderias que muitas vezes passa despercebido é a lenha para utilização nas caldeiras, que alimentam o maquinário, nos processos de lavagem, e é utilizado nos ferros de passar. O Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e Recursos Naturais (IBAMA) é responsável por impor infração e apreender material ilegal. A lei 9.605/98 define como única madeira a ser utilizada a do tipo algaroba (*Prosopis juliflora*). Segundo estudo feito por Lima (2014), são altos os custos das lavanderias que

utilizam a lenha como combustível para aquecer a água das caldeiras -de acordo com a CPRH, cerca de 70% das lavanderias.

O relatório da CPRH (2003) trouxe luz à situação das lavanderias e apresentou dados como: 33% delas funcionavam sem alvará, nenhuma possuía licenciamento ambiental, 67% utilizavam água vinda de carros-pipa e 70% delas despejavam os efluentes no rio Capibaribe sem tratamento, 85% não controlava a poluição atmosférica e 69,4% utilizava lenha como principal combustível (SILVA & XAVIER, 2020).

## **4. METODOLOGIA**

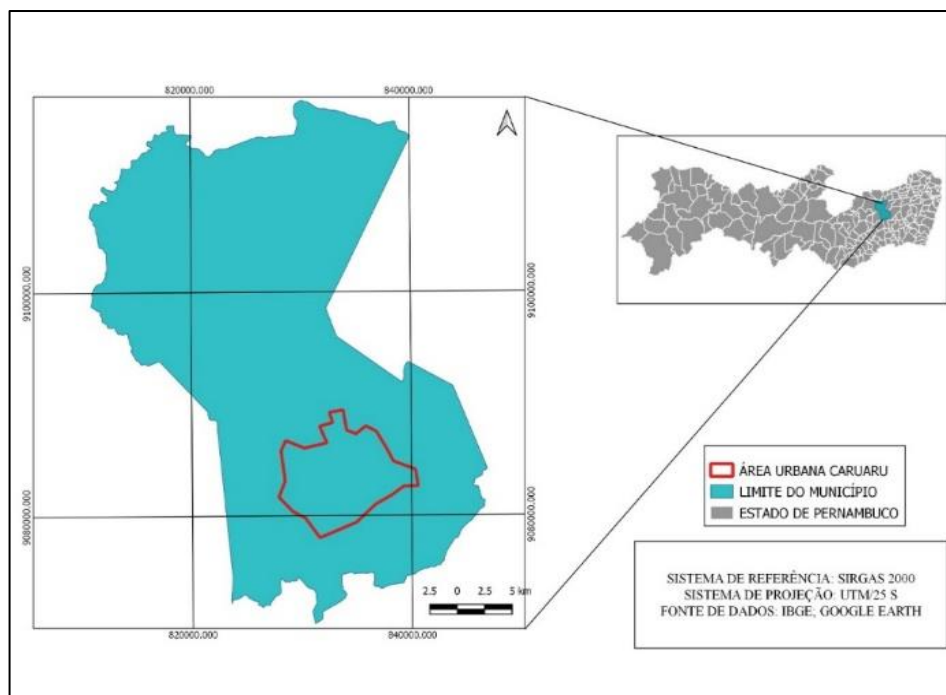
### **4.1. Área de estudo**

A pesquisa foi desenvolvida nas lavanderias industriais têxteis, na região do semiárido Pernambucano, onde se encontra instalado o Arranjo Produtivo Local de Confecções do Agreste de Pernambuco, composto por 10 municípios (Caruaru, Toritama, Santa Cruz do Capibaribe, Surubim, Cupira, Agrestina, Brejo da Madre de Deus, Riacho das Almas, Vertentes e Taquaritinga do Norte). Sendo objeto de estudo o município de Caruaru onde existem aproximadamente 73 lavanderias cadastradas, além daquelas que estão funcionando de forma irregular, de acordo com o cadastro do Sindicato da Indústria de Fiação e Tecelagem em geral (LIRA, 2019).

O município de Caruaru, situado no estado de Pernambuco, Brasil. Localizado no Agreste pernambucano, a 130km da capital. Com coordenadas geográficas de 08°17'S latitude e 35°58'W de longitude com altitude de 554 metros (MEDEIROS; HOLANDA; FRANÇA, 2021). Atualmente Caruaru possui população estimada de 369.343 habitantes e possui uma extensão territorial de 923,150 km<sup>2</sup> (BRASIL, 2020). Além de atrair muitos turistas que viajam com objetivo de comprar roupas no comercio da cidade para consumo próprio e revenda.

Segundo estudo desenvolvido por Araújo (2020), o bioma característico do município de Caruaru, é a Caatinga, o único exclusivamente brasileiro. De acordo com o mesmo autor existe uma predominância dos Planossolos em todo o município, no verão é quente e seco como em praticamente todo o semiárido e o inverno é curto, com precipitações, com ventos fortes e céu quase sem nuvens, à noite. O tempo é caracteristicamente abafado. Ao longo do ano a temperatura varia de 17° C a 32° C (ARAÚJO, 2020).

Na figura 5, pode-se observar o estado de Pernambuco, com destaque ao município de Caruaru onde se realizou a pesquisa. Como também a demarcação da área urbana onde fica localizado o polo industrial da cidade.



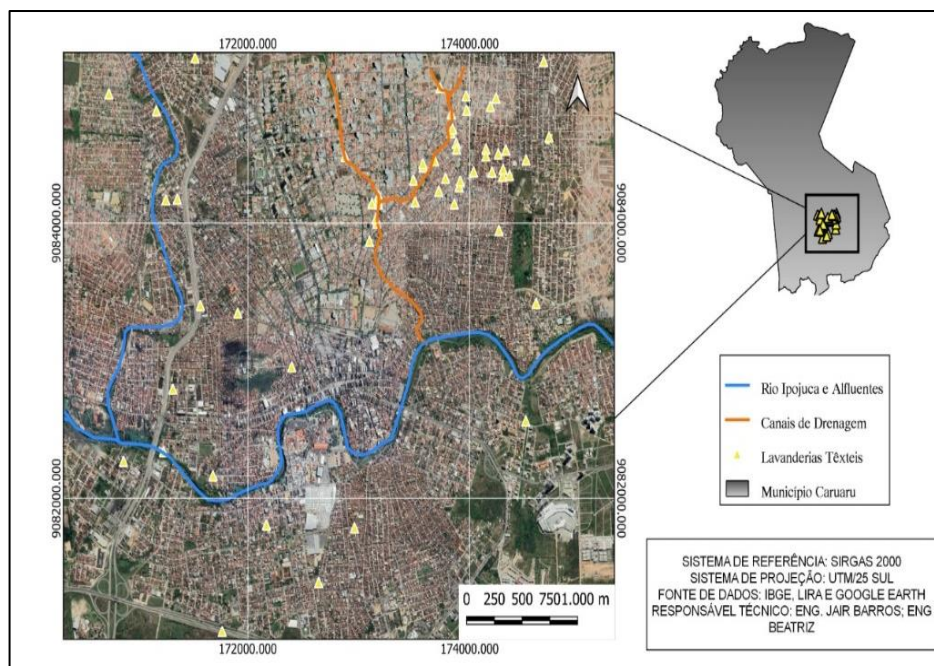
**Figura 5 - Mapa de localização município de Caruaru - PE.**

Fonte: O Autor (2023).

## 4.2. Procedimentos experimentais

As lavanderias cadastradas no Sindicato da Indústria de Fiação e Tecelagem em Geral do Município de Caruaru – Sinditêxtil, foram levantadas de acordo com as coordenadas georreferenciadas disponível no estudo desenvolvido por Lira (2019) usando o software ArcGis. Posteriormente, foi construído um mapa de localização das lavanderias do município (figura 6). As coletas das amostras foram feitas de acordo com a disponibilidade e autorização das empresas. Após a fabricação do mapa é possível a identificação que algumas lavanderias se encontram próximas do rio Ipojuca e afluentes. Sendo necessário ter uma atenção maior em relação ao tratamento, lançamento dos efluentes nos corpos hídricos, conseqüentemente, com o potencial poluidor das lavanderias.





**Figura 6 - Lavanderias do município de Caruaru - PE.**

Fonte: O Autor (2023).

Durante uma visita técnica foram coletadas 11 (onze) amostras de lodo depositado diretamente no leito de secagem das estações de tratamento de efluentes (ETE) das lavanderias de Caruaru. Para realizar as análises previstas, o material foi acondicionado em sacos plásticos transparente e devidamente etiquetados como pode ser observado na figura 7.



**Figura 7 - Coleta do lodo nas lavanderias têxteis.**

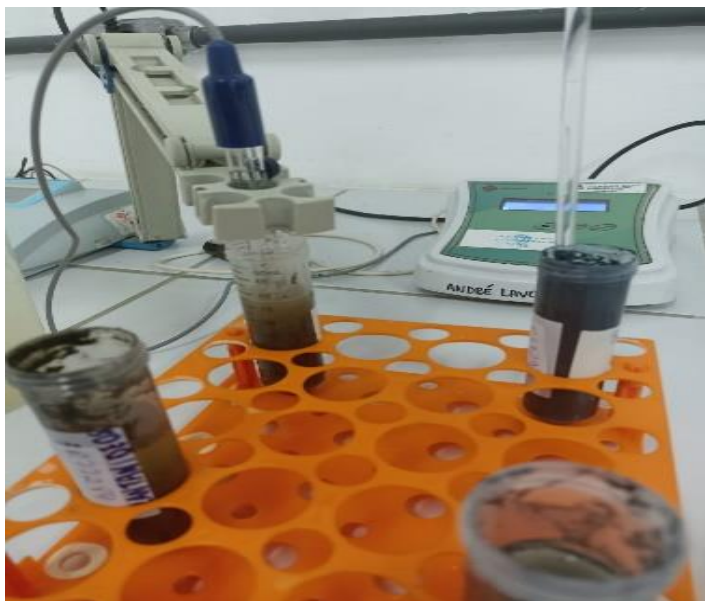
Fonte: O Autor (2023).

Posteriormente, o material ficou armazenado no Laboratório de Medicamentos, Tecnologias, Energias e Soluções Ambientais (LAMTESA) da Universidade Federal Rural de Pernambuco (UFRPE). As amostras passaram pelo o processo de secagem, utilizou-se béqueres de 250 mL contendo aproximadamente 200 gramas do lodo, as amostras foram colocadas em estufa a 100°C por 36 horas.

### 4.3 Caracterização do lodo têxtil em estudo

#### 4.3.1. pH

Para determinar o pH das amostras foram adicionados cerca de 12,5 gramas do lodo seco a um tubo falcon de 50mL contendo 25 mL de água destilada, para homogeneização das soluções foram utilizados bastões de vidro. Em seguida, aferiu-se o pH e a temperatura de cada amostra (Figura 8).



**Figura 8 - Determinação do pH das soluções.**

Fonte: O Autor (2023).

#### 4.3.3. Matéria orgânica

A análise tradicional do teor de matéria orgânica foi desenvolvida pelo método de queima em mufla, no laboratório de material de construção na UFRPE. Para cada amostra foi adicionado 10 gramas do lodo seco ao cadinho de porcelana e logo em seguida foram levados a mufla a aproximadamente 600°C por 8 horas (Figura 9). A porcentagem de matéria orgânica será determinada de acordo a equação 3.

$$\%MO = \left( \frac{Ps - Pm}{Ps} \right) * 100 \quad (3)$$

Onde:

%MO: Matéria orgânica em porcentagem; Ps: Massa total ou inicial; Pm: Massa após ser submetida a combustão.



**Figura 9 - Queima em mufla para determinar matéria orgânica no lodo.**

Fonte: O Autor (2023).

#### 4.3.4. Análise Espectrometria de Emissão Óptica com Plasma Acoplado Indutivamente (ICP/OES)

As espécies químicas inorgânicas (incluindo os metais pesados) foram analisadas em ICP-OES, no laboratório GEOSOL totalizando 25 (vinte e cinco) elementos a serem analisados (Ag, Al, As, B, Ba, Be, Bi, Ca, Cd, Co, Cr, Cu, Fe, K, La, Li, Mg, Mn, Mo, Na, Ni, P, Pb, Sb, Sc, Se, Sn, Sr, Th, Ti, Tl, U, V, W, Y, Zn e Zr).

Antes de enviar as amostras para o laboratório, realizou-se o preparo das amostras para análise no laboratório de Medicamentos, Tecnologias, Energias e Soluções Ambientais (LAMTESA). Manualmente foi retirado o máximo possível dos restos de tecidos como os fiapos, após isso as amostras foram peneiradas utilizando peneiras para análise granulométrica 90 mm/ $\mu$ m. Obtendo apenas as partículas inferiores, sendo possível encontrar a maior quantidade de metais devido às suas características, cerca de 10 gramas das amostras foram embaladas e identificadas com a etiqueta adesivas (figura 10).

No laboratório GEOSOL o lodo seco foi peneirado que consistiu em submeter uma alíquota de 1,0g de cada amostra a decomposição e solubilização com água-régia (mistura de ácido clorídrico com ácido nítrico na proporção 3:1) em placa aquecedora a 100°C por 12 horas. Posteriormente as amostras foram deixadas em repouso até a temperatura ambiente.

Por fim, as amostras foram filtradas, adicionadas em balão volumétrico de 50 ml e o volume aferido com solução de HNO<sub>3</sub> a 5%. Após o preparo, as amostras foram

analisadas pela técnica de espectrometria de emissão atômica com o método de fonte de plasma indutivamente acoplado (ICP/OES), os respectivos elementos em cada amostra: As, Cr, Cu, Ni, Pb e Zn. É importante e faz-se necessário declarar que foram utilizados reagentes e soluções de grau analítico, nesse estudo.



**Figura 10 - Amostras separadas e identificadas para análise.**

Fonte: O Autor (2023).

## 5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

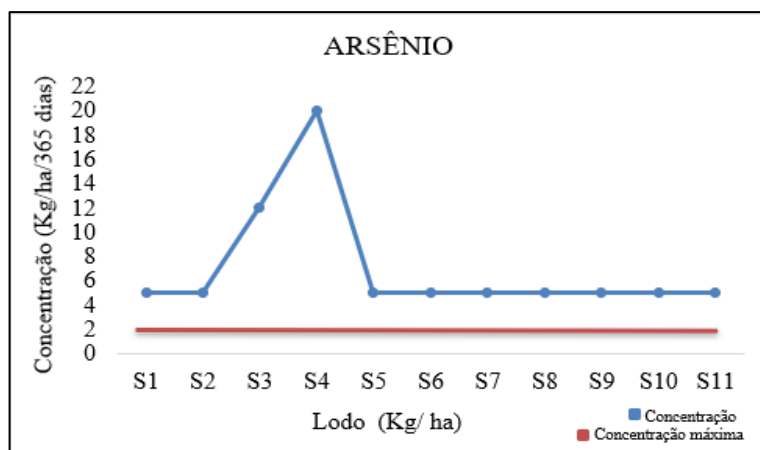
### 5.1. Quantificação do lodo

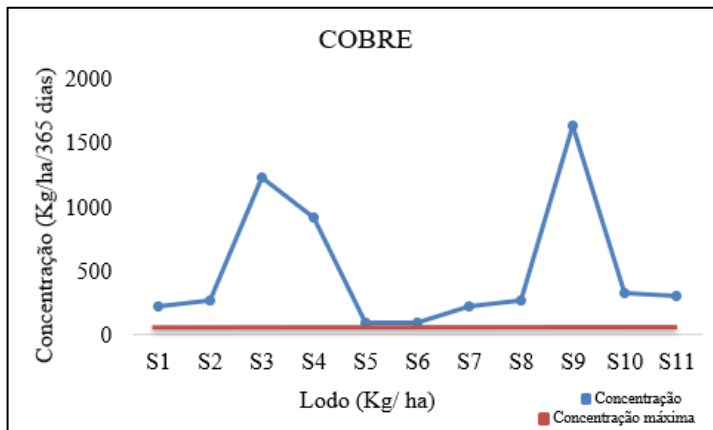
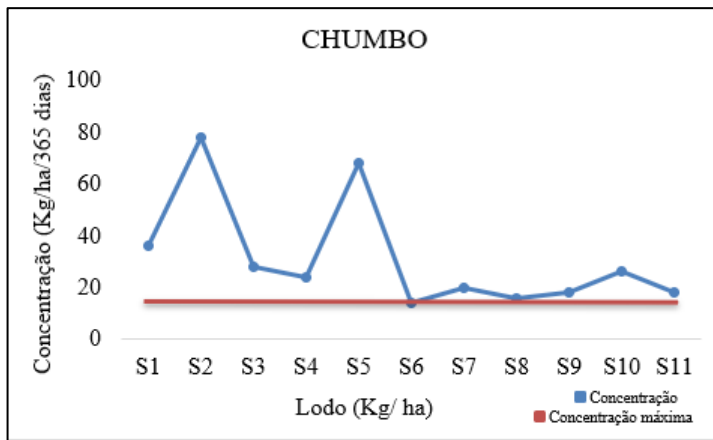
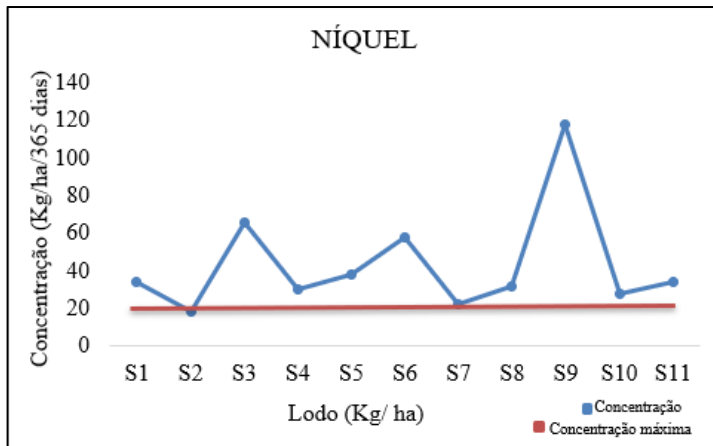
Considerando o estudo de indicadores realizado por Fonseca (2017) em uma lavanderia de Caruaru. Tal lavanderia produz cerca de 40.000 peças de jeans mensalmente e faz o consumo de 1.500.000 litros de água durante o processo produtivo. Após a aplicação e interpretação das equações 1 e 2, conclui-se que durante a etapa de beneficiamento do jeans são necessários 35,7 litros de água potável para cada peça produzida, conseqüentemente, gera cerca de 17g de lodo.

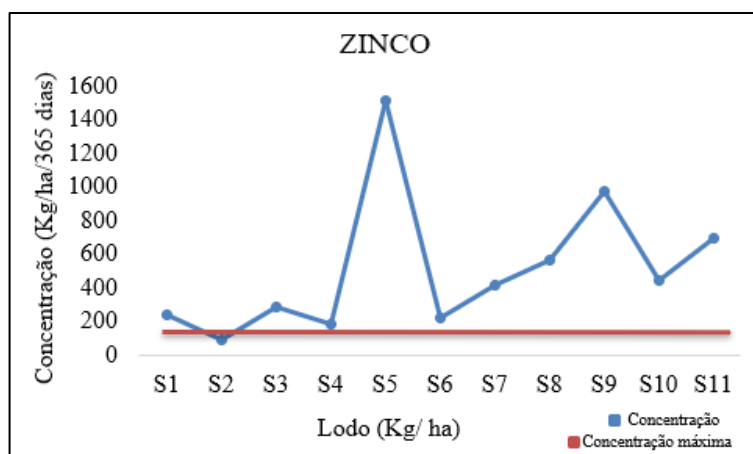
### 5.2. Caracterização química do lodo

Os resultados obtidos das análises química dos lodos em estudo pelo método (ICP/OES), foram comparados com os parâmetros máximos estabelecidos pela legislação (CETESB, 1999), na figura 11.

Para um melhor entendimento as amostras foram tituladas na ordem crescente como pode ser observado: lodo 1 (S1), lodo 2 (S2), lodo 3 (S3) e lodo 4 (S4), lodo 5 (S5), lodo 6 (S6), lodo 7 (S7), lodo 8 (S8), lodo 9 (S9), lodo 10 (S10) e lodo 11 (S11). Nos resultados a baixo são apresentadas as concentrações dos micronutrientes presente em cada amostra.







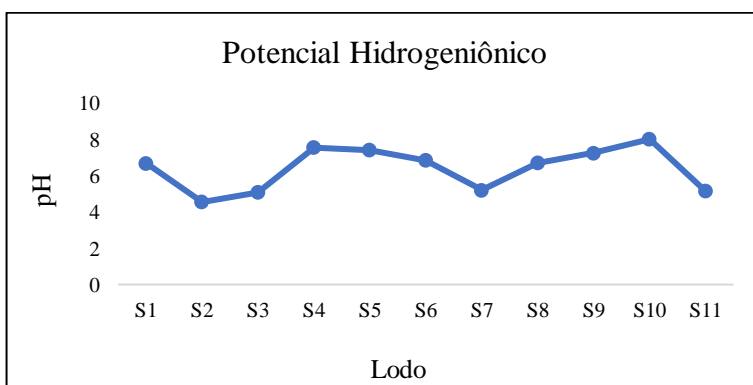
**Figura 11 - Comparação entre concentrações de micronutrientes nas amostras de lodo e o limite máximo para aplicação em solo Agrícola.**

Fonte: O Autor (2023).

Apartir dos dados obtidos alguns micronutrientes presente na composição das amostras foram apresentados na figura acima de acordo com a concentração  $\text{kg} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot 365$  dias. Os resultados foram comparados com os critérios da Cetesb (1999), por se tratar de legislação específica para determinação de taxa e limites de aplicação de metais em solos agrícolas tratados com lodo.

Um dos parâmetros analisados que também teve resultado significativo foi o pH variando de 5.1 até 8.0, gráfico 3. De acordo com Cintra (2009) o pH é um dos fatores do solo que mais influencia na disponibilidade dos micronutrientes. Além disso, os elementos traço têm sua solubilidade afetada pelo pH e pela calagem, a deficiência dos metais que são nutrientes pode ser induzida em valores de pH acima de 6, ocasião em que pode ocorrer a sua precipitação (McBRIDE et al., 1997).

**Gráfico 3: Potencial hidrogeniônico das amostras de lodo.**



Fonte: O Autor (2023).



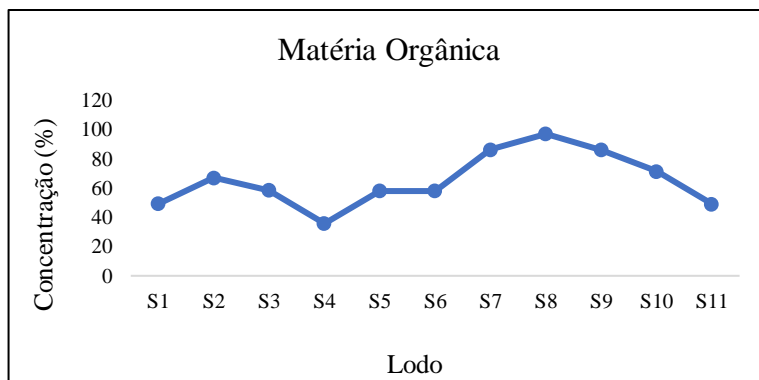
De acordo com a Cetesb (1999) a taxa de aplicação poderá, também, se basear na capacidade do lodo de neutralizar a acidez do solo. Nesse caso, deverá levar em conta os resultados dos ensaios de elevação de pH provocado pelo lodo (Anexo A.9) de modo a garantir que o pH final da mistura solo-lodo não ultrapasse o limite de 7,0 (determinação em CaCl<sub>2</sub>). estabilização com cal, mediante adição de quantidade suficiente para que o pH seja elevado até pelo menos 12, por um período mínimo de duas horas. Segundo o controle de pH para o aproveitamento do lodo é na faixa de 6,0 e 6,5 fora dessa faixa há absorção de alguns nutrientes e indisponibilidade de outros por isso os metais pesados podem se acumular nas plantas, impedindo o funcionamento satisfatório das suas funções vitais. Assim como as características do lodo, e da suma importância que o manejo seja adequado ao tipo de solo e cultivo de acordo com o tratamento (USEPA, 2003).

Ao analisarmos os resultados obtidos nas amostras, S1, S2 e S6 apresentam valores mais próximos do adequado para a aplicação, ou seja, a concentração de alguns metais analisados está dentro dos parâmetros máximos estabelecidos para a aplicação. Além disso, os resultados atendem automaticamente os padrões da Agência de Proteção Ambiental Norte-Americana - USEPA (2000) e o Conama 420/2009. Logo, o reaproveitamento do lodo nas lavouras possibilita a valorização do resíduo, com a aplicação direta ou utilizando-o como matéria-prima para a fabricação de produtos.

Diante do estudo realizado com base na análise dos micronutrientes presentes nas amostras, é possível estimar que S1, S2 e S6 por possuírem características semelhantes, podem ser aplicados como hidrogel fertilizante para culturas como tomate, alface, soja, trigo, cana, feijão, melancia e goiaba, entre outros. S3, S4 e S9 possuem concentração bem maior de alguns metais não permitidos, sendo recomendados para uso em reflorestamento. No entanto, mesmo que a concentração encontrada não atenda à taxa de concentração permitida, essas amostras também podem ser aplicadas em diferentes proporções.

Vale ressaltar que além da caracterização química do lodo, deve ser feito o estudo do solo e da cultura. Cabezas (2011) considera a taxa máxima referência para matéria orgânica do solo sendo 78.000 (kg/ha) para solos de alta fertilidade. Com base nos resultados podemos observar no gráfico 4 a relevância do teor de matéria orgânica para cada amostra de lodo, sendo que os resultados variaram entre (35.7 e 96.9 %).

**Gráfico 4: Concentração de matéria orgânica nas amostras de lodo.**



Fonte: O Autor (2023).

### 5.3. Aplicação do lodo como fertilizante agrícola

Cálculo de acordo com a norma CETESB P4.230/1999 para determinar os limites máximos dos elementos por kg de lodo/ha.

- Considerações para o cálculo:

Densidade do solo:  $1\text{g/cm}^3$ ; ( $1000\text{Kg/m}^3$ );

A camada arável: 0,2m;

Área por hectare:  $10.000\text{ m}^2$ ;

1 ha =  $2.000\text{m}^3$ ;

Logo,

$1\text{m}^3$  ————— 1000 kg

$2000\text{m}^3$  \_\_\_\_\_ kg

= 2000.000 Kg de solo.

Ou seja, 1 hectare equivale 2000.000 Kg de solo.

- A conversão da unidade foi realizada com base nas informações do website: <https://agronomiacomgismonti.blogspot.com/p/conversao-unidades.html>.

Como pode-se observar na tabela 2 foi realizado um cálculo para determinar a concentração de cada elemento presente em cada kg de lodo.

**Tabela 2 - Resultado dos cálculos sobre a concentração dos elementos em cada kg de lodo.**

Lodo	Cu (Kg de metal / kg de lodo)	Zn (Kg de metal / kg de lodo)	Pb (Kg de metal / kg de lodo)	Cr (Kg de metal / kg de lodo)	Ni (Kg de metal / kg de lodo)	As (Kg de metal / kg de lodo)
S1	0.34	0.58	0.41	17.85	0.62	0.40

S2	0.28	1.48	0.19	41.6	1.16	0.40
S3	0.06	0.49	0.54	7.04	0.32	0.16
S4	0.08	0.75	0.62	31.25	0.70	0.10
S5	0.76	0.09	0.22	12.19	0.55	0.40
S6	0.76	0.64	1.07	6.85	0.36	0.40
S7	0.33	0.34	0.75	16.12	0.95	0.40
S8	0.33	0.25	0.94	13.51	0.66	0.40
S9	0.04	0.14	0.83	3.76	0.17	0.40
S10	0.23	0.31	0.57	6.85	0.75	0.40
S11	0.25	0.20	0.83	6.33	0.62	0.4

---

Fonte: O Autor (2023).

Vale ressaltar que antes de determinar a dosagem correta de aplicação no solo deve-se levar em consideração as características do solo e as exigências nutricionais das plantas. O cálculo estimado foi realizado com base no limite máximo de metais permitido pela legislação (CETESB, 1999), considerado nenhuma ou próximo de zero presença de metais no solo e os valores recomendados de cobre e zinco para cada safra, também atendem aos limites mínimos dos demais metais em estudo.

Conseqüentemente, foi realizado o cálculo para determinar quantos kg de lodo pode ser aplicado em uma área de 1 hectare (tabela 3).

**Tabela 3 - Resultados da quantidade de lodo que se pode aplicar por hectare de acordo a (Cetesb, 1999).**

Lodo	Cu (Kg de lodo / ha)	Zn (Kg de lodo / ha)	Pb (Kg de lodo / ha)	Cr (Kg de lodo / ha)	Ni (Kg de lodo / ha)	As (Kg de lodo / ha)
S1	681.81 E03	1.15 E06	833.33 E03	35.71 E06	1.23 E06	800 E03
S2	563.90 E03	2.98 E06	384.61 E03	83.33 E06	2.33 E06	800 E03
S3	120.96 E03	979.02 E03	1.07 E06	14.08 E06	636.36 E03	333.33 E03
S4	161.98 E03	1.5 E06	1.25 E06	62.5 E06	1.4 E06	200 E03
S5	1.53 E06	184.45 E03	441.17 E03	24.39 E06	1.10 E06	800 E03
S6	663.71 E03	1.28 E06	2.14 E06	13.69 E06	724.13 E03	800 E03
S7	91.45 E03	673.07 E03	1.5 E06	32.25 E06	1.90 E06	800 E03
S8	663.71 E03	498.22 E03	1.87 E06	27.02 E06	1.31 E06	800 E03
S9	91.45 E03	288 E03	1.66 E06	7.52 E06	355.93 E03	800 E03
S10	460.12 E03	630.63 E03	1.15 E06	13.69 E06	1.5 E06	800 E03
S11	493.42 E03	401.15 E03	1.66 E06	12.65 E06	1.235 E06	800 E03

Fonte: O Autor (2023).

Após o desenvolvimento dos cálculos foi considerado a indicação de micronutrientes necessário para as culturas em estudo. Posteriormente, foi realizado os cálculos para cada elemento definidos e a dose necessária para a cultura, evitando a toxidez da planta e a contaminação do solo. Algumas culturas que requerem macro e micronutrientes que podem estar presentes no lodo. A aplicação de lodo têxtil como

fertilizante é uma alternativa que pode ser aplicada em diferentes culturas do APL como: sorgo, milho, soja e cana-de-açúcar. Com base nos resultados, temos a expectativa de aplicação dos lodos em estudo (tabela 4).

**Tabela 4 - Máximo permitido para aplicação de lodo nas culturas de milho, sorgo, cana-de-açúcar e soja.**

Lodo	Milho <sup>1</sup> (ton.ha <sup>-1</sup> )	Sorgo <sup>2</sup> (ton. ha <sup>1</sup> )	Cana de açúcar <sup>3</sup> (ton.ha <sup>-1</sup> )	Soja <sup>4</sup> (ton.ha <sup>-1</sup> )
S1	49.6	32.75	36.36	22.72
S2	127.65	27.06	30.07	18.79
S3	41.95	5.80	6.45	4.03
S4	64.52	7.77	8.64	5.4
S5	7.90	5.79	6.58	7.90
S6	55.04	40.36	45.81	51.02
S7	28.84	21.15	24.03	22.12
S8	21.35	15.65	17.79	21.35
S9	12.34	4.39	4.87	3.05
S10	27.02	19.81	22.52	15.33
S11	17.19	12.60	14.32	16.44

Fonte: 1 FAVARIN; TEZOTTO; RAGASSI, (2008), 2 CFSEMG (1999), 3 ROSSETTO & DIAS (2005), 4 PAS Campo (2005).

A conversão da unidade foi realizada com base nas informações do site: <<https://agronomiacomgismonti.blogspot.com/p/conversao-unidades.html>>.

Segundo CETESB, 1999 a taxa máxima anual de aplicação de metais em solos agrícolas tratados com lodo. Limite máximo de matéria orgânica para solos (CABEZAS, 2011).

A partir dos resultados, a aplicação do lodo têxtil como corretivo agrícola pode ser considerado como a melhor alternativa para a destinação final ambientalmente adequada. A utilização do lodo na agricultura serve como uma das principais práticas de disposição do lodo devido às suas características fertilizantes (SANTORO et al., 2017). Além disso, a taxa de aplicação pode ser baseada na capacidade do lodo em neutralizar a acidez do solo (CETESB, 1999). O lodo têxtil pode ser utilizado como corretivo de solo, segundo os resultados obtidos por Prado e Natale (2004) o resíduo se mostrou capaz de corrigir a acidez do solo, além de fornecer N, P, K, Ca, Mg, S, Zn e Mn. De acordo com da Silva

(2005) a lama têxtil foi eficiente na correção da acidez do Nitossolo e do Espodossolo, assim como a maior produção de matéria seca foi observada no Nitossolo após a aplicação da lama têxtil.

Alguns estudos mostram a aplicação de lodo de tratamento de efluentes domésticos e industriais como uma solução econômica e ambientalmente viável (OLIVEIRA; FUJI; BEVILACQUA, 2021). Segundo o estudo de Rosa (2004), um fator observado na lama têxtil é a ausência de agentes patogênicos (coliformes termotolerantes). O autor explica que a matriz orgânica do lodo urbano é muito mais complexa do que o lodo têxtil, afirmando a ausência de coliformes fecais no lodo têxtil está relacionada à alta temperatura e ao alto pH do efluente na estação de tratamento de efluentes. Tais fatores estabelecem condições inadequadas para a sobrevivência de patógenos e a presença de fenóis certamente contribui para a ausência de patógenos.

De acordo com os dados obtidos durante a pesquisa foi realizado um levantamento de estudos já desenvolvidos com objetivo de aplicação do lodo têxtil como fertilizante para culturas (tabela 5).

**Tabela 5 - Estudos com aplicação de lodo como fertilizante.**

Culturas	Características químicas (mg. kg <sup>-1</sup> )						Referências
	As	Cu	Cr	Ni	Pb	Zn	
Gramínea ( <i>Cynodon sp</i> )	-	42,2	75,2	-	28,2	75,5	Santos, 2012
Maracujá amarelo ( <i>Passiflora edulis f. Flavicarpa</i> )	-	700	6	15	11	800	Prado & Natale, 2004
Tomate ( <i>Solanum lycopersicum</i> )	0,16	323	66	22	-	286	Narváez-Ortíz <i>et al.</i> , 2013
Feijão-caupi ( <i>Vigna unquiculata L. Walp</i> )	3	110	28	17	18	121	Stanford <i>et al.</i> , 2020
Alface ( <i>Lactuca sativa</i> )	0,16	323	66	22	-	286	Narváez-Ortíz <i>et al.</i> , 2014

Milho ( <i>Zea mays</i> )	-	120	-	-	-	46	Da silva, 2005
Sorgo ( <i>Sorghum vulgare</i> )	-	13,63	-	-	-	160	Silva <i>et al.</i> , 2003

Fonte: O Autor (2023).

Segundo Assis et al. (2015), a maioria da população brasileira já fazia uso de algumas plantas medicinais. Os mesmos autores identificaram o boldo ( *Peumus negrito Molina* ), Cidreira ( *Melissa Officinalis L.* ), tendo a Canela ( *Cinnamomum Zeylanicum B.* ) como a mais consumida na feira do Ver-o-Peso, no município de Belém (PA), analisou o teor de metais totais como Fe ( $195,5 \pm 5,4 \text{ mg.Kg}^{-1}$ ), Cu ( $12,8 \pm 0,90 \text{ mg.Kg}^{-1}$ ), Zn ( $17,6 \pm 0,90 \text{ mg.Kg}^{-1}$ ) e Mn ( $76,5 \pm 3,20 \text{ mg.Kg}^{-1}$ ), disponível na forma de decocção e infusão. Os resultados mostraram suas concentrações abaixo do valor estabelecido pela Organização Mundial da Saúde (OMS).

Narváez -Ortiz et al. (2013) desenvolveram um estudo com a aplicação de lodo têxtil industrial bruto no substrato para cultivo de tomate, não foi encontrada evidência de transferência de metais pesados do lodo têxtil para o fruto, concluindo que não houve efeitos estatisticamente diferentes no rendimento de frutos e minerais. Um resultado semelhante foi encontrado por Narváez-Ortiz et al. (2014) nenhuma transferência de metais pesados foi encontrada por lodo têxtil para alface.

Porém, para Prado & Natale (2004) a dose máxima de lodo têxtil aplicada na formação de mudas de maracujá proporcionou desenvolvimento e estado nutricional adequado, além de maior produção de matéria seca é de  $10 \text{ ton. ha}^{-1}$ . Doses mais altas de lodo têxtil diminuíram a absorção de nutrientes e a produção de matéria seca e resultaram na morte da planta.

Stanford et al. (2020) destaca que o fertilizante microbiano pode ser uma alternativa viável para uso na agricultura orgânica. Portanto, o fertilizante microbiano aplicado ao feijão-caupi em diferentes doses (tratamentos de fertilização: adubação microbiana ( $\text{ton. ha}^{-1}$ ) nas doses de (B 0,5), 100% (B 1,0) e 150% (B 1,5)), os resultados mostraram influência nas características da planta e a eficácia foi semelhante à do fertilizante solúvel convencional.

No estudo realizado por Santos (2012), o capim Tifton se mostra promissor para a revegetação de áreas contaminadas, pois possui certa tolerância a metais pesados como

Cd e Zn. Concentrações de até 5 ton. ha<sup>-1</sup> afetaram positivamente a anatomia foliar e radicular, apresentando modificações adaptativas visando resistir aos metais pesados presentes no lodo têxtil.

Árvores como a goiabeira são grandes consumidoras e exportadoras de nutrientes. Além disso, a poda extrai grandes quantidades de nutrientes. Os micronutrientes removidos em quantidades mais significativas pelos frutos nas lavouras são ferro, manganês, zinco, cobre e boro (EMBRAPA, 2010). Com base em dados da Embrapa (2006), o milho apresenta alta sensibilidade à deficiência de zinco, média a cobre, ferro e manganês e baixa a boro e molibdênio. As deficiências de micronutrientes mais comuns que ocorrem na manga são Zn e B (EMBRAPA, 2010).

Todos os macros e micronutrientes são importantes para o tomate, mas alguns deles influenciam diretamente na produtividade e qualidade dos frutos, como o fósforo e o potássio (EMBRAPA, 1993). O sorgo requer vários elementos químicos considerados nutrientes essenciais como: N, P, K, Ca, Mg, S, B, Cu, Fe, Mn, Molibdênio e Zn (EMBRAPA, 2015). O maracujá requer alguns micronutrientes, destacando-se manganês, ferro, zinco, boro, cobre, cloro e molibdênio (EMBRAPA, 2016).

Segundo o IAC (RAIJ *et al.*, 1996), Zn e Cu são recomendados para adubação com micronutrientes para cana-de-açúcar. Em estudo semelhante, boro, cobre, ferro, manganês, molibdênio e zinco são micronutrientes essenciais que influenciam os processos de crescimento, síntese e translocação de açúcares na planta da melancia, possibilitando maiores rendimentos e frutos de melhor qualidade (EMBRAPA, 2007).

Segundo Lima & Merçon (2011), alguns metais são essenciais à vida e sua ausência pode comprometer a sobrevivência de plantas e animais, cobre (Cu), manganês (Mn), zinco (Zn), ferro (Fe) e molibdênio (Mo) mas devem ser consumidos na quantidade certa, o cobalto (Co) e o níquel (Ni) são benéficos mas não essenciais e alguns são considerados nocivos, como o cádmio (Cd). Freire (2005) realizou seu estudo um levantamento bibliográfico de algumas plantas medicinais, dos mecanismos de adaptação de algumas espécies a alguns metais pesados.

O cobre, molibdênio, níquel, selênio e zinco são também policiados pela Seção 503 da APAA. A APAA promulgou o Código de Regulamentações Federais 40 (Code of Federal Regulations - CFR) Seção 503 para garantir que o lodo de esgoto seja utilizado ou disposto de forma segura para a saúde humana e o meio ambiente. A Seção 503 impõe



condições para a aplicação no solo, disposição superficial e incineração do lodo de esgoto. (USEPA,1993). Desta forma, os elementos químicos inorgânicos controlados em função da influência sobre a saúde humana (especialmente riscos para as crianças por exposição direta) são: arsênio, cádmio, ferro, mercúrio e selênio. O cobre, molibdênio, níquel, selênio e zinco são também policiados pela Seção 503 da APAA.

## 6. CONCLUSÃO

Diante do levantamento qualitativo é possível afirmar que o setor têxtil é de extrema importância para economia do país. Além disso, os estudos de aplicação do lodo têxtil como adubo fertilizante no setor agrícola mesmo com a aplicação de diferentes metodologias foram possíveis notar resultados satisfatórios.

De acordo com os resultados apresentados, o setor têxtil caracteriza-se por ser um potencial poluidor quando há disposição irregular e falta de reaproveitamento de seus efluentes e resíduos sólidos. A caracterização química mostrou ser um ponto importante para a seleção e quantificação da dosagem adequada do lodo, conseqüentemente, sua destinação para culturas específicas de acordo com a necessidade de micronutrientes. A ausência de patógenos do lodo têxtil pode ser um indicativo de sua imediata aplicação como fertilizante e potencializador do agronegócio favorecendo a APL local.

Sugere-se que, seja feita caracterização química e microbiológica do lodo têxtil antes da aplicação para verificar a concentração de metais pesados e outras substâncias que possam conter em diferentes concentrações, atendendo a norma CETESB/P 4.230/99. Além, de estudos mais conclusivos antes da aplicação em espécies frutíferas, especialmente em condições de campo e seus efeitos ao longo prazo.

## 7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA TEXTIL E DE CONFECÇÃO (ABIT). **Relatório de atividades ABIT 2021**. Disponível em [www.abit.org.br](http://www.abit.org.br). Acesso em: 16 dezembro de 2022.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA TEXTIL E DE CONFECÇÃO (ABIT). **Relatório de atividades ABIT 2015**. Disponível em: [www.abit.org.br](http://www.abit.org.br). Acesso em: 16 dezembro de 2022.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA TEXTIL E DE CONFECÇÃO (ABIT). **Relatório de atividades ABIT 2017**. Disponível em: [www.abit.org.br](http://www.abit.org.br). Acesso em: 16 dezembro de 2022.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA TEXTIL E DE CONFECÇÃO (ABIT). **Relatório de atividades ABIT 2019**. Disponível em: [www.abit.org.br](http://www.abit.org.br). Acesso em: 16 dezembro de 2022.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA TEXTIL E DE CONFECÇÃO (ABIT). **Relatório de atividades ABIT 2020**. Disponível em: [www.abit.org.br](http://www.abit.org.br). Acesso em: 16 dezembro de 2022.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA TEXTIL E DE CONFECÇÃO (ABIT). **Relatório de atividades ABIT 2018**. Disponível em: [www.abit.org.br](http://www.abit.org.br). Acesso em: 16 dezembro, 2022.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA TEXTIL E DE CONFECÇÃO (ABIT). **Relatório de Atividades Abit 2022**. Disponível em: [www.abit.org.br](http://www.abit.org.br). Acesso em: 06 janeiro de 2023.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA TEXTIL E DE CONFECÇÃO (ABIT). **Indústria Têxtil e de Confecção, 2013**. Disponível em: [www.abit.org.br](http://www.abit.org.br). Acesso em: 16 dezembro de 2022.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA TEXTIL E DE CONFECÇÃO (ABIT). **Cartilha o poder da moda: agenda de competitividade da indústria têxtil e de confecção brasileira 2015 a 2018**. Disponível em: [www.abit.org.br](http://www.abit.org.br). Acesso em: 16 de fevereiro de 2022.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 10004: Resíduos sólidos – Classificação**. 2ªEd.Rio de Janeiro-RJ, 2004.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 12713: Ecotoxicologia aquática - Toxicidade aguda - Método de ensaio com Daphnia spp (Crustacea, Cladocera)**. 4ªEd.Rio de Janeiro- RJ, 2016.

ACHON, C. L.; BARROSO, M. M.; CORDEIRO, J. S. Leito de drenagem: Sistema natural para redução de volume de lodo de estação de tratamento de água. **Engenharia sanitária ambiental**, v.13, p.54-62, 2008. Disponível em: <<https://www.scielo.br/j/esa/a/6GpC9XgzgwX5F84FWbrgBkv/abstract/?lang=pt&format=html>>. Acesso em: 26 de dezembro de 2022.

ADEOLU, A. S. **Impacto f industrial efluente on the Environment**. Institute of Ecology and Environmental Studies. Obafemi Awolowo University, Ile-Ife, Nigeria, 2016.

AFROZE, S; SEN, T; ANG, M. 2015. **Agricultural solid wastes in aqueous phase dye adsorption: A Review**, in Foster, C. (ed), *Agricultural wastes: Characteristics, Types and Management*, pp. 169-213. USA: Nova Publishers.

ALMEIDA, É. J. R.; DILARRI, G.; CORSO, C. R. **A indústria têxtil no Brasil: Uma revisão dos seus impactos ambientais e possíveis tratamentos para os seus efluentes**. Projeto Qualidade da Água, Boletim das Águas - Ministério Público Federal, Brasília/DF, p.1-18, 2016. Disponível em:< [onexaoagua.mpf.mp.br/arquivos/artigos-cientificos/2016/01-a-industria-textil-no-brasil-uma-revisao-dos-seus-impactos-ambientais-e-possiveis-tratamentos-para-os-seus-efluentes.pdf](http://onexaoagua.mpf.mp.br/arquivos/artigos-cientificos/2016/01-a-industria-textil-no-brasil-uma-revisao-dos-seus-impactos-ambientais-e-possiveis-tratamentos-para-os-seus-efluentes.pdf)>. Acesso em: 26 de dezembro de 2022.

ANJOS, Daniel Chraim dos. **Estudo sobre a influência do lodo têxtil gerado por uma lavanderia industrial, aplicado em argamassa de Cimento Portland composto de filer**. 2017. Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) - Engenharia de Infraestrutura- Universidade Federal de Santa Catarina, Campus Joinville, 2017.

ANVANI, F.; KHEIRKHAH, M.; AMRAEI, R. Treatment of synthetic textile wastewater by combination of coagulation/flocculation process and electron beam irradiation. **Journal of community health research**, v. 3, Number 1; p. 31-38, 2014. Disponível em:<<https://www.sid.ir/en/journal/ViewPaper.aspx?id=453353>>. Acesso em: 26 de dezembro de 2022.

ARAÚJO, João Gustavo Soares de. **Atividades antrópicas e a qualidade das águas do rio Ipojuca no município de Caruaru – PE: Documentário como proposta para o ensino das Ciências Ambientais**. 2020. Dissertação (mestrado) – Universidade Federal de Pernambuco. Centro de Biociências. Programa de Pós-Graduação em Rede Nacional para o Ensino das Ciências Ambientais, 2020.

ARAÚJO, A. S. F; MONTEIRO, R. T. R; CARDOSO, P. F. Composto de lodo têxtil em plântulas de soja e trigo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 40, p. 549-554, 2005. DOI:<https://doi.org/10.1590/S0100-204X2005000600004>. Disponível em:< <https://www.scielo.br/j/pab/a/jVRWKYJRCwXnjyPypgSZgzr/?lang=pt>>. Acesso em: 26 de dezembro de 2022.

ARAÚJO, ASF; MONTEIRO, RTR; CARVALHO, E. M. S. Effect of composted textile sludge on growth, nodulation and nitrogen fixation of soybean and cowpea. **Bioresource Technology**, v. 98, p. 1028-1032, 2007. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2006.04.028>. Disponível em: <[https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0960852406001830?casa\\_token=QR3KZu875iUAAAAA:c1mFAxYykhNeoXhz4\\_yUzzkFsKpmGePaZ9A1Kz9Om423imOFaUMz4M9oZmU7PeKFBYostTKNSGh](https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0960852406001830?casa_token=QR3KZu875iUAAAAA:c1mFAxYykhNeoXhz4_yUzzkFsKpmGePaZ9A1Kz9Om423imOFaUMz4M9oZmU7PeKFBYostTKNSGh)>. Acesso em: 26 de dezembro de 2022.

ARAUJO, Wanderbeg Correia et al. Estudo socioeconômico do Polo de Confecções no Agreste de Pernambuco: uma análise descritiva e exploratória. **Brazilian Journal of Development**, v. 5, n. 11, p. 26812-26826, 2019.

APAOLAZA, L.H.; GASCÓ, A.M.; GASCÓ, J.M.; GUERRERO, Reuse of waste materials as growing media for ornamental plants. *Bioresource Technology*, 96:125-131, 2005.

BALAN, D. S. L. **Biodegradação e toxicidade de efluentes têxteis: Corante índico**. 1998. Tese (Doutorado em Ciências Biológicas) – Instituto Biociências, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 1998.

BALAN, D.S.L., MONTEIRO, R.T.R. Decolorization of textile indigo dye by ligninolytic fungi. **Journal of Biotechnology**, v. 89, p. 141-145, 2001. DOI: [doi.org/10.1016/S0168-1656\(01\)00304-2](https://doi.org/10.1016/S0168-1656(01)00304-2). Disponível em: <[https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0168165601003042?casa\\_token=5BNM559XtnUAAAAA:xsGiVtiwq1k9frFVaHMAtaliV-Oe2zY1sr9C-4Em2-QCQC9xU3kYs\\_UVnIKESz7YCF26vtsjwMm](https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0168165601003042?casa_token=5BNM559XtnUAAAAA:xsGiVtiwq1k9frFVaHMAtaliV-Oe2zY1sr9C-4Em2-QCQC9xU3kYs_UVnIKESz7YCF26vtsjwMm)>. Acesso em: 26 de dezembro de 2022.

BHATIA, D., SHARMA, N. R., SINGH, J., & KANWAR, R. S. Biological methods for textile dye removal from wastewater: A review. **Critical Reviews in Environmental Science and Technology**, v. 47, p. 1836-1876, 2017. doi:10.1080/10643389.2017.1393263. Disponível em: <<https://www.tandfonline.com/doi/citedby/10.1080/10643389.2017.1393263?scroll=top&needAccess=true>>. Acesso em: 26 de dezembro de 2022.

BRASIL. Instituto Brasileiro de Geologia e Estatística Caruaru – IBGE. 2020. Disponível em: <<https://www.ibge.gov.br/cidades-e-estados/pe/caruaru.html>>. Acessado em: 16 de setembro de 2022.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente (MMA). Conselho Nacional do Meio Ambiente - CONAMA. **Resolução do CONAMA n. 357, de 17 de março de 2005**. Disponível em: <[http://pnqa.ana.gov.br/Publicacao/RESOLUCAO\\_CONAMA\\_n\\_357.pdf](http://pnqa.ana.gov.br/Publicacao/RESOLUCAO_CONAMA_n_357.pdf)>. Acesso em: 16 de setembro de 2022.

BRASIL, **Lei N° 12.305 de 02 de agosto de 2010** - Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS).

BRASIL, **Lei N° 9.605, DE 12 DE FEVEREIRO DE 1998**- Lei da - Vida Lei dos Crimes Ambientais. Brasília, DF. 1998.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente (MMA). Conselho Nacional do Meio Ambiente - CONAMA. **Resolução do CONAMA n. 410, DE 04 DE MAIO DE 2009**.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente (MMA). Conselho Nacional do Meio Ambiente - CONAMA. **RESOLUÇÃO n. 375, DE 29 DE AGOSTO DE 2006.**

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Conselho Nacional do Meio Ambiente - CONAMA. **Resolução do CONAMA n. 430, de 13 de maio de 2011.** Disponível em: < [https://www.adasa.df.gov.br/images/stories/anexos/8Legislacao/Res\\_CONAMA/Resolucao\\_CONAMA\\_430\\_2011.pdf](https://www.adasa.df.gov.br/images/stories/anexos/8Legislacao/Res_CONAMA/Resolucao_CONAMA_430_2011.pdf)>. Acesso em: 16 de setembro de 2022.

BRASIL, Presidência da República. Decreto-Lei n. 1413, de 14 de agosto de 1975. Diário Oficial da República Federativa do Brasil. Poder Executivo, Brasília, DF, 14 de ago. 1975.

BRASIL, Presidência da República. Lei n. 9.605, de 12 de fevereiro de 1998. Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil, Poder Executivo, Brasília, DF, 13 de fev. 1998.

BURATINI, S. V. Biodegradação. In. ZAGATTO, P.; BERTOLETTI, E. **Ecotoxicologia Aquática, Princípios e Aplicações**. 2 ed, São Carlos: RiMa, p, 472, 2008.

CABEZAS, WARL Matéria orgânica de solo: agente determinante da eficiência de fertilizantes nitrogenados. 2011. Artigo em Hipertexto. Disponível em: <[http://www.infobibos.com/Artigos/2011\\_3/MateriaOrganica/index.htm](http://www.infobibos.com/Artigos/2011_3/MateriaOrganica/index.htm)>. Acesso em: 21 de janeiro de 2023.

CASTRO, A. L. F. G.; SCALIZE, P. S.; SILVA, O. R. Cenário da Disposição do Logo de Esgoto: Uma Revisão das Publicações Ocorridas no Brasil de 2004 a 2014. **Multi-Science Journal**, v. 1, p.66-73, 2015. <https://doi.org/10.33837/msj.v1i2.84>. Disponível em: < <https://periodicos.ifgoiano.edu.br/index.php/multiscience/article/view/84/48>>. Acesso em: 16 de setembro de 2022.

CAVALCANTI, A. M., & SANTOS, G. F. A indústria têxtil no Brasil: uma análise da importância da competitividade frente ao contexto mundial. **Exacta**, p.1-21, 2021. DOI: <https://doi.org/10.5585/exactaep.2021.17784>.

CAVALCANTI, F. M. E.; CASTRO LYRA, M. R. C.; SILVA, J. A. A. DA. Índice de Desempenho da Gestão Ambiental (IDGA) aplicado ao setor têxtil: um estudo em duas lavanderias industriais do Agreste pernambucano. **Gaia Scientia**, v. 13, n. 1, 31 jul. 2019

CETESB, Companhia de Saneamento Ambiental do Estado de São Paulo, 1999, Critérios para aplicação de biossólidos em áreas agrícolas: critérios para projeto e operação, CETESB, São Paulo, 32p. Manual técnico, Norma P4.230.

CHEN, S., WANG, C., LIU, D., ZHU, Z., QIAN, Y., DAN LUO, & WANG, Y. Selective Uptake of Cationic Organic Dyes in a Series of Isostructural Co<sup>2+</sup>/Cd<sup>2+</sup> Metal-Doped Metal-Organic Frameworks. **Journal of Solid State Chemistry**, v. 270, p. 180-186, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jssc.2018.10.042>. Disponível em: < <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0022459618304754?via%3Dihub>>. Acesso em: 16 de setembro de 2022.

CHEN, X., DENG, Q., LIN, S., DU, C., ZHAO, S., HU, Y., ... HAN, J. A new approach for risk assessment of aggregate dermal exposure to banned azo dyes in textiles. **Regulatory Toxicology and Pharmacology**, v. 91, p. 173–178, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.yrtph.2017.10.022>. Disponível em: < [https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0273230017303379?casa\\_token=RfaQ4rJluZEAAAAA:-li9hhijd\\_MzN3zaRFXIX-rdR5TNU78ZWN9g4XqbM74P-8YeyjB6F2HnT\\_Ryoyp4ZrE1PCddaKFZ](https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0273230017303379?casa_token=RfaQ4rJluZEAAAAA:-li9hhijd_MzN3zaRFXIX-rdR5TNU78ZWN9g4XqbM74P-8YeyjB6F2HnT_Ryoyp4ZrE1PCddaKFZ)>. Acesso em: 16 de setembro de 2022.

CHOY, Keith KH; PORTER, John F.; MCKAY, Gordon. Langmuir isotherm models applied to the multicomponent sorption of acid dyes from effluent onto activated carbon. **Journal of Chemical & Engineering Data**, v. 45, p. 575-584, 2000. DOI: <https://doi.org/10.1021/je9902894>. Disponível em: < <https://pubs.acs.org/doi/pdf/10.1021/je9902894>>. Acesso em: 16 de setembro de 2022.

CINTRA, Adonai Pinheiro de Ulhôa. Disponibilidade de nutrientes e metais pesados em milho cultivado com lodo de lavanderias industriais em latossolo vermelho distrófico. Universidade Estadual de Maringá - Tese de doutorado do Programa de Pós Graduação em Agronomia, Maringá, 2010.

CRUZ, J. C., NASCIMENTO, M. A., AMARAL, H. A. V., LIMA, D. S. D., TEIXEIRA, A. P. C., & LOPES, R. P. Synthesis and characterization of cobalt nanoparticles for application in the removal of textile dye. **Journal of Environmental Management**, v. 242, p. 220–228, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2019.04.059>. Disponível em: < [https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0301479719305262?casa\\_token=-\\_TVWHduMhMAAAAA:VmwbFehDcuZhNoVqQ9D\\_YzuXOKAgev4BZTCpe\\_s\\_AkS8uabcmicPtDSr1KP82XljHR0DHsQJfVw](https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0301479719305262?casa_token=-_TVWHduMhMAAAAA:VmwbFehDcuZhNoVqQ9D_YzuXOKAgev4BZTCpe_s_AkS8uabcmicPtDSr1KP82XljHR0DHsQJfVw)>. Acesso em: 16 de setembro de 2022.

DA SILVA, A. P; ARGONDIZO, A; SEKI, C. C. Utilização de eletrodo de leito fixo no tratamento de efluente têxtil por eletrocoagulação. **Brazilian Journal of Development**, v. 6, p. 11728-11735, 2020. DOI: <https://doi.org/10.34117/bjdv6n3-147>. Disponível em: < <https://brazilianjournals.com/ojs/index.php/BRJD/article/view/7554/6575>>. Acesso em: 16 de setembro de 2022.

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. *Pesquisa, sociedade e desenvolvimento*, v. 10, n. 1, pág. e57810112186-e57810112186, 2021.

DAMÁSIO, C. A; MONTEIRO, D. F. B. O processo produtivo têxtil em uma indústria do interior de Minas Gerais: um estudo a partir das mudanças geradas pela inovação tecnológica. **Brazilian Journal of Development**, v. 6, p. 69035-69044, 2020. DOI: <https://doi.org/10.34117/bjdv6n9-375>. Disponível em: < <https://brazilianjournals.com/ojs/index.php/BRJD/article/view/16723>>. Acesso em: 16 de setembro de 2022.

DE MEDEIROS, R. M.; DE HOLANDA, R. M.; DE FRANÇA, M. V. Caruaru – pe, seu conforto ou desconforto térmico em anos de el niño, la niña. **Revista Mirante**, Anápolis (GO), v. 14, jun. 2021. ISSN 1981-4089.

DUTRA, Henrique Simões Rosa et al. **Tratamento combinado de efluentes da indústria têxtil por ultrafiltração e H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>/UV**, 2010. Dissertação (Mestrado em Geotecnia; Saneamento ambiental) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2010.

EURATEX. **Prospering in the Circular Economy: the Case of European Textile & Apparel Manufacturing Industry**, Bruxelas, Bélgica, 2017.

FLÁVIO, Gustavo Alves Louzada. **Aplicabilidade do lodo de estação de tratamento de efluentes de indústria no cultivo de eucalipto e comparação econômica com fertilizante mineral**. Monografia apresentada na disciplina Trabalho de Conclusão de Curso II do curso de Graduação em Engenharia Ambiental e Sanitária, Universidade Federal de Goiás, Goiânia, p. 47, 2017. Disponível em: <[https://files.cercomp.ufg.br/weby/up/140/o/TCC\\_2\\_\\_\\_GUSTAVO\\_LOUZADA\\_.pdf](https://files.cercomp.ufg.br/weby/up/140/o/TCC_2___GUSTAVO_LOUZADA_.pdf)>. Acesso em: 16 de setembro. 2021.

Fonseca, Agnes Camila Nascimento da. Avaliação de desempenho ambiental de lavanderias de beneficiamento têxtil em Caruaru. Trabalho de Conclusão de Curso. Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife, 2017.

FRANCO, M. A. Circular economy at the micro level: A dynamic view of incumbents' struggles and challenges in the textile industry. **Journal of Cleaner Production**, v. 168, p.833–845, 2017. DOI:10.1016/j.jclepro.2017.09.056. Disponível em: <[https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0959652617320450?casa\\_token=B Buvp8gQ3EoAAAAA:wDdGRQt3MDvpsiU2ZaNfd6otTvh7GFfzuF2sz9wbKpPpgjGC dextrWa-tUGKhdG3cOhyHo-diGCi](https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0959652617320450?casa_token=B Buvp8gQ3EoAAAAA:wDdGRQt3MDvpsiU2ZaNfd6otTvh7GFfzuF2sz9wbKpPpgjGC dextrWa-tUGKhdG3cOhyHo-diGCi)>. Acesso em: 16 de setembro de 2022.

GARCIA-SEGURA, S.; OCON, JD.; CHONG, MN. Remediation of the electrochemical oxidation of real wastewater effluents - a review. **Process Safety and Environmental Protection**, v.113, p. 48 – 67, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.psep.2017.09.014>. Disponível em: <[https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0957582017303178?casa\\_token=Qy FgkqhNxPQAAAAA:Ek2HkLNELetB2FEXx0sfHvGrX5XkaXsPBy\\_Sntr2L4xGqEctZ luB8eUejqmY3Id\\_gBBKyGtmELeB](https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0957582017303178?casa_token=Qy FgkqhNxPQAAAAA:Ek2HkLNELetB2FEXx0sfHvGrX5XkaXsPBy_Sntr2L4xGqEctZ luB8eUejqmY3Id_gBBKyGtmELeB)>. Acesso em: 16 de setembro de 2022.

GUIMARÃES, Lorena Barros et al. Potencial de aproveitamento da energia solar para aquecimento de água nas lavanderias industriais do APL de confecções do agreste de Pernambuco. In: **VII Congresso Brasileiro de Energia Solar-CBENS 2018**. 2018.

GONZAGA DE OLIVEIRA, A., BARROS, A. D., CHRISTIANE DE FIGUEIRÊDO LOPES LUCENA, L., ELISIO DE FIGUEIRÊDO LOPES LUCENA, A., & PATRICIO, J. D. Evaluation of calcined textile sludge as a stabilizing material for highway soil. **Journal of Traffic and Transportation Engineering (English Edition)**, v. 7, p.688-699, 2020. DOI:10.1016/j.jtte.2019.02.004. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2095756418304410>>. Acesso em: 16 de setembro de 2022.

Huang, R., B. Zhang, B., Saad, E. M., Ingall, E. D., Tang, Y. Evolução da especiação de zinco e cobre durante tratamentos de pirólise e carbonização hidrotérmica de lodos de esgoto *Água Res.*, 132, p. 260 – 269, 2018. DOI: 10.1016/j.watts.2018.01.009.



HESPAHOL, I. A New Paradigm for Water Resource Management. **Estudos avançados**, v. 22, p.131–158,2008. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0103-40142008000200009>. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/ea/a/Zh4fJ3wvVjJ3GsQY8rNYHPm/?format=pdf&lang=pt>>. Acesso em: 16 de setembro de 2022.

RELATÓRIO SETORIAL DA INDÚSTRIA TÊXTIL BRASILEIRA (IEMI). Disponível em: [http://www.adsbrasil.com.br/noticia/03092014IEMI\\_Relatorio\\_Setorial\\_IndTextil](http://www.adsbrasil.com.br/noticia/03092014IEMI_Relatorio_Setorial_IndTextil). Acesso em 13 de novembro de 2022.

KANT, R. Textile dyeing industry an environmental hazard. **Natural Science**, v. 4, p. 22–26, 2012. DOI: 10.4236 / ns.2012.41004. Disponível em: <[https://www.scirp.org/html/4-8301582\\_17027.htm](https://www.scirp.org/html/4-8301582_17027.htm)>. Acesso em: 16 de setembro de 2022.

KATHERESAN, V., KANSEDO, J., & LAU, S. Y. Efficiency of various recent wastewater dye removal methods: A review. **Journal of Environmental Chemical Engineering**, v. 6, p. 4676–4697, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jece.2018.06.060>. Disponível em: <[https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2213343718303695?casa\\_token=ehEPZ4N19UAAAAA:C4hdRnOxEuLOIh2JOk6O4\\_EojN19jbDvo830wjKix1oBOHYyX5CRfdTu1pPzN5IqZfuBprpkuxD](https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2213343718303695?casa_token=ehEPZ4N19UAAAAA:C4hdRnOxEuLOIh2JOk6O4_EojN19jbDvo830wjKix1oBOHYyX5CRfdTu1pPzN5IqZfuBprpkuxD)>. Acesso em: 16 de setembro de 2022.

KAUR, P.; KUSHWAHA, J.P.; SANGAL, V.K. Evaluation and disposability study of actual textile wastewater treatment by electro-oxidation method using Ti/RuO<sub>2</sub> anode. **Process Safety and Environmental Protection**, v. 111, p. 13-22, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.psep.2017.06.004>. Disponível em: <[https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0957582017301842?casa\\_token=g6Hs8pFqYucAAAAA:0UIdCmNeYCe-QH6Ey5xpSmmCBNLWPf\\_-ziUvKILftmvYSNMbw7lhJo9qjoTv7r6PiBpBZ4vnaD1l](https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0957582017301842?casa_token=g6Hs8pFqYucAAAAA:0UIdCmNeYCe-QH6Ey5xpSmmCBNLWPf_-ziUvKILftmvYSNMbw7lhJo9qjoTv7r6PiBpBZ4vnaD1l)>. Acesso em: 16 de setembro de 2022.

KUMAR, M. N. V. R.; SRIDHARI, T. R.; BHAVANI, K. D.; DUTTA, P. K. **Trends in color removal from textile mill effluents**. *Colourage*, v. 40, p. 25-34, 1998. ID: 100214844

KUNZ, A. et al. Novas tendências no tratamento de efluentes têxteis. *Química Nova*, n. 25, p.78-82, 2002. Disponível em: <<https://www.scielo.br/j/qn/a/WZkZzMz4JLhpmyxBq5GfPqB/?format=pdf&lang=pt>>. Acesso em: 16 de setembro de 2022.

LAMAS, Fernando Mendes. **O mercado global do algodão: efeitos da pandemia decorrente do novo coronavírus**. CAMPO GRANDE NEWS, 2020. Disponível em: <<https://www.campograndenews.com.br/artigos/o-mercado-global-do-algodao-efeitos-da-pandemia-decorrente-do-novo-coronavirus>>. Acesso em: 19, dezembro de 2022.

LANG, A. R. **Dyes and Pigments: New research**. New York: Science Publishers, 2009.

LEE, B.; LIAW, W.; LOU, J. **Photocatalytic decolorization of methylene blue**

**in aqueous TiO<sub>2</sub> suspension.** Environmental Engineer Science. Vol. 16, nº 3: 165-175, 1999.

LIMA, Elder Luiz Porto de. **Alternativas de aplicação do lodo gerado no tratamento de efluente da indústria têxtil: revisando a bibliografia.** Trabalho de conclusão de curso, Universidade Federal da Paraíba – João Pessoa, 2019.

LIRA, Elizabete Buonora de Souza. **Monitoramento geoquímico e ambiental da qualidade dos sedimentos no Rio Ipojuca no Polo Têxtil do Agreste de Pernambuco-Brasil.** Dissertação (mestrado) – Universidade Federal Rural de Pernambuco. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambientail, Recife-PE, p. 54, 2019.

LIU, J., Zhuo, Z., Xie, W., Kuo, J., Lu, X., Buyukada, M., & Evrendilek, F. Interaction effects of chlorine and phosphorus on thermochemical behaviors of heavy metals during incineration of sulfur-rich textile dyeing sludge. **Chemical Engineering Journal**, v. 351, p. 897–911, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.cej.2018.06.158>. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1385894718311963>>. Acesso em: 16 de setembro de 2022.

LIU, Y., Ran, C., Siyal, A.A., Song, Y., Jiang, Z., Dai, J., Chtaeva, P., Fu, J., Ao, W., Deng, Z., Zhang, T. Comparative study for fluidized bed pyrolysis of textile dyeing sludge and municipal sewage sludge. **Journal of Hazardous Materials**, v.396, 2020. DOI:<https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2020.122619>. Disponível em: <[https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0304389420306087?casa\\_token=KgqPcWDV9xEAAAAA:TkCJICy5UXjXKu-W\\_zk6BtFP6LdkO09CdHMAZY2411LbabAiR2ztbtt6Co0p51KJsMxsUK9RbOU](https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0304389420306087?casa_token=KgqPcWDV9xEAAAAA:TkCJICy5UXjXKu-W_zk6BtFP6LdkO09CdHMAZY2411LbabAiR2ztbtt6Co0p51KJsMxsUK9RbOU)>. Acesso em: 16 de setembro de 2022.

LORENA, E. M. G., Lorena, C. M. G., Medeiros, R. M., El-Deir, S. G., Holanda, R. M., & Araújo, V. D. (2018). Modelo de gestão de riscos em lavanderias de beneficiamento no arranjo produtivo local (APL) têxtil e de confecções de Pernambuco, Brasi. *Revista Produção Online*, 18(2), 620–640. <https://doi.org/10.14488/1676-1901.v18i2.2881>

LUCENA, Amanda Leandro. **Gestão de refugos têxteis: uma análise em micro e pequenas indústrias de confecção têxtil da cidade de Santa Cruz do Capibaribe-PE.** 2014. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharel em Design) - Universidade Federal de Pernambuco, Caruaru, 2014.

MARTINELLI, L.A., SILVA, A.M., CAMARGO, P.B., ET AL. Levantamento das cargas orgânicas lançadas nos rios do Estado de Sao Paulo. **Biota Neotropical**, v. 2, p.1-17, 2002. Disponível em: <<https://www.scielo.br/j/bn/a/HmD8cfW5YD7MLdFXw6QPBMj/?format=pdf&lang=pt>>. Acesso em: 16 de setembro. 2021.

McBRIDE, M.B.; SAUVÉ, S.; HENDERSHOT, W. Solubility control of Cu, Zn, Cd and Pb in contaminated soils. *European Journal Soil Science*, 48:379- 386, 1997.

MENDES, C. R.; DILARRI, G.; PELEGRINI, R. T. Aplicação da biomassa *Saccharomyces cerevisiae* como agente adsorvente do corante Direct Orange 2GL e os possíveis mecanismos de interações adsorbato/adsorvente. *Matéria* (Rio de Janeiro), v. 20, n. 4, p. 898-908, 2015.

NARVAEZ-ORTIZ, Willian Alfredo *et al.* Effect of the application of raw sludge from the fabric industry into the productivity and chemical composition of lettuce (*Lactuca sativa*). **Rev. Int. Contam. Ambient**, Ciudad de México, v. 30, n. 4, p. 379-391, 2014. Disponível em <[http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0188-49992014000400006&lng=es&nrm=iso](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0188-49992014000400006&lng=es&nrm=iso)>. Acesso em: 16 de setembro. 2021.

NEVES, Talles Iwasawa. **Aproveitamento energético do biossólido gerado por indústria têxtil como fertilizante para produção de capim-elefante–*Cenchrus purpureus* (Schumach.) Morrone**. Dissertação (mestrado) - Universidade Federal da Paraíba. Programa de Pós-Graduação em Energias Renováveis, João Pessoa – PB, p. 117, 2017.

NING, X.-A., LIN, M.-Q., SHEN, L.-Z., ZHANG, J.-H., WANG, J.-Y., WANG, Y.-J., ... LIU, J.-Y. Levels, composition profiles and risk assessment of polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) in sludge from ten textile dyeing plants. **Environmental Research**, v. 132, p.112–118, 2014. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.envres.2014.03.041>. Disponível em: <[https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0013935114000887?casa\\_token=by1EEhq3RcMAAAAA:ay0turw6QZweEqM0YA5MRYzIPmzVfXJoiyu-UxF7q5NkSmg5bNuv-F4zxQIiLeYlhl6Iwuh5tCYc](https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0013935114000887?casa_token=by1EEhq3RcMAAAAA:ay0turw6QZweEqM0YA5MRYzIPmzVfXJoiyu-UxF7q5NkSmg5bNuv-F4zxQIiLeYlhl6Iwuh5tCYc)>. Acesso em: 16 de setembro de 2022.

OLIVEIRA NETO, G. C., FERREIRA CORREIA, J. M., SILVA, P. C., DE OLIVEIRA SANCHES, A. G., & LUCATO, W. C. Cleaner Production in the textile industry and its relationship to sustainable development goals. **Journal of Cleaner Production**, v. 228, p. 1514-1525, 2019. DOI:10.1016/j.jclepro.2019.04.334. Disponível em: <[https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0959652619314313?casa\\_token=GwyhtsEZheQAAAA:JbbOC2LWQ89FrrHUbEW\\_hPp-rsX7v3LFXM7Yyc-jQICS0ZUNyEMVGSSVZftTz3XMbOwj6N-kye-m](https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0959652619314313?casa_token=GwyhtsEZheQAAAA:JbbOC2LWQ89FrrHUbEW_hPp-rsX7v3LFXM7Yyc-jQICS0ZUNyEMVGSSVZftTz3XMbOwj6N-kye-m)>. Acesso em: 16 de setembro de 2022.

OLIVEIRA, A.G, BARROS, AD, CHRISTIANE DE FIGUEIRÊDO LOPES LUCENA, L., ELISIO DE FIGUEIRÊDO LOPES LUCENA, A., & PATRICIO, JD. Evaluation of calcined textile sludge as a stabilizing material for highway soil. **Journal of Traffic and Transportation Engineering (edição em inglês)**, v. 7, p.688-699 2020. DOI: 10.1016/j.jtte.2019.02.004. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2095756418304410>>. Acesso em: 16 de setembro de 2022.

PIETROBON, C.L.R.; GOMES, C.H. G.; LANDGRAF, M.A. C.; KUSAKAWA, M.S.; NOGUCHI, M.Y.; CAMPOS, M.A.; HERNANDES FILHO, J.M.M.. Gestão Ambiental: Auditoria Ambiental em uma Lavanderia Industrial em Maringá - PR. In: IX Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído, 2002.

PRADO, R.M., NATALE, W. Efeitos da aplicação de lodo têxtil sobre o desenvolvimento, o estado nutricional e a produção de matéria seca de mudas de maracujazeiro. **Congresso brasileiro de ciência e tecnologia em resíduos e desenvolvimento sustentável**, Florianópolis, 2004.

QUEIROZ, Marluce Teixeira Andrade *et al.* Reestruturação na forma do tratamento de efluentes têxteis: uma proposta embasada em fundamentos teóricos. **Gestão & Produção**, v. 26, p.1-14, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1590/0104-530X1149-19>. Disponível em: <  
<https://www.scielo.br/j/gp/a/mb5D7ftDz8b7qtJHXGsSsFj/?format=pdf&lang=pt>>. Acesso em: 16 de setembro de 2022.

RAN, C., LIU, Y., SIDDIQUI, A.R., SIYAL, A.A., MAO, X., KANG, Q., FU, J., AO, W., DAI, J. Pyrolysis of textile dyeing sludge in fluidized bed and microwave-assisted auger reactor: Comparison, migration and distribution of heavy metals. **Energy**, v. 182, p. 337–348, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.energy.2019.05.219>. Disponível em: <  
[https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0360544219311119?casa\\_token=Lar-rYeKGNkAAAAA:-1v1jictU9nEUy6x1aenQShKMiwDLL1cXBIGEMUukzrY861M2OcggbFvetKesSaB AKFVKn6AbfB](https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0360544219311119?casa_token=Lar-rYeKGNkAAAAA:-1v1jictU9nEUy6x1aenQShKMiwDLL1cXBIGEMUukzrY861M2OcggbFvetKesSaB AKFVKn6AbfB)>. Acesso em: 16 de setembro de 2022.

RAWAT, D. V. MISHRA, R.S. SHARMA. Detoxification of azo dyes in the context of environmental processes. **Chemosphere**, v. 155, p. 591-605, 2016. DOI: <https://doi.org/10.1016/J.CHEMOSPHERE.2016.04.068>. Disponível em: <  
[https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0045653516305422?casa\\_token=qXQGV\\_AU-9gAAAAA:mbUUnQwLco6cIJsQwp3hgdXNT5gO5hRKE845sM\\_JbuyHhjY4Sw9D5Jb9wWAd5eeCIZXFQnys81wc](https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0045653516305422?casa_token=qXQGV_AU-9gAAAAA:mbUUnQwLco6cIJsQwp3hgdXNT5gO5hRKE845sM_JbuyHhjY4Sw9D5Jb9wWAd5eeCIZXFQnys81wc)>. Acesso em: 16 de setembro de 2022.

RAWAT, D., SHARMA, R. S., KARMAKAR, S., ARORA, L. S., & MISHRA, V. Ecotoxic potential of a presumably non-toxic azo dye. **Ecotoxicology and Environmental Safety**, v.148, p. 528–537, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2017.10.049>. Disponível em: <  
[https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0147651317307182?casa\\_token=x4F85c9SufMAAAAA:UBI-ZY7zTiflgHzEBI0xEBSQhyDtZkYJrYOYtUSDoZGsvDNq-tgJi-E2CAJKfghwfyMiz9fFEHI8](https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0147651317307182?casa_token=x4F85c9SufMAAAAA:UBI-ZY7zTiflgHzEBI0xEBSQhyDtZkYJrYOYtUSDoZGsvDNq-tgJi-E2CAJKfghwfyMiz9fFEHI8)>. Acesso em: 16 de setembro de 2022.

SAFARIK, I., MULLEROVA, S., & POSPISKOVA, K. Magnetically Responsive Textile for Preconcentration of Acid Food Dyes. **Materials Chemistry and Physics**, v. 232, p. 205-208, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.matchemphys.2019.04.058>. Disponível em: <  
[https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0254058419303554?casa\\_token=BHCHmk9JGNsAAAAA:7HqIrvVaKi\\_x9sbD37QZLBZOIQIBlp5um62cqJM402d00xWY-8GUKAtbtUvwbVXo2ZurutUg7SAe](https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0254058419303554?casa_token=BHCHmk9JGNsAAAAA:7HqIrvVaKi_x9sbD37QZLBZOIQIBlp5um62cqJM402d00xWY-8GUKAtbtUvwbVXo2ZurutUg7SAe)>. Acesso em: 16 de setembro de 2022.

SANTOS, Adolfo Luíz. **Utilização do lodo têxtil no cultivo de tifton**. Dissertação de Mestrado em Ecologia e Tecnologia Ambiental pela Universidade Federal de Alfenas. ALFENAS/MG, 2012.

SANTOS JÚNIOR, Otavio Pereira dos. **Avaliação do potencial radiométrico em solos da região da zona da mata de Pernambuco.** Tese (Doutorado) – Universidade Federal de Pernambuco. CTG. Programa de Pós-Graduação em Tecnologias Energéticas e Nucleares, 2019.

SANTORO, A. et al. Comparison of total and aqua regia extractability of heavy metals in sewage sludge: The case study of a certified reference material. **TrAC Trends in Analytical Chemistry**, v. 89, p.34-40, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.trac.2017.01.010>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0165993616303922>>. Acesso em: 16 de setembro. 2021.

SEBRAE. 2019. Estudo Econômico das Indústrias de Confecções de Toritama/PE. Disponível em: <https://www.sebrae.com.br/Sebrae/Portal%20Sebrae/UFs/PE/Anexos/RELATORIO-TORITAMA-FINAL.pdf>>. Acesso em: 6 de fevereiro de 2022.

SILVA, Bruno Lopes; XAVIER, Maria Gilca Pinto. Inovação e tecnologia em lavanderias de jeans do polo têxtil do agreste Pernambucano e a implementação das atividades de reuso de água. **Brazilian Journal of Development**, v. 6, p. 41458-41476, 2020. DOI: <https://doi.org/10.34117/bjdv6n6-620> Disponível em: <https://brazilianjournals.com/ojs/index.php/BRJD/article/view/12342/10345>>. Acesso em: 16 de setembro de 2022.

SILVA, Fábila Martins. **Utilização de Métodos Quimiométricos na Determinação de Propriedades e Aplicações de Lodo Industrial do Polo Têxtil do Agreste de Pernambuco.** Dissertação de Mestrado. Universidade Federal Rural de Pernambuco. Recife. 67p. 2018.

SILVA, Rivaldo Antônio Jeronimo. **MODELO DE GESTÃO AMBIENTAL PARA REÚSO DE ÁGUAS DE LAVANDERIAS DO AGRESTE DE PERNAMBUCO.** 1 Dissertação de Mestrado. Universidade Federal Rural de Pernambuco. Recife. 128p. 2016.

SOHAIMI, K. S. A. et al. **Synthesis, characterization and application of textile sludge biochars for oil removal.** Journal of Environmental Chemical Engineering v. 5, p.1415–1422, 2017.

SOUTO, Thaís Jeruzza Maciel Póvoas. **Estudo do comportamento químico e ambiental de efluentes industriais e resíduos sólidos oriundos de lavanderias do polo têxtilno agreste pernambucano.** Dissertação de Mestrado. Universidade Federal Rural de Pernambuco. Recife. 58p. 2017.

SOUTO, Thaís Jeruzza Maciel Póvoas. **Proposta para reutilização de corantes da indústria têxtil através da aplicação de nanomateriais em processos adsortivos por meio da celulose bacteriana.** Tese de Doutorado. Programa de Pós-Graduação em Química do Departamento de Química, Universidade Federal Rural de Pernambuco – Recife, 133p. 2023.

STAMFORD, N. P. ; SILVA, E.V.N. ; OLIVEIRA, W.S. ; MARTINS, M. S. ; MORAES, A. S. ; FREITAS, M. H. ; BARROS, J. A. Characterization of jeans textile waste and interaction with microbial fertilizer and multivariate analysis to identify environmental effects. **Environmental Technology & Innovation**, v. 18, p. 1-8, 2020.

SU, C. X.-H., LOW, L. W., TENG, T. T., & WONG, Y. S. Combination and hybridisation of treatments in dye wastewater treatment: A review. **Journal of Environmental Chemical Engineering**, v. 4(3), p. 3618–3631, 2016.

TERA AMBIENTAL. **A diferença entre o tratamento biológico e físico-químico**. 2013. Disponível em: <https://www.teraambiental.com.br/blog-da-tera-ambiental/bid/339074/adiferenca-entre-o-tratamento-biologico-e-fisico-quimico>. Acesso em: 9 fevereiro de 2022.

UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY - USEPA. Title 40 CFR Part 503. Final rules: Standards for the use or disposal of sewage sludge. Federal Register, v.58, p.9387-9415, 1993.

UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY CFR 40 PART 503 On Line Access: Protection of the Environment 1993. Disponível em: . Acesso em 27 de fevereiro de 2022.

UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. Biosolids Technology Fact Sheet Alkaline Stabilization of Biosolids. United States Environmental Protection Agency Office of Water Washington, D.C. EPA 832-F00-052 832-F-00-052 September 2000 Disponível em: <[http://www.epa.gov/owm/septic/pubs/alkaline\\_stabilization.pdf](http://www.epa.gov/owm/septic/pubs/alkaline_stabilization.pdf)>. Acesso em 27 de fevereiro de 2022.

VIOTTO, Hugo Gabriel Fernandes et al. Gestão sustentável do lodo proveniente da lavanderia têxtil. X Congresso Brasileiro de Gestão Ambiental. Fortaleza/CE, 2019.

WACHHOLZ, Larissa Aparecida; LIZAMA, Maria de los Angeles Perez. Estudo sobre águas: tecnologias limpas no tratamento de efluentes têxteis, 2021. Disponível em: [https://www.researchgate.net/profile/MariaLizama/publication/355672956\\_Estudo\\_sobre\\_aguas\\_tecnologias\\_limpas\\_no\\_tratamento\\_de\\_efluentes\\_texteis/links/61794bb3eef53e51e1f3c44b/Estudo-sobre-aguas-tecnologias-limpas-no-tratamento-de-efluentes-texteis.pdf](https://www.researchgate.net/profile/MariaLizama/publication/355672956_Estudo_sobre_aguas_tecnologias_limpas_no_tratamento_de_efluentes_texteis/links/61794bb3eef53e51e1f3c44b/Estudo-sobre-aguas-tecnologias-limpas-no-tratamento-de-efluentes-texteis.pdf). Acesso em: 13 abril de 2022.

X. NING, H. CHEN, J. WU, Y. WANG, J. LIU, M. LIN. Effects of ultrasound assisted Fenton treatment on textile dyeing sludge structure and dewaterability, **Chemical Engineering Journal**, v. 242, p. 102-108. 242, 2014. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.cej.2013.12.064>. Disponível em: <[https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1385894713016458?casa\\_token=Bzy-WFxocM4AAAAA:d6DHjaIsx7NSUZ41ewzeScqIIOfwDsmCbkBH-L7XjT41QzO-8xVQsG7IxHyod2NaiQiCGrQMFjzi](https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1385894713016458?casa_token=Bzy-WFxocM4AAAAA:d6DHjaIsx7NSUZ41ewzeScqIIOfwDsmCbkBH-L7XjT41QzO-8xVQsG7IxHyod2NaiQiCGrQMFjzi)>. Acesso em: 16 de setembro de 2021.

YANG, H.; ZHANG, J.; LIU, Y.; WANG, L.; BAI, L.; YANG, L., WEI, D.; WANG, W.; NIU, Y.; CHEN, H. Rapid removal of anionic dye from water by poly(ionic liquid)-modified magnetic nanoparticles. **Journal of Molecular Liquids**, v. 284, p.383-392, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.molliq.2019.04.029>. Disponível em: <[https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0167732219300455?casa\\_token=7YHlt0nBBIoAAAAA:1z2hTbSmYHuGx\\_tzMRYFWpb4hFe2Uj4noPKbdeJlfg9\\_PHdiK19amsmqmT4p7gdQpH9jntRqmj6Q](https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0167732219300455?casa_token=7YHlt0nBBIoAAAAA:1z2hTbSmYHuGx_tzMRYFWpb4hFe2Uj4noPKbdeJlfg9_PHdiK19amsmqmT4p7gdQpH9jntRqmj6Q)>. Acesso em: 16 de setembro de 2022.

ZAKERHAMIDI, MS, KESHAVARZ, M., TAJALLI, H., GHANADZADEH, A., AHMADI, S., MOGHADAM, M.,... HOOSHANGI, V. Isotropic and anisotropic environment effects on the UV/vis absorption spectra of three disperse azo dyes. **Journal of Molecular Liquids**, v. 154, p. 94-101, 2010. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.molliq.2010.04.010>. Disponível em: <[https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0167732210001261?casa\\_token=NjW8Ma5U1jEAAAAA:nnSdBmCOPsr30wzsFcRpiqn6UUZCIqFfrEBaX5txRPqE9PzhhqnywS24PonRHAIImODLXitXOqYIw](https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0167732210001261?casa_token=NjW8Ma5U1jEAAAAA:nnSdBmCOPsr30wzsFcRpiqn6UUZCIqFfrEBaX5txRPqE9PzhhqnywS24PonRHAIImODLXitXOqYIw)>. Acesso em: 16 de setembro de 2022.

ZHANG, X., ZHOU, J., XU, Z., ZHU, P., & LIU, J. Characterization of heavy metals in textile sludge with hydrothermal carbonization treatment. **Journal of Hazardous Materials**, v. 402, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2020.123635>. Disponível em: <[https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0304389420316216?casa\\_token=alzBTOxdTasAAAAA:Dflh82OTUo-DWAYzPzO1URLz0Vds1\\_JR9BhsxXuOLEM1AsfB8u\\_-5\\_HFFpRc9kFr7sUCD1QaX6n0](https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0304389420316216?casa_token=alzBTOxdTasAAAAA:Dflh82OTUo-DWAYzPzO1URLz0Vds1_JR9BhsxXuOLEM1AsfB8u_-5_HFFpRc9kFr7sUCD1QaX6n0)>. Acesso em: 16 de setembro de 2022.

ZHAO, H., & LIN, B. Impact of foreign trade on energy efficiency in China's textile industry. **Journal of Cleaner Production**, v. 245, p. 118878, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.118878>. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0959652619337485?via%3Dihub>>. Acesso em: 16 de setembro de 2022.

ZHENG, N.-Y., LEE, M., & LIN, Y.-L. Co-processing textile sludge and lignocellulose biowaste for biofuel production through microwave-assisted wet torrefaction. **Journal of Cleaner Production**, v. 268, p. 122200, 2020. DOI: [10.1016/j.jclepro.2020.122200](https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.122200). Disponível em: <[https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0959652620322472?casa\\_token=FJUulv5FdJgAAAAA:NIOUjQ6VSeNPEkAGhHrIodomoT5T\\_qQUqkE7zduOaMLQSIh25RBjC3cn2HRmVfOQtznzziCJfxrSt](https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0959652620322472?casa_token=FJUulv5FdJgAAAAA:NIOUjQ6VSeNPEkAGhHrIodomoT5T_qQUqkE7zduOaMLQSIh25RBjC3cn2HRmVfOQtznzziCJfxrSt)>. Acesso em: 16 de setembro de 2022.

ZOU, H., NING, X., WANG, Y., & ZHOU, F. The agricultural use potential of the detoxified textile dyeing sludge by integrated Ultrasound/Fenton-like process: A comparative study. **Ecotoxicology and Environmental Safety**, v. 172, p. 26-32, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2019.01.020>. Disponível em: <[https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S014765131930017X?casa\\_token=3JboZp7vc2cAAAAA:f2KAB2KYmK8muJyr3xHxY6dr5rk2bKZb2CDJZdi7hG05\\_tvz9zwBSGBQJ5gGohjKKPZIWZrOZuGp](https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S014765131930017X?casa_token=3JboZp7vc2cAAAAA:f2KAB2KYmK8muJyr3xHxY6dr5rk2bKZb2CDJZdi7hG05_tvz9zwBSGBQJ5gGohjKKPZIWZrOZuGp)>. Acesso em: 16 de setembro de 2022.





## 8. ANEXO

### Publicações

#### 1. Artigo completo publicado em periódico

SOUTO, T. J. M. P.; MORAES, A.S.; SANTOS JUNIOR, O. P.; Holanda RM; ARAUJO, A. L. S.; SANTOS, B. S.; MEDEIROS, R. M. Bacterial Cellulose: A Review on Applications of Nanomaterials in Adsorptive Processes of Contaminated Environments. *International Journal of Science and Research Methodology*, v. 22, p. 12-37, 2022.

SANTOS, B. S.; AGRA FILHO, J. B.; SANTOS, F. P.; GOUVEIA, R. J. L.; PATU, T. B.; MORAES, A. S.; HOLANDA, R. M. Abordagem Sobre Resíduos Sólidos do Polo Têxtil em Pernambuco e Sua Consequência Ambiental no Semiárido. *Cadernos do Semiárido: riquezas & oportunidades*. v.27, p.14 - 26, 2022.

#### 2. Artigo completo submetido em periódico

SANTOS, B. S.; MORAES, A. S.; SANTOS JUNIOR, O. P.; HOLANDA, R. M.; ALMEIDA, G. L. P.; AGRA FILHO, J. B.; SANTOS, R. L. Study of chemical characterization of textile sludge for viability in application in tropical agricultural crops in pernambuco, Brazil. **International journal of recycling organic waste in agriculture**, 2023.

Human Journals

**Review Article**

August 2022 Vol.:22, Issue:2

© All rights are reserved by Alex Souza Moraes et al.

## Bacterial Cellulose: A Review on Applications of Nanomaterials in Adsorptive Processes of Contaminated Environments



**Thaís Jeruzza Maciel Póvoas Souto<sup>1</sup>, Alex Souza Moraes<sup>2\*</sup>, Otávio Pereira dos Santos Junior<sup>3</sup>, Romildo Morante de Holanda<sup>4</sup>, Arthur Luís Silva de Araújo<sup>2</sup>, Beatriz Silva Santos<sup>5</sup>, Raimundo Mainar de Medeiros<sup>4</sup>**

<sup>1</sup> Postgraduate Program in Chemistry - Federal University of Rural Pernambuco, Recife, Pernambuco, 52171-900, Brazil. <sup>2</sup> Federal University of Rural Pernambuco - Department of Chemistry, Recife, Pernambuco, 52171-900, Brazil. <sup>3</sup> Federal Institute of Pernambuco - Vitória de Santo Antão, Pernambuco, 55600-000, Brazil. <sup>4</sup> Federal University of Rural Pernambuco - Rural Technology Department, Recife, Pernambuco, 52171-900, Brazil. <sup>5</sup> Postgraduate Program in Environmental Engineering - Federal University of Rural Pernambuco, Recife, Brazil.

**Submitted:** 22 July 2022

**Accepted:** 27 July 2022

**Published:** 30 August 2022

**Keywords:** Bacterial cellulose, adsorption, environmental pollution, alternative methods

### ABSTRACT

Bacterial cellulose, also understood as an alternative method of ion removal through adsorption, is the subject of study in this literature review. This was based on the assumption that scientists are looking for effective methods to promote the reduction of environmental pollution, especially concerning toxic metal ions, as they significantly impact the fauna and flora of both the marine environment and fresh water, that is, anthropogenic activity throws in nature inorganic contaminants that need to be properly used in order not to increase the levels of metal ions in water bodies. Thinking about how to understand an effective solution that generates biopolymer productivity, through a qualitative methodology develops a bibliographic review pointing to bacterial cellulose as an absorbent capable of effectively separating heavy metals due to its purity, elasticity, and biocompatibility. Thus, it was intended to contribute to the debate on the application of such type of cellulose in the removal of metal ions from contaminated environments by means of reagents and microbial nanocellulose to score adsorption as an effective alternative.



HUMAN JOURNALS

[www.ijsrm.humanjournals.com](http://www.ijsrm.humanjournals.com)

## INTRODUCTION

Environmental pollution caused by the contamination of potentially toxic metal ions present in rivers and lakes, which originated mainly from industrial effluents, is one of the world's problems to be solved. Some heavy metals are characterized, in certain concentrations, as natural constituents of the environment, thus, contaminations involving these metals alter the levels of usual (normal) concentrations directly and negatively impact the fauna and flora present in marine and freshwater environments.<sup>1</sup> These inorganic contaminants originate from anthropogenic activities (industrial, domestic, agricultural, medical, and technological applications) that inevitably increase the levels of various metal ions in water bodies.<sup>2-3</sup>

In recent years, there has been a great concern on the part of researchers, who are dedicated to the research of new materials capable of presenting themselves as viable technologies for the remediation of these contaminants. Thus, different methods of removal of metal ions from wastewater were also developed, including chemical precipitation, ion exchange, flocculation, membrane filtration, electrochemical treatment, adsorption, and others.<sup>4-5</sup> The use of heavy metal adsorbent materials is considered a promising and effective process since some renewable natural materials are used and prone to chemical modification for greater adsorption.<sup>6</sup> As an example, cellulose or cellulose-based materials are included, covering some agro-industrial waste, which has been applied for the removal of heavy metals.

Bacterial cellulose (BC) has the same chemical composition as vegetable cellulose (VB), that is, both are formed by glucose molecules joined by glycosidic bonds.<sup>7</sup> However, they differ in the size of the fibrils formed, the structure of BC that is devoid of lignin, hemicellulose, and pectin with high purity that has nanocrystalline domains when compared with plant cellulose.<sup>8</sup> In addition to these properties, it is worth highlighting the comparison of the productivity of BC and VB, an essential attribute to determine the advantage of producing cellulose from bacteria.

The first report on bacterial cellulose formation occurred in 1886 by researcher Adrian Brown who described the formation of a gelatinous film on the surface of an apathetic fermentation process.<sup>9</sup> The analysis of this material revealed that the cellulose formed was produced by *the bacterium Acetobacter xylinum*, in which its nomenclature was confirmed at the meeting of the ICSB judicial committee on March 29, 1973<sup>9-10</sup>, currently reclassified as *Gluconacetobacter*

*xylinus*, based on the phylogeny of the 16S rRNA sequence and phenotypic, ecological and chemotaxonomic characteristics.<sup>11</sup> In 1931, Hibbert and Barsha analyzed the chemical composition and structural properties of BC and found that BC was identical to cellulose of plant origin in the molecular formula, although it had unique properties compared to plant cellulose.<sup>12</sup> Once its properties have been examined, it has gained increasing attention and has been widely explored in recent decades by the scientific community.<sup>8</sup>

In this analysis, researchers compared pulp production from 1 ha of eucalyptus with an average annual increment of 50m<sup>3</sup>, providing a basic density of 500kg.m<sup>-3</sup>, generating an average annual increment of 25 tons. of celluloseha<sup>-1</sup> year<sup>-1</sup>. After 7 (seven) years of this planting, 45% of cellulose content was produced, generating 80 tons. Ha-1cellulose. These authors found that the same product could be obtained by bacteria, with a hypothetical yield of 15 g.L<sup>-1</sup> in 50 h of cultivation (average of 0.3 g.h<sup>-1</sup>) in a 500 m<sup>3</sup> bioreactor for approximately 22 days. With this, in addition to having a more efficient production, there is pure and ecologically sustainable bacterial cellulose as a product.<sup>13</sup>

Bacterin cellulose is a more abundant biopolymer consisting of monomeric units of  $\beta$ -D-glucopyranose called cellobiose, which is converted into polymeric cellulose, through the joining of glucose units by  $\beta(1\rightarrow4)$  glycosidic bonds, generating non-branched linear chains, which are connected through van der Waals forces and hydrogen bonds.<sup>14-16</sup> BC has enormous potential to be used as a new adsorbent for effective separation of heavy metals due to its properties of high water retention capacity, fine fiber network, high resistance to mechanical traction, high purity, flexibility, elasticity, absence of toxicity and biocompatibility.<sup>17</sup> However, pure BC is not suitable for the adsorption of a huge variety of metal ions as a result of lower adsorption and selectivity capacity in some cases. Thus, the synthetic strategy of modification of cellulosic matrices, which allows the inclusion of new functional groups capable of improving adsorption activity, has become promising and is characterized as a widely studied line of research.<sup>18</sup>

Due to these peculiar properties, the most common applications of BC are biomedicine, the food industry, pharmacology, cosmetics, electronics, and textiles. According to Shi *et al.*<sup>19</sup>, applications of new BC-based materials are sought for applications in nanotechnology, biotechnology, immobilization, adsorption, catalysis, and engineering, in which hydrogels,

membranes, composites, nanofibers, nanocrystals, and other various products or technologies involving BC are developed.

Thus, the purpose of this review article is to contribute to the discussion on bacterial cellulose and applications of modified bacterial cellulose (MBC) in absorbing processes for the removal of metal ions in contaminated environments focusing on articles published in journals in recent years, to synthesize knowledge on the subject.

## **MATERIALS AND METHODS**

To develop a critical analysis of the use of modified bacterial cellulose in absorbing processes that promote the removal of metal ions in contaminated environments, a descriptive qualitative methodology was developed, using the literature review as the main methodological procedure. However, it should be understood that the literature review focused specifically on scientific articles that worked on the theme through two active methodologies to reagents and Microbial nanocellulose, described below:

### **Reagents**

The strain used for bacterial cellulose membrane growth was *Gluconacetobacter xylinum* (ATCC 23769) supplied by the Biotechnology Laboratory of the Center for Strategic Technologies of the Northeast (Recife, Brazil). Yeast and peptone extract was purchased from HiMedia BioSciences Company (Mumbai, India). Anhydrous bibasic sodium phosphate ( $\text{Na}_2\text{HPO}_4$ ) and succinic acid were acquired from The Modern Chemistry Industry and Commerce (São Paulo, Brazil), and glycerin was acquired from Labsynth (São Paulo, Brazil). All chemicals were analytical in grade and used without additional purification. Bi-distilled water ( $\text{DDH}_2\text{O}$ ) was used in all experimental procedures.

### **Microbial nanocellulose**

The production of the bacterial membrane is used by the bacterium *Gluconacetobacter xylinus* and as a carbon source glycerol. The culture medium was produced with  $30 \text{ g.L}^{-1}$  of glycerol,  $16 \text{ g.L}^{-1}$  of yeast extract,  $5 \text{ g.L}^{-1}$  peptone,  $4 \text{ g.L}^{-1}$  of  $\text{Na}_2\text{HPO}_4$ , and  $3.5 \text{ g.L}^{-1}$  of succinic acid. The volume was distributed in previously autoclaved borosilicate glass bottles at  $121^\circ\text{C}$  for 15

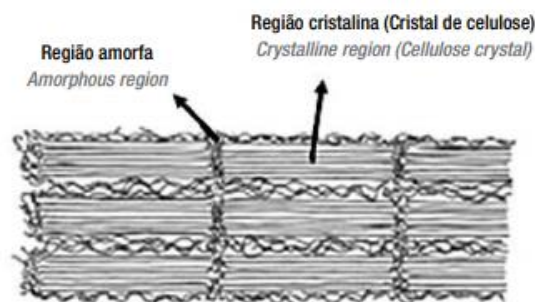
minutes. For incubation, 5mL of *Gluconacetobacter xylinus* was pipetted for Hestrin and Schramm (HS) medium for 48h under static conditions at 30°C. After obtaining the membrane, purification was immersed in a NaOH solution (0.1 mol.L<sup>-1</sup>), under heating at 80°C for 30 minutes. The process was repeated until the pH reached around 7.

## RESULTS

### Bacterial Cellulose Structure

Bacterial cellulose is characterized by presenting a structure in the form of a three-dimensional network, where the chains are grouped through connections of hydrogen bridges forming the microfibrils, which aggregate to form the cellulose fibrils and are then ordered to form the cell wall of the fiber.<sup>20</sup> The bonds involved in the composition of the cellulose structure are: intramolecular, which occur between the hydroxyl groups of the same chain conferring a rigidity of cellulose, and the intermolecular bonds that occur between adjacent hydroxyl chain groups, and are responsible for the formation of the supramolecular structure acquiring great tensile strength.<sup>21</sup>

The microfibrils, which make up the fibers, consist of two distinct regions. One of these regions is formed by highly ordered cellulose chains with a dimension ranging from 1-100nm, known as crystalline regions and the other region consists of disordered chains, known as amorphous regions.<sup>22</sup> According to Jesus Silva and D'almeida<sup>22</sup>, the formation of crystalline regions is related to the polymerization and crystallization of cellulose commanded by enzymatic processes, but the emergence of amorphous regions is related to the malformation of crystalline structures, known as regions in which crystallization occurred with the defect.

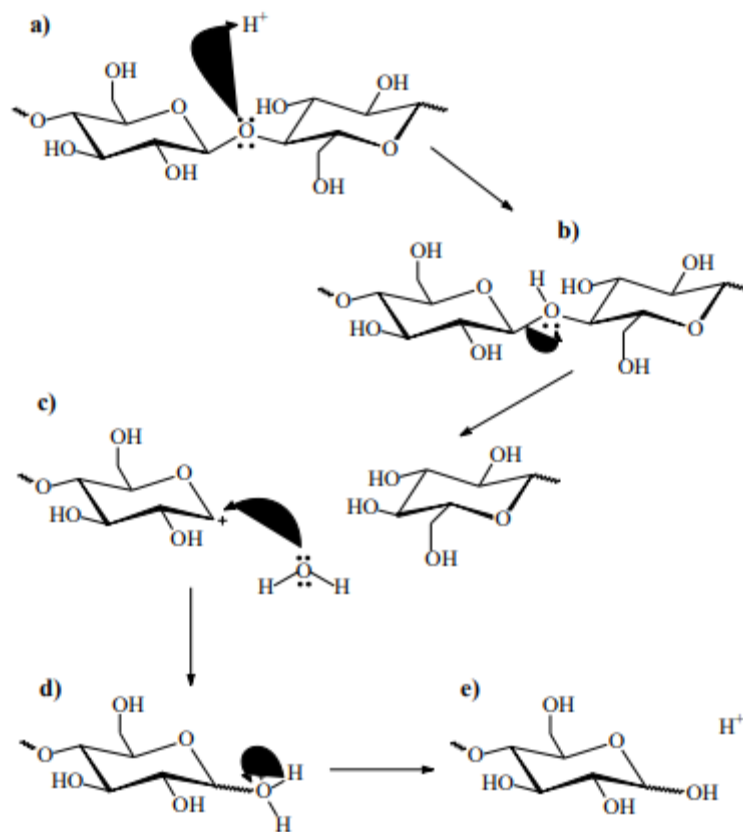


**Figure 1.** Cellulose morphology. Source: Jesus Silva and D'Almeida.<sup>21</sup>

The BC presents a degree of crystallinity between 60 and 90%, considered high, compared with that of plant cellulose which is 40% to 60%. The proportion between the crystalline and amorphous regions, which determines the degree of crystallinity and dimensional characteristics of the crystalline domains of BC varies according to their origin and pretreatment.<sup>23</sup>

Cellulose nanocrystals (CNCs) are crystalline domains of cellulosic fibers obtained through acid hydrolysis. The crystalline regions of the cellulose structure are insoluble under the conditions used because cellulose has a high molecular organization in its nanostructure.<sup>22</sup> On the other hand, the natural disorder of cellulose in the amorphous regions makes acid accessible and, therefore, breaks the cellulose chains, because in this region it presents less stereochemical impediment and lowers cohesive forces of hydrogen bonds and Van der Waals than in the crystalline regions.<sup>21</sup>

Acid hydrolysis begins with the protonation of glycoside oxygen (Figure 4.a), followed by the destruction of the C<sub>1</sub>-O bond (Figure 4.b). The carcarbocation generated in step b can be stabilized by the repositioning of the existing electron pair in the oxygen of the glycoside ring that is adjacent to carbon 1. The nucleophilic attack of water in C<sub>1</sub> (Figure 4.c) through acid regeneration (Figure 4.d and 4.e) terminates the depolymerization phase (if it occurs within the cellulose chain, new extremities are produced) or glucose production (when hydrolysis occurs directly at the extremities).<sup>24</sup> The result of this process is the obtaining of cellulose nanocrystals, where their sizes depend on hydrolysis conditions, such as concentration and type of acid, time, temperature, and cellulose source.<sup>25</sup>



**Figure 2.** Mechanism of cellulose hydrolysis in the acid medium for CNCs formation. Source: Ogeda and Petri.<sup>25</sup>

Table 1 shows the length and width of cellulose nanocrystals from different cellulose sources and hydrolysis conditions. It can be observed that CNCs obtained from bacterial cellulose is generally larger in dimensions than those derived from lignocellulosic material. This is because bacterial cellulose is highly crystalline, so there is a small portion of amorphous regions, resulting in larger nanocrystals.<sup>26</sup>



**Table 1.** Dimensions of CNCs prepared from different sources.

Source	Length (nm)	Diameter (nm)	Reference
Bacterial Cellulose	200-1000	16-50	Vasconcelos <i>et al.</i> <sup>27</sup>
Cotton	100-150	5-10	Araki <i>et al.</i> <sup>28</sup>
Wheat straw	150-300	4-5	Dufresne <i>et al.</i> <sup>29</sup>
Rice straw	117	8-14	Ping e hsieh <sup>30</sup>
Coconut fiber	172	8	Nascimento <i>et al.</i> <sup>31</sup>
Wood	120-170	4,5-7,5	De Mesquita <i>et al.</i> <sup>32</sup>

The main acids used in the isolation of CNCs are sulfuric acid and hydrochloric acid. The isolation of cellulose crystals with sulfuric acid was first reported by Ranby in 1951, when highly stable colloidal suspensions were produced, as the sulphonation process produces a large number of negative charges on the surface of cellulose nanocrystals facilitating dispersion in water. On the other hand, a large number of sulfated groups on the cellulose surface catalyzes the decomposition reaction of nanocrystals, leading to a decrease in the temperature of thermal degradation. Despite the low load density and, therefore, suspension instability, hydrolysis with hydrochloric acid will still produce nanocrystals with greater thermal stability due to the absence of sulfated groups.<sup>27</sup>

However, other acids can also be used for the extraction of cellulose nanocrystals, arranged in Table 2 with their hydrolysis conditions.

**Table 2.** Research for the extraction of cellulose nanocrystals

Source	Type of Acid	Hydrolysis conditions	Reference
Bacterial Cellulose	H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> 50%, 60% e 65% (m/m)	60 minutes, 45°C	Vasconcelos <i>et al.</i> <sup>27</sup>
Cotton	HBr 2,5 M	180 minutes, 100°C	Sadeghifar <i>et al.</i> <sup>33</sup>
Cotton	H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub> 85% (V/O)	90 minutes, 100°C	Espinosa <i>et al.</i> <sup>34</sup>
Bamboo	HNO <sub>3</sub> 30%+ KClO <sub>4</sub> 10% (m/m)	24 hours, 50°C	Liu <i>et al.</i> <sup>35</sup>

Acid hydrolysis using hydrochloric acid is less common to hydrolysis with sulfuric acid. However, studies have been developed in obtaining nanocrystals through combined acids (sulfuric and hydrochloric), producing more NCC with more stable suspensions and with more thermal resistance.<sup>31,32,36</sup>

Studies conducted by Teixeira *et al.*<sup>37</sup> applied the process of hydrolysis of combined acids (1:1; sulfuric acid: hydrochloric acid) in nanofibers of commercial cotton. The results showed that the morphology and crystallinity of the nanofibers are similar, regardless of the acid used in hydrolysis. On the other hand, the main difference found was that the incorporation of HCl into H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> proved to be effective in increasing the thermal stability of cellulose nanofibers compared to those applied only with H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>.<sup>35</sup>

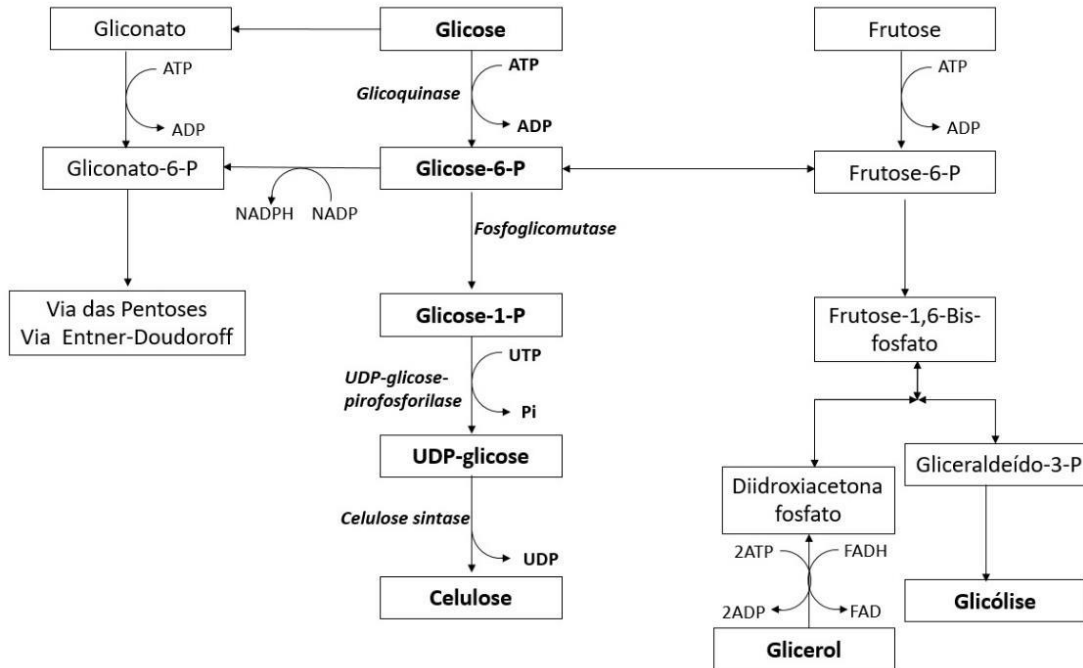
### Bacterial Cellulose Biosynthesis

The structural properties of BC are influenced by the nanostructure of the material, a property directly related to the type of bacteria used in fermentation. Among all the microorganisms found in the literature capable of synthesizing BC, the most used is *Gluconacetobacter xylinus*, which has been considered a model microorganism for biosynthesis studies, due to its ability to produce cellulose in the presence of different sources of carbon and nitrogen.<sup>33-38</sup>

The synthesis of CB from *Gluconacetobacter xylinus* consists of a process that involves three main steps. The first step concerns the polymerization of glucose residues in a 1→4β glycan

chain, followed by the step that corresponds to the extracellular secretion of linear chains, and finally refers to the crystallization of glucan chains using hydrogen bonds and Van der Waals forces.<sup>34, 39, 40</sup>

The biosynthesis process of BC involves several biochemical reactions, when glucose is used as a carbon source, the formation of cellulose chains occurs between the outer membranes and cytoplasmic membranes of the cell by the biocatalytic action of enzymatic complexes of cellulose synthesis from phosphoglucose uridine (UDPGlc).<sup>41</sup> The best known biochemical pathway is the polymerization of glucose in cellulose, plus other substrates can also produce bacterial cellulose, as shown in Figure 3. In this way, some specific enzymes are necessary to first convert glucose into ATP-dependent glucose-6-phosphate by the action of the enzyme glucokinase. In the second step, the enzyme phosphoglucomutase converts glucose-6-phosphate into glucose-1-phosphate through an isomerization reaction. After the conversion reaction, glucose-1-phosphate undergoes a reaction by enzyme-glucose pyrophosphorylase, responsible for the synthesis of uridine diphosphoglucose (UDPGlc). By using uridine triphosphate molecules, and releasing pyrophosphate molecules, UDP-glucose will be used as a substrate by the cellulose synthase enzyme to initiate the glucose polymerization reaction for bacterial cellulose production.<sup>42</sup> Lee *et al.*<sup>38</sup> explain that this polymerization reaction process is not yet fully understood by researchers, being a possible hypothesis.



**Figure 3.** Biochemical pathways for the production of bacterial cellulose. Source: Adapted from Recouvreux.<sup>42</sup>

BC is regulated by the cellulose synthase enzyme, which is responsible for catalyzing the polymerization reaction of glucose molecules, which is activated by the cyclic adenosine molecule monophosphate (c-di-GMP), the c-di-GMP molecule is synthesized by the enzyme diguanylate cyclase from two molecules of guanosine triphosphate (GTP), c-di-GMP concentration is controlled by the phosphodiesterase enzyme that degrades the c-di-GMP molecule producing bacterial cellulose.<sup>43</sup>

BC begins to be formed when the bacterium originates chains that aggregate generating subfibrils with widths of approximately 1.5 nm, which are grouped with others forming an elemental fibrilla with a diameter of approximately 3-3.5nm. The fibrils join through hydrogen bridges forming a ribbon, ultra-thin structure reaching lengths between 1 and 9 µm, the name given to CB fibrils.<sup>23</sup>

## DISCUSSION

In the production of BC, the most used culture medium is that described by Hestrin and Schramm<sup>44</sup>, which is a synthetic medium that uses glucose as a carbon source, and as a source of peptone nitrogen and yeast stratum. The fermentative medium for BC production is usually composed of 2% m/v of glucose, 0.5% peptone, 0.5% m/v of yeast extract, 0.27% m/v of disodium phosphate ( $\text{Na}_2\text{HPO}_4$ ) and 0.115% m/v of citric acid, with pH of approximately 6 (six).<sup>45</sup> However, other alternative sources have been studied and evaluated in an attempt to obtain better yields.

Bacterial cellulose can be synthesized by static and agitated conditions.<sup>17</sup> The choice of cultivation condition will depend on the applicability of the formed product, since some properties of BC may differ. In general, they are usually grown statically, using aerobic fermentation, produced at the air-liquid interface, which is incubated for several days until a membrane is formed on the surface, which increases in thickness with increasing cultivation time. Traditionally the crop is grown in shallow jars for a period of 5 to 20 days until the appearance of a film on the surface of the bottle. The film is then removed, and washed, usually with sodium hydroxide (NaOH) in a water bath at 80°C for the removal of bacteria, known as the purification process of BC.<sup>42</sup> Borzani and Souza<sup>46</sup> in their studies contacted a thin layer of cellulose that formed parallel to the surface of the culture medium, which confirmed what Fontana<sup>47</sup> described, because for this a new layer always appeared at the liquid-air interface and that nutrients diffuse through the innermost BC layer to the most active bacterial cells in synthesis.

The advantages of production in static cultivation are the low cost and because it is a simple method although it presents some disadvantages that do not lead to the process, such as control and standardization of the inoculum, monitoring the temperature and pH, and determination of the amount of oxygen dissolved in the medium.<sup>47,44,48</sup>

The BC produced under agitated conditions, with bioreactors or bottles with agitation, is presented in the form of small granules instead of film, which directly influences the yield of BC production, by the fact of providing greater aeration.<sup>13</sup> There are reports in the literature that, in agitated crops, there are formations of spontaneous mutations, where cellulose-producing strains

are transferred to spontaneously agitated cultures, they become non-producing bacteria, resulting in the reduction of the degree of polymerization and the degree of crystalline and mechanical resistance compared with BC produced under static conditions.<sup>44,49,50</sup>

Several factors influence the production and properties of BC from the choice of microorganism used to the temperature, pH, dissolved oxygen in the medium, and composition of the medium because they cause microorganisms to respond quickly to induction or inhibition of protein activity and changes in cell morphology. According to Ruka *et al.*<sup>51</sup>, determining the ideal environment and growth conditions to enable high levels of pulp production will add the characteristics needed to extend the technology to industrial environments.

Temperature is an important parameter for conducting the BC production process. Son *et al.*<sup>52</sup> analyzed the influence of temperature in the range of 20°C to 40°C on the yield of BC produced in the Hestrin-Schram medium (HS) and verified that the ideal temperature would be 30°C, concluding that the temperature affects not only productivity but also morphology and crystalline structure of the final biopolymer. In addition, they found that by decreasing the culture temperature from 30°C to 25°C, there was no significant decrease in BC yield compared to the variation from 35°C to 30°C. Identical results were found by Erbas *et al.*<sup>53</sup>, Zeng *et al.*<sup>54</sup>, Pecoraro *et al.*<sup>23</sup>, and Hungund and Gupta.<sup>50</sup> Already Hirai *et al.*<sup>55</sup>, showed that the CB produced by the bacterium *A. hansenii* ATCC 23769 in HS medium at 40°C and formed by cellulose bands II, while the BC produced at 28°C led to a morphology formed by cellulose strips I.

Media with different initial pH conditions tend to have different responses regarding the production of CB, because the variation of pH in fermentation processes can cause an increase or decrease in sugar consumption, consequently affecting the cell division and the number of nutrients available in the medium. The optimum pH for bacterial cellulose production is dependent on the microorganism that will be used, varying the pH from 4 to 7.<sup>56</sup> According to studies conducted by Son *et al.*<sup>52</sup>, The production of BC was observed in the pH range of the medium from 4.5 to 7.5, leading to a higher production of BC at pH 6.5. Similar results were found by Yassine *et al.*<sup>57</sup> Already Panesar *et al.*<sup>56</sup> tested an industrial production of BC for biomedical applications, at pH between 4 and 4.5, to avoid contamination of the medium during cultivation. It is important to emphasize that the use of buffer is interesting to avoid the fall of

the pH during the fermentation process being necessary to obtain a higher yield.<sup>40</sup> This decrease in pH occurs mainly when glucose is used as a carbon source, and it is important to control it within the optimal pH value range.<sup>58,59</sup>

This parameter is essential to analyze cell metabolism, which interferes in increasing the yield of BC production, as well as in the final quality of biopolymer. It is worth mentioning that high concentrations of dissolved oxygen can increase the rates of gluconic acid, which confers cellular infeasibility when synthesizing cellulose.<sup>50,60</sup>

BC can be grown both in a static and agitated medium. In an agitated medium, BC forms granules and still makes the medium viscous with the presence of cellulose in gelatinous structures. In a static medium, the biomembrane remains at the liquid-air interface forming a film, which its thickness increases according to the time of cultivation.<sup>53</sup>

Yan *et al.*<sup>61</sup> studied that the BC produced in an agitated medium has lower mechanical resistance when compared to that produced in a static medium.

Regarding the composition of the culture medium, studies have been reported on the ability of bacteria of the *genus Gluconacetobacter* to metabolize various carbon sources and consequently influence the production yield of BC, resulting from the composition, so the number of sugars available in the substrate becomes important for the metabolism of bacteria.<sup>62-63</sup>

According to reports in the literature, several sources of carbon (monosaccharides, disaccharides, oligosaccharides), alcohols (ethanol, glycerol, and ethylene glycol), organic acids (citrate, succinate, and glycolate), and other compounds have already been studied to maximize bacterial cellulose production.<sup>49</sup>

As already mentioned, the main BC production medium was reported by Hestrin-Schram<sup>44</sup>, in which glucose and citric acid were used as a carbon source and yeast and peptone extract as nitrogen source. Such research to discover other low-cost and carbon sources that serve as a substrate for *G.xylinum* is very important for the viability of large-scale production of bacterial cellulose, which allows the substitution of plant cellulose by bacterial biopolymer.<sup>64,65</sup> However, some studies suggest the use of cheaper carbon sources, such as glycerol, maltose, xylose,

mannitol, and by-products from the agroindustry, to reduce production costs and increase yield, as 65% of the value of commercial pulp is related to the cost of production.<sup>40,64</sup>

Studies conducted by Jonas and Farah<sup>66</sup> reported the occurrence of an increase in CB production using D-arabitol of 6.2 times and with D-mannitol of 3.8 times compared to glucose. Castro *et al.*<sup>67</sup> verified the production of BC by *Gluconacetobacter*, using other sugars (maltose, cellobiose, xylose, sucrose, and galactose) in place of glucose in HS medium and observed that such sources did not provide higher production. In contrast, Hong and Chi<sup>68</sup> and Yodswan *et al.*<sup>69</sup> Using the Strain *G. xylinus*, considered that mannitol and fructose are the best carbon sources for BC production. Keshk and Sameshima<sup>70</sup> and Jung *et al.*<sup>49</sup>, obtained a significant production only with the use of glucose, fructose, and glycerol, as carbon sources. Ramana *et al.*<sup>71</sup> reported that among the substrates of carbon, lactose, galactose, citric acid, starch, and maltose produced less than 2.0 g.L<sup>-1</sup> of cellulose.

Mikkelsen *et al.*<sup>63</sup> utilized sucrose as a carbon source, which presented a low yield in the first 46 hours of fermentation, after 96 hours high yields were observed. But Zhong *et al.*<sup>71</sup>, used six sources of carbon, glucose, mannitol, glycerol, fructose, sucrose, and galactose; and observed that more than 96 h of the use of glycerol and glucose provided better production yields compared to the other sources, without presenting differences in structural characterization. Kesh and Sameshima<sup>73</sup> evaluated cellulose production by *G. xylinus* from 18 carbon sources, among which only fructose and glycerol presented cellulose yields close to glucose, and glycerol was 55% higher.

Some authors report that the BC crystalline index is affected by the change in nitrogen and carbon source.<sup>51,63,70</sup> Jung *et al.*<sup>49</sup> also state, in their studies, that the amount of sugar can influence the osmotic effect, because the high concentration of sugars can promote a lower level of water activity by decreasing the metabolic rate and, consequently, the synthesis of BC. On the other hand, yeast extract is the most complete nitrogen source for *Gluconacetobacter species*, as it provides an adequate amount of nitrogen and growth factors for the strains.

In addition to the main sources of carbon, nitrogen, and phosphorus, culture media should contain elements in a smaller amount, called Trace elements, such as Na<sup>+</sup>, K<sup>+</sup>, Ca<sup>2+</sup>, Mg<sup>2+</sup>, Fe<sup>2+</sup>,



and among others, which play an important role as enzymatic cofactors in polysaccharide production pathways.<sup>63,70</sup>

Therefore, determining an ideal environment and the right growth conditions to enable high levels of pulp production will add the characteristics needed to extend the technology to the industrial field.<sup>51</sup>

### **Bacterial Cellulose in The Generation of Adsorbent Matrices**

Due to the advance in technology and the increase in the life expectancy of the population, industrial and agricultural fields have advanced a lot in recent years, as well as family activities, resulting in the insertion of various pollutants in the environment, especially in the soil and in the aquatic environment. Among these pollutants are organic substances, inorganic anions, metal ions, and micropollutants. To eliminate this large number of pollutants, and due to their different structural matrices; various techniques are adopted.<sup>74</sup> In the last 10 years, some researchers have pointed out that the adsorption technique has great potential to remove pollutants, indicating new research using pure or modified cellulose (composites) with the adsorbent matrix.

In this context, much scientific research has focused on the development of the ideal engineering for the production of BC-based products.<sup>72</sup> However, because it has a porous nature due to the distribution of the fibers in its composition, it makes it possible to add several materials to the cellulosic matrix. Thus, the composites are composed of two distinct materials, the matrix and the reinforcing material, where the matrix acts as a support to the reinforcing material, thus providing even more significant physical-chemical and biological properties to the biopolymer.<sup>75</sup>

BC modifications can be obtained based on the type of technique. Studies have shown that several compounds have been successfully added *to BC through in situ modifications*, when insertion occurs during the cultivation of the bacterium, the compound is diffused from the culture medium to the fibers. On the other hand, the *ex situ method* consists of the addition of the compound after the formation of purified BC.<sup>15,76</sup>

The *ex situ method* can occur by chemical or physical processes. The high number of hydroxyl functional groups present in the polymer chain allows a wide variety of chemical modifications by esterification reactions, esterification, halogenation, oxidation, chemical treatment, and

silylation.<sup>77-78</sup> On the other hand, chemical modifications include coating and adsorption processes.<sup>75-76,79-80</sup>

The adsorption process is a wastewater treatment method that has stood out because it presents an effective removal of organic and inorganic compounds. In turn, it is a technique that refers to a process where some of the chemical species of the fluid phase (adsorbate) adhere to the surface of the solid phase of a material (adsorbent), which can also be classified according to the type of adsorption, being them, physical (physisorption) or chemical (chemisorption).<sup>81</sup>

According to Miyashiro *et al.*<sup>82</sup>, physical adsorption (physisorption) is characterized by van der Waals interactions, hydrogen bonds and induced dipole-dipole interactions, in which there is the addition of a monolayer of the compound that overlaps the adsorbent surface, being a reversible phenomenon, a relationship of intermolecular forces and weak attraction between the surface of the material and the adsorbate. The authors also note that chemical adsorption (chemisorption) is characterized by covalent or ionic interactions, being an irreversible process, because it is difficult to remove chemically absorbed species.

Cellulose-based products can be used in various separation technologies, namely in the commercial area, food and beverages, pharmaceuticals, scientific research, wastewater treatments, and others. In the treatment of contaminated environments, ethers and cellulose esters are the most used today, as they can perform all types of filtrations, due to their good adsorption capacity and toxic metals and other pollutants.<sup>83</sup> Pure cellulose has adsorption properties, but when chemically modified it has a higher adsorption capacity for various contaminants.<sup>74</sup>

### **Applications of Nanomaterials Containing CB Matrices for Adsorptive Processes in Contaminated Environments**

In the literature, a diversity of compounds can be found that can be added to the bacterial cellulosic matrix to evaluate changes in morphology, yields, and crystallines and produce different composites that are applied in adsorptive processes for the removal of contaminants.

Stoica-Guzun *et al.*<sup>84</sup> synthesized a composite of bacterial-magnetite cellulose, in which the experimental data obtained proved that the nanocomposite can be used to remove chromium ions (IV) from wastewater at pH 4, with a minimal dissolution of magnetite during operation.

Zhuang and Wang<sup>85</sup> studied BC modified with nickel hexacyanoferrate (Ni-HCF) and found that the maximum adsorption capacity of Cesium ions (I) was approximately  $175.44 \text{ mg.g}^{-1}$  at pH 6, indicating an efficient adsorbent for  $\text{Cs}^+$  removal, where the mechanism is performed through ion-exchange between monovalent cations presented in the modified cellulosic network was responsible for capturing  $\text{Cs}^+$ .

Jinet *et al.*<sup>86</sup> modified bacterial cellulose with polyethyleneimine and obtained a maximum adsorption capacity of copper (II) and lead ions (II), respectively  $148 \text{ mg.g}^{-1}$  and  $141 \text{ mg.g}^{-1}$ , presenting a higher absorption compared to unmodified BC. However, the effect of pH directly affects the process of adsorption of metal ions, as they observed precipitations in the Solution of  $\text{CuSO}_4$  when the pH was higher than 5.5, as well as in the solution of  $\text{PbCl}_2$  when the pH was higher than 6.3. Thus, it was observed that Cu adsorption (II) was performed at pH 4.5 while Pb (II) reaches its capacity at pH 5.5. Kumar and Sharma<sup>87</sup>, on the other hand, developed bacterial cellulose functionalized with N-isopropylacrilamide and acrylic acid, for Ni(II), Cu(II), and Pb(II) and ion adsorption tests, in which a maximum adsorption capacity of Ni(II), Cu(II) and Pb(II) ions were verified, were  $79.78 \text{ mg.g}^{-1}$ ,  $84.67 \text{ mg.g}^{-1}$  and  $118 \text{ mg.g}^{-1}$ , respectively at pH 5.

Shen *et al.*<sup>88</sup>, in turn, synthesized the biosorbent by modifying bacterial cellulose with diethylnotamycin and verified that the best composite adsorption performance for Cu (II) and Pb (II) ions was obtained in a solution with pH 4.5, reaching its maximum adsorption capacity of Cu (II) and Pb (II) of  $63.09 \text{ mg.g}^{-1}$  and  $87.41 \text{ mg.g}^{-1}$ , respectively, providing relatively comprehensive data for the application of modified biomaterial in the removal of metal ions in wastewater. Chen *et al.*<sup>89</sup>, synthesized carboxymethyl bacterial cellulose, and verified a good adsorption performance at pH 4.5, with a maximum adsorption capacity of Cu ions (II) of  $12.53 \text{ mg.g}^{-1}$  and Pb (II) of  $60.42 \text{ mg.g}^{-1}$ .

In this way, Zhang *et al.*<sup>90</sup> synthesized hydroxypropyl cellulose xanthate and observed that at pH 5 the maximum adsorption capacity of Cu ions (II) was  $126.58 \text{ mg.g}^{-1}$ , while at pH 6 the adsorption capacity of Ni ions (II) was  $114.24 \text{ mg.g}^{-1}$ , the mechanism involved in adsorption of these ions results in ion exchange followed by complexation. The composite binds transition metal ions by forming the coordination complex in which four sulfur atoms or two sulfur atoms are associated with a divalent metal ion.

## CONCLUSION

Although plant pulp is very versatile, sustainability and environmental protection lead people to seek alternative materials. Among them, bacterial cellulose stands out, a material that presents fibers on a nanoscale, against the micrometric of plant cellulose, besides presenting excellent properties when compared to vegetable cellulose.

The present work sought to present the concept, properties, production, and chemical modifications of bacterial cellulose to the reader, as well as to bring what has been most current in research on this biopolymer applied to the process of adsorption of pollutants in contaminated environments.

Bacterial cellulose, therefore, proved to be an excellent adsorption matrix, and modified bacterial celluloses have more active sites that allow interaction with metal ions, thus being considered efficient methods of removal allowing experimental studies of these systems with environmental applications.

## REFERENCES

1. Jaishankar, M.; Tseten, T.; Anbalagan, N.; Mathew, B.B.; Beeregowda, K.N. Toxicity, mechanism and health effects of some heavy metals. *Interdisciplinary Toxicology*. 2014, 7, 60. Available at: <https://www.sciendo.com/article/10.2478/intox-2014-0009>.
2. Abouhend, A.S.; El-moselhy, K.M. Spatial and Seasonal Variations of Heavy Metals in Water and Sediments at the Northern Red Sea Coast. *American Journal of Water Resources*. 2015, 3, 73. Available at: <http://pubs.sciepub.com/ajwr/3/3/2/>.
3. Karbassi, A.R.; Tajziehchi, S.; Khoshghalb, H. Speciation of heavy metals in coastal water of Qeshm Island in the Persian Gulf. *Global Journal of Environmental Science and Management*. 2018, 4, 91. Available at: [https://www.gjesm.net/article\\_26317.html](https://www.gjesm.net/article_26317.html).
4. He, Z.; Song, H.; Cui, Y.; Zhu, W.; Du, K.; Yao, S. Porous spherical cellulose carrier modified with polyethyleneimine and its adsorption for Cr(III) and Fe(III) from aqueous solutions. *Chinese Journal of Chemical Engineering*. 2014, 22, 984. Available at: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1004954114000809?via%3Dihub>.
5. Tan, K.L.; Hameed, B.H. Insight into the adsorption kinetics models for the removal of contaminants from aqueous solutions. *Journal of the Taiwan Institute of Chemical Engineers*. 2017, 74, 25. Available at: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1876107017300378?via%3Dihub>.
6. Wang, F.; Pan, Y.; Cai, P.; Guo, T.; Xiao, H. Single and binary adsorption of heavy metal ions from aqueous solutions using sugarcane cellulose-based adsorbent. *Bioresource Technology*. 2017, 241, 482. Available at: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0960852417308301?via%3Dihub>.
7. Lima, L.R.; Santos, D.B.; Santos, M. V.; Barud, H.S.; Henry, M.A.; Pasquini, D.; Pecoraro, E.; Ribeiro, S.J.L. Cellulose Nanocrystals From Bacterial Cellulose. *New Chemistry*. 2015, 38, 1140. Available at: <https://www.crossref.org/iPage?doi=10.5935%2F0100-4042.20150131>

8. Cacicedo, M.L.; Castro, M.C.; Servetas, I.; Bosnea, L.; Boura, K.; Tsafrakidou, P.; Dima, A.; Terpou, A.; Koutinas, A.; Castro, G.R. Progress in bacterial cellulose matrices for biotechnological applications. *Bioresource Technology*. 2016, 213, 172. Available at: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0960852416302085?via%3Dihub>.
9. Brown, J. On an acetic ferment which forms cellulose. *Chemical Society transactions*. 1886, 49, 432.
10. Skerman, V.B.D.; McGowan, V.; Sneath, P.H.A. Approved lists of bacterial names. *International Journal of Systematic Bacteriology*. 1980, 30, 225–420. Available at: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/20806452/>.
11. Yamada, Y.; Yukphan, P.; Vu, H.T.L.L.; Muramatsu, Y.; Ochaikul, D.; Tana Supawat, S.; Nakagawa, Y. Description of *Komagataeibacter* with proposals of new combinations (Acetobacteraceae). *Gen. Microbiol.* 2013, 58, 397–404. Available at: [https://www.jstage.jst.go.jp/article/jgam/58/5/58\\_397/\\_article](https://www.jstage.jst.go.jp/article/jgam/58/5/58_397/_article).
12. M. Ul-Islam, S. Khan, MW Ullah, JK Park. Comparative study of plant and bacterial cellulose films regenerated from dissolved states. *Int. J. Biol. Macromol.* 2019, 137, 247 - 252. Available at: [https://repositorio.ufscar.br/bitstream/handle/ufscar/15483/TCC\\_CORRIGIDO\\_AMANDA\\_OK.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://repositorio.ufscar.br/bitstream/handle/ufscar/15483/TCC_CORRIGIDO_AMANDA_OK.pdf?sequence=1&isAllowed=y).
13. Donini, Í.A.N.; Salvi, D.T.B. DE; Fukumoto, F.K.; Lustrì, W.R.; Barud, H.S.; Marchetto, R.; Messaddeq, Y.; Ribeiro, S.J.L. Biosynthesis and recent advances in bacterial cellulose production. *Chemical Ecclesia*. 2010, 35, 165. Available at: <https://revista.iq.unesp.br/ojs/index.php/eclética/article/view/244>.
14. Santos, S.M.; Carbajo, J.M.; Quintana, E.; Ibarra, D.; Gomez, N.; Ladero, M.; Eugenio, M.E.; Villar, J.C. Characterization of purified bacterial cellulose focused on its use on paper restoration. *Carbohydrate Polymers*. 2015, 116, 173. Available at: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0144861714003142?via%3Dihub>.
15. Esa, F.; Tasirin, S.M.; Rahman, N.A. Overview of Bacterial Cellulose Production and Application. *Agriculture and Agricultural Science Procedia*. 2014, 2, 113. Available at: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2210784314000187?via%3Dihub>.
16. Credou, J.; Berthelot, T. Cellulose: From biocompatible to bioactive material. *Journal of Materials Chemistry B*. 2014, 2, 4767. Available at: <https://pubs.rsc.org/en/content/articlelanding/2014/TB/C4TB00431K>.
17. Feng, Q.M.; Feng, B.; Lu, Y.P. Influence of copper ions and calcium ions on adsorption of CMC on chlorite. *Transactions of Nonferrous Metals Society of China (English Edition)*. 2013, 23, 237. Available at: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S1003632613624516>.
18. Lu, M.; Guan, X.H.; Wei, D.Z. Removing Cd<sup>2+</sup> by Composite Adsorbent Nano-Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>/Bacterial Cellulose. *Chemical Research in Chinese Universities*. 2011, 27, 1031. Available at: [https://www.researchgate.net/publication/297278950\\_Removing\\_Cd2\\_by\\_Composite\\_Adsorbent\\_Nano-Fe3O4Bacterial\\_Cellulose](https://www.researchgate.net/publication/297278950_Removing_Cd2_by_Composite_Adsorbent_Nano-Fe3O4Bacterial_Cellulose).
19. Shi, Z.; Zhang, Y.; Phillips, G. O.; Yang, G. Utilization of bacterial cellulose in food. *Food Hydrocolloids*. 2014, 35, 539–545. Available at: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0268005X13002142>.
20. Iguchi, M.; Yamanaka, S.; Budhiono, A. Bacterial cellulose - a masterpiece of nature. *J. Mater. Sci.* 2000, 35, 261-270. Available at: <https://link.springer.com/article/10.1023/A:1004775229149>.
21. David, H.; Hon, S. Cellulose: A random walk along its historical path. *Cellulose*. 1994, 1, 1, 1-25. Available at: <https://link.springer.com/article/10.1007/BF00818796>.
22. Jesus Silva, D. de; D'Almeida, M. L. O. Cellulose nanocrystals. *The Paper (Brazil)*. 2009, 70, 7, 34–52. Available at: [http://www.revistaopapel.org.br/noticia-anexos/1311883542\\_1b4f1881c01129ce934b0cb4b4ebb9ab\\_343315426.pdf](http://www.revistaopapel.org.br/noticia-anexos/1311883542_1b4f1881c01129ce934b0cb4b4ebb9ab_343315426.pdf).
23. Pecoraro, É.; Manzani, D.; Messaddeq, Y.; Ribeiro, S. J. L. Bacterial Cellulose from *Glucanacetobacter xylinus*: Preparation, Properties, and Applications. In: M. N. Belgacem; A. Gandini (Eds.); *Monomers, Polymers, and Composites from Renewable Resources*. 1 ed., Amsterdam: Elsevier Ltd, 2008.
24. Ogeda, T. L.; Petri, D.F.; They're the other. Enzymatic hydrolysis of biomass. *New chemistry*. 2010, São Paulo, 33, 7, 1549–1558. Available at: <http://static.sites.s bq.org.br/quimicanova.s bq.org.br/pdf/AR2019-0497.pdf>.

25. Klemm, D.; Kramer, F.; Moritz, S.; Lindström, T.; Ankerfors, M.; Gray, D.; Dorris, A. Nanocelluloses: A new family of nature-based materials. *Angewandte Chemie International Edition*. 2011, 50, 5438-5466. Available at: <http://static.sites.sbg.org.br/quimicanova.sbg.org.br/pdf/AR2019-0497.pdf>.
26. Brinchi, L. *et al.* Production of nanocrystalline cellulose from lignocellulosic biomass: Technology and applications. *Carbohydrate Polymers*. 2013, 94, 1, 154-169. Available at: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0144861713000490?via%3Dihub>
27. Martínez-Sanz, M., Lopez-Rubio, A., & Lagaron, J. M. Optimization of the nanofabrication by acid hydrolysis of bacterial cellulose nanowhiskers. *Carbohydrate Polymers*. 2011, 85(1), 228–236. Available at: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0144861711001263?via%3Dihub>
28. Sadeghifar, Hasan & Filpponen, Ilari & Clarke, Sarah & Brougham, Dermot & Argyropoulos, Dimitris. Production of cellulose nanocrystals using hydrobromic acid and click reactions on their surface. *Journal of Materials Science*. 2011. 46. Available at: <https://link.springer.com/article/10.1007/s10853-011-5696-0>.
29. Espinosa, Sandra Camarero, *et al.* Isolation of Thermally Stable Cellulose Nanocrystals by Phosphoric Acid Hydrolysis. *Biomacromolecules*. 2013, 14, 4, 1223-1230. Available at: <https://pubs.acs.org/doi/10.1021/bm400219u>.
30. Liu, Dagang, *et al.* Starch composites reinforced by bamboo cellulosic crystals. *Bioresource Technology*. 2010, 101, 7, 2529-2536. Available at: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0960852409015624>.
31. Rebouillat, Serge; Pla, Fernand. State of the Art Manufacturing and Engineering of Nanocellulose: A Review of Available Data and Industrial Applications. *Journal of Biomaterials and Nanobiotechnology*. 2013, 4, 2, 165-188. Available at: <https://www.scirp.org/journal/paperinformation.aspx?paperid=29869>.
32. Wang, Neng; Ding, Enyong; Cheng, Rongshi. Thermal degradation behaviors of spherical cellulose nanocrystals with sulfate groups. *Polymer*. 2007, 48, 12, 3486-3493. Available at: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0032386107003175?via%3Dihub>
33. Ross, P.; Mayer, R.; Benziman, M. Cellulose biosynthesis, and function in bacteria. *Microbiological Reviews*. 1991, 55, 35–58. Available at: <http://www.pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/2030672/>
34. Chavez, P.J. L.; Martinez, S.Y.; Zentella, C. E.; Marván, E. Bacterial cellulose in gluconacetobacter xylinum: Biosynthesis and applications. *Redalyc*. 2004, 7(1), 18-25. Available at: <https://www.redalyc.org/pdf/432/43270103.pdf>.
35. Andrade, F.K.; Pertile, R.N.; Dourado, F.; Gama, F.M., Bacterial cellulose: properties, production, and applications. Editors: A. Lejeune, T. Deprez. *Nova Science. Publishers*. 2010, 427-458. Available at: <https://repositorium.sdum.uminho.pt/handle/1822/57017>.
36. Vasconcelos, Fittipaldi N.; Pessoa, J.; Feitosa, A.; Miguel, F.; Paulo, J.; Morais, S.; Karine, F.; Sá, M. de; Souza, M. de; Freitas, M. de. Bacterial cellulose nanocrystals produced under different hydrolysis conditions: Properties and morphological features. *Carbohydrate Polymers*. 2017, 155, 425–431. Available at: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0144861716310396?via%3Dihub>.
37. Teixeira, E.M.; Oliveira, C.R. de; Mattoso, L.H.C.; Corrêa, A.C.; Paladin, P.D. Cotton nanofibers obtained under different conditions of acid hydrolysis. *Polymers*. 2010, 20, 4, 264-268. Available at: <https://www.scielo.br/j/po/a/rppsXrcvyQKV9sjPF3C3jbm/abstract/?lang=pt>.
38. Lee, K.Y. *et al.* More than meets the eye in bacterial cellulose: Biosynthesis, bioprocessing, and applications in advanced fiber composites. *Macromolecular Bioscience*. 2014, 14(1), 10–32. Available at: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/mabi.201300298>.
39. Ha, J. H.; Shehzad, O.; Khan, S.; Lee, S. Y.; Park, J. W.; Khan, T.; Park, J. K. Production of bacterial cellulose by a static cultivation using the waste from beer culture broth. *Korean J. Chem. Eng.* 2008, 25, 4, 812-815. Available at: <https://link.springer.com/article/10.1007/s11814-008-0134-y>
40. Chawla, P. R.; Bajaj, I. B.; Survase, S. A.; Singhal, R. S. Microbial Cellulose: Fermentative Production and Applications. *Food Technol. Biotechnol.* 2009, 47, 2, 107-124. Available at: <https://hrca.hrca.hr/file/59853>.
41. Darani H. Y., Sharafi S. M., Mokarian M., Yousefi M., Sharafi S. A., Jafari R. Therapeutic effect of hydatid cyst liquid on melanoma tumor growth in mouse model. *Br. J. Med. Med.* 2016, Res. 18, 27220. Available at: <https://journaljamr.com/index.php/JAMMR/article/view/10642>.

42. Recouvreux. Development of New Biomaterials Based on Bacterial Cellulose for Biomedical and Tissue Engineering Applications. Doctoral thesis in Chemical Engineering. *Federal University of Santa Catarina*. 2008, v. Single, p. 145, 2008. Available at: <https://repositorio.ufsc.br/xmlui/handle/123456789/91189>.
43. Lustri, W.R. et al. Microbial Cellulose — Biosynthesis Mechanisms and Medical Applications. In: *Cellulose-Fundamental Aspects and Current Trends*. 2015, 133 -157. Disponível em: <https://www.intechopen.com/chapters/49485>.
44. Hestrin, S.; Schramm, M. *The Biochemical journal*. 1954, 58, 345.
45. Carreño Pineda, L. D.; Caicedo Mesa, L. A. C. M.; Martínez Riascos, C. A. Fermentation Techniques and Applications of Bacterial Cellulose: a Review. *Ingeniería y Ciencia*. 2012, 8, 16, 307–335. Available at: <https://orcid.org/0000-0002-7724-6565>.
46. Borzani, W. & de Souza, S.J., 1995. Mechanism of the film thickness increasing during the bacterial production of cellulose on non-agitated liquid media. *Biotechnology Letters*. 1995, 17(11), 1271–1272. Available at: <https://link.springer.com/article/10.1007/BF00128400>.
47. Fontana, J.D. et al. Acetobacter cellulose pellicle as a temporary skin substitute. *Applied Biochemistry and Biotechnology*. 1990, 24–25(1), 253–264. Available at: <https://link.springer.com/article/10.1007/BF02920250>.
48. Bielecki, S; Krystynowicz, A.; Turkiewicz, M.; Kalinowska, H. Bacterial Cellulose. *Biopolymers Online*. 2005. Available at: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/3527600035.bpol5003>.
49. Jung, H. I. Jeong, J. H.; Lee, O.M.; Park, G.T.; Kim, K.K.; Park, H.C.; Lee, S.M.; Kim, Y.G.; Son, H.J. Influence of glycerol on production and structural-physical properties of cellulose from Acetobacter sp V6 cultured in shake flasks. *Bioresour. Technol.* 2010, 101, 10, 3602-3608. Available at: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0960852409018094>.
50. Hungund, B. S.; Gupta, S. Improved production of bacterial cellulose from Gluconacetobacter persimmonis GH-2. *J. Micro. Bioch. Tech.* 2010, 2, 127-133. Available at: <https://www.omicsonline.org/ArchiveJMBT/2010/September/03/JMBT-02-127.php>.
51. Ruka, D. R.; Simon, G. P.; Dean, K. M. Altering the growth conditions of Gluconacetobacter xylinus to maximize the yield of bacterial cellulose. *Carbohydr.Polymer*. 2012, 89, 2, 613-622. Available at: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S014486171200286X?via%3Dihub>
52. Son, H. J.; Heo, M.S.; Kim, Y.G.; Lee, S.J. Optimization of fermentation conditions for the production of bacterial cellulose by a newly isolated Acetobacter. *Biotechnol. Appl. Biochem.* 2001, 33, 1, 1-5. Available at: <https://iubmb.onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1042/BA20000065>.
53. Erbas, K. E.; Kiziltas, A.; Gardner, D. J. Synthesis of bacterial cellulose using hot water extracted wood sugars. *Carbohydrates polymers*. 2015, 8, 124-131. Available at: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0144861715000673?via%3Dihub>.
54. Zeng, W.; Small, D.P.; Wan, W. Statistical optimization of culture conditions for bacterial cellulose production by Acetobacter xylinum BPR 2001 from maple syrup. *Carbohydr Polym*. 2011, 85, 506–513. Available at: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0144861711001524>.
55. Hirai, A.; Tsuji, M.; Horii, F. Culture conditions producing structure entities composed of Cellulose I and II in bacterial cellulose. *Cellulose*. 1997, 4, 239–245. Available at: <https://link.springer.com/article/10.1023/A:1018439907396>.
56. Panesar, P. S.; Chavan, Y.; Chopra, H. K.; Kennedy, J. F. Production of microbial cellulose: Response surface methodology approach. *Carbohydrate Polymers*. 2012, 87, 1. Available at: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0144861711006631>.
57. Yassine, F., Bassil, N., Flouty, R., Chokr, A., Samrani, A. E., Boiteux, G., And Tahchi, M. E. Culture medium pH influence on Gluconacetobacter physiology: Cellulose production rate and yield enhancement in presence of multiple carbon sources. *Carbohydrate Polymers*. 2016. Available at: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0144861716300431>.
58. Masaoka, S.; Ohe, T.; Sakota, N. Production of cellulose from glucose by acetobacter- xylinum. *J. Ferment. Bioeng*. 1993, 75, 1, 18- 22. Available at: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/0922338X93901714>.





59. Kongruang, S. Bacterial cellulose production by *Acetobacter xylinum* strains from agricultural waste products. *Appl. Biochem. Biotechnol.* 2008, 148, 1-3, 245-256. Available at:<https://link.springer.com/article/10.1007/s12010-007-8119-6>.
60. Shirai, A. *et al.* Biosynthesis of a novel polysaccharide by *Acetobacter xylinum*. *Int J Biol Macromol.* 1994, 16, 6, 297–300. Available at:<https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/0141813094900590>.
61. Yan, Z., Chen, S., Wang, H., Wang, B., Jiang, J., 2008. Biosynthesis of Bacterialcellulose/Multi-Walled Carbon Nanotubes in Agitated Culture. *Carbohydrate Polymers.* 2008, 74, 659–665. Available at:<https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0144861708001975>.
62. Ramana, K.; Tomar, A.; Singh, L. Effect of various carbon and nitrogen sources on cellulose synthesis by *Acetobacter xylinum*. *World J. Microbiol. Biotechnol.* 2000, 16, 3, 245-248. Available at:<https://link.springer.com/article/10.1023/A:1008958014270>.
63. Mikkelsen, D.; Flanagan, B.M.; Dykes, G.A; Gidley, M.J. Influence of different carbon sources on bacterial cellulose production by *Gluconacetobacter xylinus* strain ATCC 53524. *J. Appl Microbiol.* 2009; 107, 576-583. Available at: <https://sfamjournals.onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/j.1365-2672.2009.04226.x>.
64. Tsouko, E.; Kourmentza, C.; Ladakis, D.; Kopsahelis, N.; Mandala, I.; Papanikolaou, S.; Paloukis, F.; Alves, V.; Koutinas, A. Bacterial cellulose production from industrial waste and by-product streams. *International Journal of Molecular Sciences.* 2015, 16, 7, 14832–14849. Available at:<https://www.mdpi.com/1422-0067/16/7/14832>.
65. Jozala, A. F.; Pértile, R. A.; Santos, C. A.; Carvalho Santos-Ebinuma, V.; Seckler, M. M.; Gama, F. M.; Pessoa, A. JR. Bacterial cellulose production by *Gluconacetobacter xylinus* by employing alternative culture media. *Applied microbiology and biotechnology.* 2015, Berlin, 99, 3, 1181-1190. Available at:<https://link.springer.com/article/10.1007/s00253-014-6232-3>.
66. Jonas, R.; Farah, L. F. Production and application of microbial cellulose. *Polymer Degradation and Stability.* 1998, 59, 101-106. Available at:<https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0141391097001973>.
67. Castro, C.; Zuluaga, R.; Putaux, J. L.; Gañán, P. F. Structural characterization of bacterial cellulose produced by *Gluconacetobacterswingsii* sp. from Colombian agroindustrial wastes. *Carbohydrate Polymers.* 2011, 84, 1, 96–102. Available at:<https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0144861710008854>.
68. Hong, F., Qiu, K. An alternative carbon source from konjac powder for enhancing the production of bacterial cellulose in static cultures by a model strain *Acetobacter aceti* subsp. *xylinus* ATCC 23770. *Carbohydrate Polymers.* 2008, 72, 545–549. Available at:<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0144861707004936?via%3Dihub>.
69. Yodswan, N.; Owatworakit, A.; Ngaokla, A.; Tawichai, N.; Soykeabkaew, N. Effect of carbon and nitrogen sources on bacterial cellulose production for bionanocomposite materials. *1st Mae FahLuang University International Conference.* 2012. Available at:[https://mfuic2012.mfu.ac.th/electronic\\_proceeding/Documents/00\\_PDF/P-SC-B/P-SC-B-20%20Nutthawut%20Yodswan%20\(Should%20change%20font%20in%20figure\).pdf](https://mfuic2012.mfu.ac.th/electronic_proceeding/Documents/00_PDF/P-SC-B/P-SC-B-20%20Nutthawut%20Yodswan%20(Should%20change%20font%20in%20figure).pdf).
70. Keshk, S. M., Sameshima, K. Influence of Lignosulfonate on Crystal Structure and Productivity of Bacterial Cellulose in a Static Culture. *Enzyme Microbiology Technology.* 2006, 40, 4-8. Available at:<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0141022906004066>.
71. Zhong, C.; Zhang, G.C.; Liu, M.; Zheng, X.T.; Han, P.P.; Jia, S.R. Metabolic flux analysis of *Gluconacetobacter xylinus* for bacterial cellulose production. *Applied Microbiology and Biotechnology.* 2013, 97, 6189–6199. Available at:<https://link.springer.com/article/10.1007/s00253-013-4908-8>.
72. Gallegos, A.M.A.; Carrera, S.H.; Parra, R.; Keshavarz, T.; IQBAL, H.M.N. Bacterial cellulose: A sustainable source to develop value-added products - A review. *BioResources.*2016, 11, 5641–5655. Available at:<https://bioresources.cnr.ncsu.edu/resources/bacterial-cellulose-a-sustainable-source-to-develop-value-added-products-a-review-biores/>.
73. Keshk, S.; Sameshima, K. Evaluation of different carbon sources for bacterial cellulose production. *Afr. J. Biotechnol.* 2005, 4, 6, 478-482. Available at:<https://www.ajol.info/index.php/ajb/article/view/15124/91513>.



74. Hokkanen S.; Bhatnagar, A.; Sillanpää, M. A review on modification methods to cellulose-based adsorbents to improve adsorption capacity. *Water Research* 2016, 91, 156-173. Available at:<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0043135416300082?via%3Dihub>.
75. Shah, N.; Ul-Islam, M.; Khattak, W.A.; Park, J.K. Overview of bacterial cellulose composites: A multipurpose advanced material. *Carbohydrate Polymers* 2013, 98, 1585–1598, 2013. Available at:<https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0144861713007996>.
76. Stumpf, T. R.; Yang, X.; Zhang, J.; Cao, X. In situ and ex-situ modifications of bacterial cellulose for applications in tissue engineering. *Materials Science & Engineering*. 2016. Available at:<https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0928493116323748>.
77. Kardam, A., Raj, K., Srivastava, S., Srivastava, M.M. Nanocellulose fibers for biosorption of cadmium, nickel, and lead ions from aqueous solution. *Clean Technol. Environ. Policy*. 2014, 16 (2), 385-393. Available at:<https://link.springer.com/articland/10.1007/s10098-013-0634-2>.
78. Xie, Y., Hill, C.A.S., Xiao, Z., Militz, H., Mai, C. Silane coupling agents used for natural fiber/polymer composites: a review. *Compos. Part A Appl. Sci. Manuf.* 2010, 41 (7), 806-819. Available at:<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1359835X10000850?via%3Dihub>.
79. Li, J.; Cha, R.; Mou, K.; Zhao, X.; Long, K.; Luo, H. Nanocellulose-Based Antibacterial Materials. *Advanced Healthcare Materials*. 2018, 1–16. Available at: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/adhm.201800334>.
80. Oréfice, R. L.; Pereira, M. M.; Mansur, H. S. Biomaterials: Fundamentals & Applications. 1. Ed. [s.l.] Guanabara Koogan, 2012.
81. Gupta, V.K.; Suhas. Application of low-cost adsorbents for dye removal - A review. *Journal of Environmental Management*. 2009, 90, 2313–2342. Available at: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0301479708003290?via%3Dihub>.
82. Miyashiro, C.S.; Bonassa, G.; Schneider, L.T.; Parisotto, E.I.B.; Alves, H.J.; Teleken, J.G. Evaluation of different adsorbents for acidity reduction in residual oils. *Environmental Technology (United Kingdom)* 2019, 40, 1438–1454. Available at: <https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/09593330.2017.1422807>.
83. Amim, J.; Petri, D. F. S.; Maia, F. C. B.; & Miranda, P. B. Ultrathin cellulose ester films: Preparation, characterization and protein immobilization. *Quimica Nova* 2010, 33(10), 2064–2069. Available at: <https://www.scielo.br/j/qn/a/WypvqfgGwdkCjfDLGDGfFzSN/abstract/?lang=en>.
84. Stoica-Guzun, A.; Stroescu, M.; Jinga, S.I.; Mihalache, N.; Botez, A.; Matei, C.; Berger, D.; Damian, C.M.; Ionita, V. Box-Behnken experimental design for chromium(VI) ions removal by bacterial cellulose-magnetite composites. *International Journal of Biological Macromolecules* 2016, 91, 1062–1072. Available at: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0141813016306080?via%3Dihub>.
85. Zhuang, S.; Wang, J. Removal of cesium ions using nickel hexacyanoferrates-loaded bacterial cellulose membrane as an effective adsorbent. *Journal of Molecular Liquids* 2019, 294, 111682. Available at:<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0167732219330375?via%3Dihub>
86. Jin, X.; Xiang, Z.; Liu, Q.; Chen, Y.; Lu, F. Polyethyleneimine-bacterial cellulose bioadsorbent for effective removal of copper and lead ions from aqueous solution. *Bioresource Technology* 2017, 244, 844–849. Available at:<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0960852417313779?via%3Dihub>.
87. Kumar, R.; Sharma, R.K. Synthesis and characterization of cellulose-based adsorbents for removal of Ni(II), Cu(II), and Pb(II) ions from aqueous solutions. *Reactive and Functional Polymers* 2019, 140, 82–92. Available at:<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1381514819300902?via%3Dihub>.
88. Shen, W.; Chen, S.; Shi, S.; Li, X.; Zhang, X.; Hu, W.; Wang, H. Adsorption of Cu(II) and Pb(II) onto diethylenetriamine-bacterial cellulose. *Carbohydrate Polymers* 2009, 75, 110–114. Available at:<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0144861708003020?via%3Dihub>.
89. Chen, S.; Zou, Y.; Shen, W.; Shi, S.; Zhang, X.; Wang, H. Carboxymethylated-bacterial cellulose for copper and lead ion removal. *Journal of Hazardous Materials* 2009b, 161, 1355–1359. Available at:<https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0304389408006523>.

90. Zhang, Y.; Luo, C.; Wang, H.; Han, L.; Wang, C.; Jie, X.; Chen, Y. Modified adsorbent hydroxypropyl cellulose xanthate for removal of Cu<sup>2+</sup> and Ni<sup>2+</sup> from aqueous solution. *Desalination and Water Treatment* 2016, 57. Available at: <https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/19443994.2016.1177733>.

 A portrait of Alex Souza Moraes, a man with glasses and a goatee, wearing a green polo shirt with 'UFRPE' printed on it. He is standing in front of a metal shelving unit filled with books and papers.	<p><b>Alex Souza Moraes – Corresponding Author</b> <i>Federal University of Rural Pernambuco - Department of Chemistry, Recife, Pernambuco, 52171-900, Brazil.</i></p>
 A portrait of Thaís Jeruzza Maciel Póvoas Souto, a woman with long brown hair and glasses, wearing a white lab coat. She is smiling and looking towards the camera.	<p><b>Thaís Jeruzza Maciel Póvoas Souto</b> <i>Postgraduate Program in Chemistry Federal University of Rural Pernambuco, Recife, Pernambuco, 52171-900, Brazil.</i></p>
 A portrait of Otávio Pereira dos Santos Junior, a man with grey hair and a mustache, wearing a black suit jacket over an orange shirt. He is looking slightly to the right of the camera.	<p><b>Otávio Pereira dos Santos Junior</b> <i>Federal Institute of Pernambuco – Vitória de Santo Antão, Pernambuco, 55600-000, Brazil.</i></p>

	<p><b><i>Romildo Morant de Holanda</i></b> <i>Federal University of Rural Pernambuco - Rural Technology Department, Recife, Pernambuco, 52171-900, Brazil.</i></p>
	<p><b><i>Arthur Luís Silva de Araújo</i></b> <i>Federal University of Rural Pernambuco - Department of Chemistry, Recife, Pernambuco, 52171-900, Brazil.</i></p>
	<p><b><i>Beatriz Silva Santos</i></b> <i>Postgraduate Program in Environmental Engineering Federal University of Rural Pernambuco, Recife, Pernambuco, 52171-900, Brazil.</i></p>
	<p><b><i>Raimundo Mainar de Medeiros</i></b> <i>Federal University of Rural Pernambuco - Rural Technology Department, Recife, Pernambuco, 52171-900, Brazil.</i></p>

# ***Autores***

---

Beatriz Silva Santos<sup>1</sup>, Jair Barros Agra Filho<sup>1</sup>, Fernanda Pereira dos Santos<sup>1</sup>, Rafaela Julia de Lira Gouveia<sup>1</sup>, Thais Bezerra Patu<sup>2</sup>, Alex Souza Moraes<sup>3</sup>, Romildo Morant de Holanda<sup>4</sup>

# *Abordagem Sobre Resíduos Sólidos do Polo Têxtil em Pernambuco e Sua Consequência Ambiental no Semiárido*



1 – Programa e Pós-Graduação em Engenharia Ambiental – UFRPE, Recife- PE;

2 – Secretaria Executiva – AEAMBS, Recife - PE

3 – Departamento de Química – UFRPE, Recife – PE;

4 – Departamento de Tecnologia Rural – UFRPE, Recife – PE;

## **1. Histórico da indústria têxtil no semiárido**

O setor têxtil é um segmento industrial presente em todas as regiões do Brasil, desde os grandes polos aos pequenos produtores. Essa vasta distribuição geográfica está bastante relacionada a necessidade de vestuário da população, sendo este setor responsável por exercer influência em vários eixos como o social, cultural, político e econômico. Visando atender não apenas a questão vestimenta e moda como também o uso utilitário variado, a sociedade passou a trabalhar e desenvolver uma infraestrutura de produção que viria a se tornar os polos industriais têxteis fazendo frente a demanda exigida pelo mercado consumidor.

A implementação da indústria têxtil no Brasil teve seus primeiros passos ainda no período colonial havendo uma rentável cultura de produção de algodão no norte e nordeste do país, e diversas manufaturas têxteis que iniciavam um processo de industrialização (FUJITA; JORENTE, 2015). Por ventura, a região onde iniciou-se de forma sucinta e artesanal atividades do setor, acabou se tornando um dos grandes polos têxteis conhecidos no país, como é o caso do Arranjo Produtivo Legal (APL) têxtil do agreste de Pernambuco, representado na figura 1, sendo atualmente uma das atividades econômicas mais rentáveis do estado, movimentando recursos direta e indiretamente por grande extensão da região nordeste, em conjunto com o estado do Ceará.

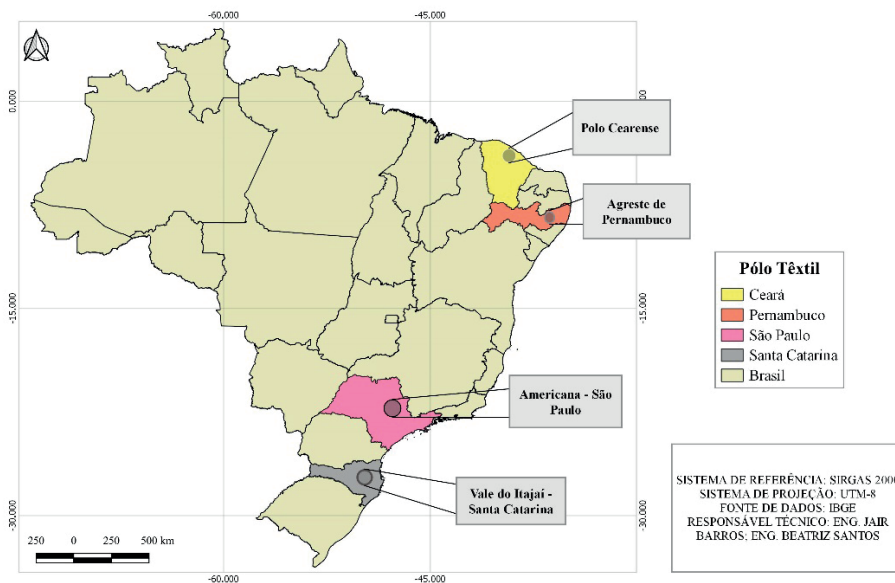


Figura 1- Polos têxteis de destaque no Brasil.  
Fonte: (Autores, 2022).

Com o desenvolvimento tecnológico industrial dos maquinários têxteis e redução de impostos diversas fábricas foram inauguradas na região Nordeste do país por volta de 1830 a 1884, sendo o atual estado da Bahia o primeiro e mais importante centro da indústria têxtil até o ano 1860, devido ao fato desta área dispor de uma grande população escrava, matéria prima em abundância e fontes hidráulicas de energia. Todavia, dada a importância política e econômica do Rio de Janeiro, parte das fábricas antes concentradas na Bahia, passaram a migrar para o centro-sul do país, acontecimento que se fortaleceu ainda mais com a construção da ferrovia ligando São Paulo, Minas Gerais e Rio de Janeiro tornando decisiva a transferência do setor para a região (FUJITA; JORENTE, 2015).

Ao decorrer dos anos com eventos como as grandes guerras mundiais, quebra da bolsa de New York e crise econômica o mercado têxtil brasileiro passou por diversas dificuldades. Com uma tecnologia defasada, crescendo a importação

e com estabilidade da exportação, o mercado viu-se obrigado a adotar novas manobras para driblar a crise, cujo uma destas foi deslocamento para o Nordeste e demais regiões de incentivos fiscais, com o objetivo de reduzir custos de mão de obra e assim voltar a competir no mercado (KELLER, 2006; FUJITA; JORENTE, 2015). Outro ponto chave também foi continuar investido na produção da cultura algodoeira, matéria prima desta indústria, no espaço geográfico onde se concentravam as atividades, visando a redução dos custos na produção.

Nas décadas de 60 e 70 à forte concorrência das fábricas têxteis paulista, que já era um gigante polo industrial, falta de investimentos em infraestrutura, insuficiente apoio federal e governamentais, levou a indústria têxtil nordestina a quase decadência. No início dos anos 90 a região passou por uma reestruturação do setor têxtil, passando por corte de gastos, qualificação da mão de obra além de incentivos fiscais, objetivando a diversificação do parque industrial. Houve também, pesquisas e estu-

dos de novas sementes de algodão, sendo estas mais resistentes e produtivas, com isso todas essas iniciativas colocaram o Nordeste novamente como principal produtor algodoeiro do Brasil (DA COSTA OLIVEIRA, 2018).

O melhoramento e estudo do algodão ocorreu por intermédio de que em determinado período o mesmo teve sua produção comprometida por algumas pragas, principalmente a conhecida pelo nome de Bicudo, que foi responsável pelo declínio de pequenos beneficiadores e produtores dessa matéria prima em diversas localidades do semiárido. Isso ocasionava um déficit na disponibilidade do insumo à preços mais acessíveis, o que poderia encarecer o produto final que era beneficiado.

A volta das Fábricas têxteis para o nordeste e sua reestruturação a partir da década de 90, alavancou o desenvolvimento e a economia da região, que é caracterizada por abrigar um dos principais polos do país, gerando empregos e contribuindo para o desenvolvimento do mercado local, regional e nacional. Sendo considerado o segundo maior do país, APL têxtil atualmente se concentra nas cidades de Caruaru, Santa Cruz do Capibaribe e Toritama, como pode ser observado na figura 2. O polo produz cerca de 800 milhões de peças de vestuário todos os anos, tal produção destinada tanto para o comércio nacional quanto para o internacional. Devido a representatividade de sua produção, se tornou referência no Nordeste, mostrando por exemplo que o polo fabrica 44 vezes mais unidades do que o Rio Grande do Norte, que já foi uma potência regional (NORDESTE, 2018; AGRESTE, 2019).

Apesar de sua importância econômica e social, as indústrias

que compõe esse polo de beneficiamento de tecidos, ainda necessitam de maior atenção por parte do poder público. Embora indispensável, as atividades deste segmento trazem consigo alguns problemas sanitários e ambientais, que vão desde o elevado consumo de água que é ampliado “pela manutenção precária do maquinário (válvulas apresentando defeitos, vazamentos, água fluindo mesmo com a máquina parada), equipamento de lavagem em condições de baixa eficiência e ciclos longos, dificultando o reuso de água, até o tratamento e destinação final dos resíduos produzidos. Empresas de maior capital conseguem aderir a novas tecnologias e otimizar seus processos para reduzir o consumo de água além de tratar de destinar de alguma forma o resíduo produzido, caso este que não se aplica a grande maioria dos empreendimentos que são compostos por pequenos produtores (DE SÁ ROCHA et al, 2021; VIANA et al, 2018).

## 2. Importância econômica-social

A região semiárida do Brasil pode ser considerada uma das regiões mais pobres do país, se destaca pela densidade populacional e por ter a maior área territorial que compõe os espaços naturais da região Nordeste do Brasil (RUFINO E SILVA, 2017).

Mas, infelizmente apresenta um atraso econômico. Um lugar predominantemente rural que sofre com os longos períodos de seca, com economia de baixa produtividade, escassa presença de infraestrutura e onde as relações econômicas ainda se mostram deficientes (CAVALCANTI JUNIOR & LIMA, 2019).

Alguns setores industriais se destacam na região como os de extração mineral; de borracha, fumo e couro; construção civil; minerais não metálicos; têxtil/confecções; indústria de calçados e indústria química, influenciando o cresci-

mento dos vínculos empregatícios, aproveitando a disponibilidade de mão de obra de baixo custo.

Segundo ABIT (2022) em 2019, o setor têxtil produziu cerca de 9,05 bilhões de peças (vestuário, meias, acessórios, linha lar e artigos técnicos) e obtendo um faturamento de R\$ 186 bilhões. A segunda maior empregadora da indústria da transformação, a indústria de transformação têxtil possui duas divisões: a fabricação de produtos têxteis e a confecção de artigos de vestuário e acessórios.

A indústria têxtil é grande importância para economia do país, com polos industriais instalado principalmente nos estados do Ceará, Paraíba, Rio Grande do Norte e Pernambuco. Desenvolvendo atividades de fiação e tecelagem; fabricação de tecidos, artigos de malha e aviamentos; confecção de peças do vestuário e acessórios.

Segundo o entendimento de Cavalcanti Junior. 2017 é possível elencar os principais setores industriais responsáveis pelo aumento da produção industrial em alguns municípios do semiárido, o aumento na quantidade de vínculos empregatícios em determinado setor pode estar atrelado a diferentes resultados de crescimento das atividades industriais nos municípios. De acordo com o aumento no número de vínculos empregatícios entre os valores médios de (1999-2001) e (2011-2013) mostrou vários resultados significativos.

É notório que o polo industrial Têxtil/Confecções do Agreste de Pernambuco é o maior da região do semiárido brasileiro, o polo é composto por dez municípios. Destacando Caruaru, Toritama e Santa Cruz do Capibaribe por serem os principais municípios de produção.

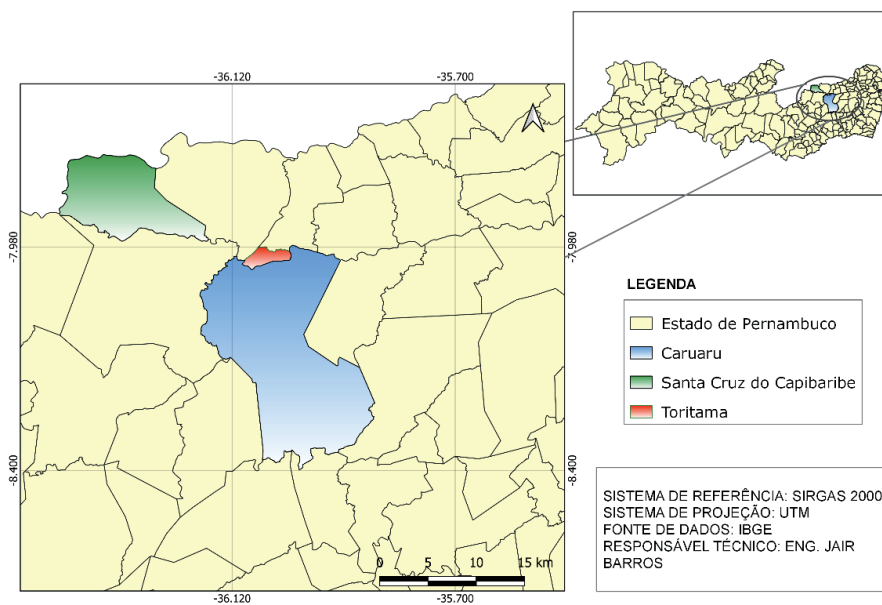


Figura 2: Polo têxtil do agreste de Pernambuco com destaque aos maiores centros.  
Fonte: (Autores, 2022).

## Vínculos criados

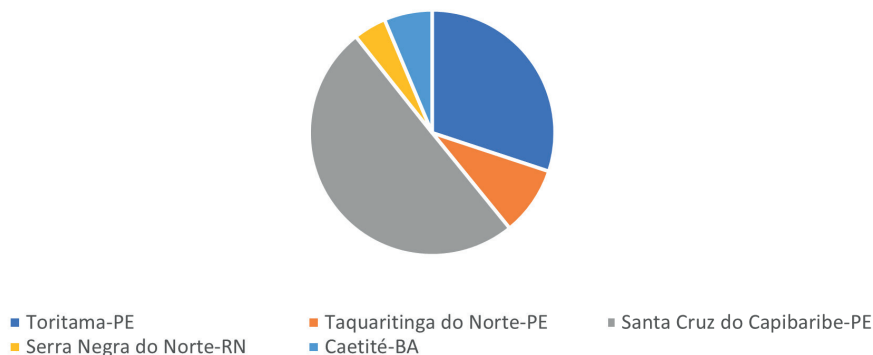


Figura 3: Em relação ao setor têxtil podemos observar a figura x a relação entre os principais municípios e os vínculos empregatícios criados. Fonte: (Cavalcanti Junior, 2017).

Em 2011 o agreste pernambucano o faturamento total da indústria de confecções atingiu o valor estimado de R\$ 1,1 bilhão. Após descontar deste total o valor do faturamento das confecções (para evitar dupla contagem), chega-se a um valor muito próximo da R\$ 1 bilhão.

O Arranjo Produtivo Local produz cerca de 700 milhões de peças, gerando 75 mil empregos diretos e 15

mil indiretos, respondendo por 73% da produção do setor em Pernambuco e 3% de arrecadação do PIB do estado (ABIT, 2012).

Os produtos têxteis englobam múltiplos segmentos, tais como tinturaria, estamparia, texturização, bordado e lavagem do jeans. Com a proporção do desenvolvimento industrial da região, surge oportunidades de emprego e renda influenciando o setor econômico, dando o poder de aquisição para a população.

Além de atrair diversos turistas que vem de outras regiões comprar roupas para revender, o polo têxtil é a base da economia do agreste pernambucano.

### 3. Processo Produtivo

O processo produtivo da indústria têxtil engloba o processamento de uma infinidade de matérias primas, tais como algodão, fibras sintéticas, artificiais, lã e outros, tendo a possibilidade de serem processadas de maneira isolada ou na forma de misturas (figura 4). É importante salientar que cada matéria prima possui um processamento específico, no entanto, de maneira geral, as várias operações podem organizar-se da seguinte maneira:

- Preparação da matéria prima – produção de fibras sintéticas, penteado e cardado;
- Fiação – produção de fio;
- Tecelagem – produção de fio;
- Preparação para o tingimento – produção de rama, penteado, fio, tecido ou malha ou produto pronto a tingir;
- Tingimento – produção de rama, penteado, fio, tecido, malha ou produto acabado tingido;
- Estamparia – produção de tecido ou malha estampado;
- Acabamentos químicos – produção de tecido ou malhas com características específicas;
- Acabamentos mecânicos – produção de tecido com características específicas;
- Confecção – produção de têxteis e vestuários.

Dessas operações presentes na indústria têxtil, três operações são as mais expressivas, sendo elas: fiação, tecelagem e beneficiamento de tecidos. A fiação, como o próprio nome já diz, envolve a transformação das fibras em fios, podendo ser naturais (lã, seda, algodão e linho) ou sintéticas (elastano, náilon e poliéster). A tecelagem nada mais é que a junção dos fios através do entrelaçamento, com o objetivo de formar os tecidos têxteis. Para finalizar, a etapa de beneficiamento é a que se propõe a melhorar as condições tácteis e visuais dos tecidos, bem como seu tingimento ou estampagem (CSTQ JR., 2021).

**(...)**  
**os responsáveis**  
**pela aquisição dos**  
**fios de algodão,**  
**devem levar em**  
**consideração**  
**a quantidade**  
**necessária para**  
**cada produto,**  
**de tal maneira**  
**que não ocorra o**  
**excesso da compra,**  
**ocasionando o**  
**desperdício de tecido**  
**(...)**



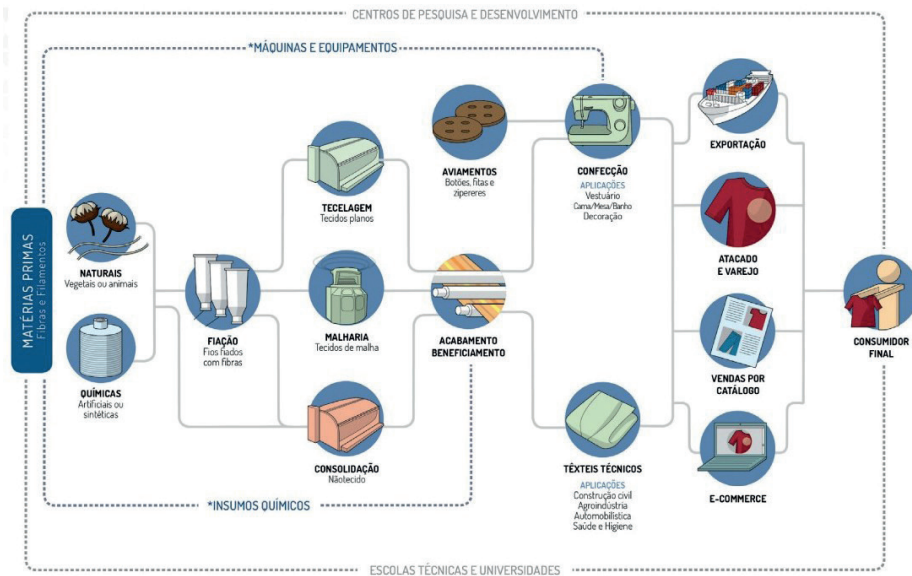


Figura 4: Estrutura da cadeia produtiva e de distribuição têxtil e confecção.  
Fonte: (Agência de notícias da indústria, 2018).

De maneira geral, os fios de algodão são a principal matéria-prima utilizada nas indústrias têxteis e geralmente é obtida a partir da compra no próprio município de origem ou em outras localidades próximas, não sendo a etapa de fiação de responsabilidade da indústria. Vale a pena frisar que é importante adquirir a matéria-prima em regiões próximas, visando a diminuição de custos e a contribuição para o crescimento do comércio local.

Outro ponto a observar é que os responsáveis pela aquisição dos fios de algodão, devem levar em consideração a quantidade necessária para cada produto, de tal maneira que não ocorra o excesso da compra, ocasionando o desperdício de tecido e reduzindo os recursos financeiros que podem ser utilizados em outras necessidades.

No primeiro momento, os fios de algodão devem ser posicionados em barras giratórias conectados a uma máquina responsável por formar grandes rolos de fios. À medida que as barras vão girando os fios são aderidos e submetidos a tecelagem. Como a tecelagem submete os fios a repetidos processos de en-

treçamento para a fabricação do tecido, depois que o mesmo se encontra pronto é submetido a pesagem, para verificar a quantidade de produto químico que será utilizado na etapa de acabamento do tecido, que compreende a tinturaria, secagem, estamparia e outras.

Após o processo de tinturaria, o tecido fica úmido e é inserido em máquinas de altas temperaturas para ser seco e posteriormente cortado e costurado. É nesse momento que o produto é separado e submetido a processos de empacotamento e armazenagem.

Depois de todos esses processos, resíduos são gerados e devem ser encontrados meios para sua reutilização ou disposição final correta. Entre os resíduos gerados, podem ser elencados: fios de algodão que sobram do processo de tecelagem, restos de plásticos, restos de tecidos e efluentes líquidos decorrentes das lavagens de tecidos e limpeza do ambiente.

## 4. Segregação e destinação dos resíduos

No Brasil, cerca de 170 mil toneladas de retalhos são geradas por ano. Sendo que, 80% são descartados nos aterros sanitários e até mesmo em lixões clandestinos que posteriormente são queimados, material esse que poderia ser reutilizado ou reciclado gerando renda ou estimulando negócios sustentáveis (SEBRAE, 2014).

A indústria têxtil causa diversos impactos ao meio ambiente, desde a produção de matéria-prima até a destinação final dos resíduos. A indústria da moda é a segunda que mais polui o meio ambiente, estando atrás somente da indústria do petróleo (ISOTON et al., 2022). Além do grande volume de resíduos gerado, deve-se levar em consideração tempo que o mesmo demora para se decompor.

Os resíduos da indústria de vestuário podem ser classificados ainda em dois tipos: Pré-consumo e Pós-consumo (Quadro 1). Pré-consumo são gerados durante o processo produtivo, como sobras da etapa de corte e costura, tecelagem, amostragem e peças com não conformidade. têm grande potencial de reciclagem na própria indústria de vestuário por se tratarem de matéria-prima de qualidade, sem usos antecedentes.

Pós-consumo que envolve o descarte das roupas após o seu uso. Podem ser reutilizados ou reciclados, sendo que a maioria desses resíduos sofre um processo de recuperação para reuso em um produto.

<b>Pré-Consumo</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Os resíduos de corte e costura.</li> <li>• Amostragem e peças com não conformidades</li> </ul>
<b>Pós-Consumo</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Roupas após o uso</li> </ul>

Quadro 1: Tipo de classificação dos resíduos têxteis.  
Fonte: (Enez e Kipoz, 2019).

As características dos resíduos mudam de acordo com a moda, as fibras têxteis são classificadas basicamente em dois grandes grupos: naturais e químicas.

As fibras naturais são encontradas em forma natural, obtidas das plantas ou animais como: a lã, o linho, o algodão, a seda, o couro, precisam ser transformadas somente por meio de processos mecânicos para sua finalidade.

As fibras artificiais e sintéticas são de origem ou formação à base de químicos como: poliéster, poliamida, acrílico, nylon. As artificiais resultam na polimerização de monômeros para o estado fibroso; as sintéticas são classificadas por terem origem e processos totalmente químicos (carbono ou petroquímicos) (SANTOS et al., 2021).

Os retalhos são gerados na etapa de corte no tecido, embora existam softwares que otimizem o planejamento do corte no tecido. Segundo Pereira et al. (2016) aproximadamente 12% da matéria-prima é desperdiçada na etapa de corte. Após o corte o material é encaminhado para a costura.

A separação deve ser realizada de acordo com a composição e/ou cor do material têxtil de maneira manual ou mecânica, uma das maiores dificuldades do processo de reciclagem é conseguir realizar esta atividade de modo eficiente. Depois que as peças estão prontas é hora de definir e aplicação o

design, adicionar acessórios como botões e zíper de metal. Os retalhos podem ser reutilizados para fabricação de outras peças ou produtos, acessórios na fabricação de produtos artesanais.

As sobras dos tecidos muitas vezes são descartadas junto com o resíduo comum e vão para lixões e aterros, pode ocorrer a doação e a venda de baixo custo. É possível citar três rotas de reciclagem de têxteis envolvem os seguintes processos: mecânicos, químicos e térmicos.

## 5. Impactos Ambientais da Destinação Incorreta

Com a chegada do século XIX, a poluição ganhou um espaço de atenção global pelos seres humanos por conta do acelerado processo industrial (AHSAN; SATTER; SIDDIQUE, 2019). O aumento da industrialização e da urbanização não planejada tem um impacto adverso em diferentes compartimentos do meio ambiente, incluindo solo, sedimentos e água, bem como na ecologia e biodiversidade. Essas indústrias geralmente produzem uma quantidade substancial de resíduos perigosos que são lançados no meio ambiente em formas sólidas, líquidas ou gasosas contendo poluentes orgânicos e inorgânicos.

Efluentes industriais lançados pelas indústrias são os principais contaminantes que causam poluição ambiental e criam sérios problemas de subsistência para as pessoas ao poluir a água e os solos

adjacentes, o que pode ter um impacto adverso na saúde humana e no meio ambiente. Os poluentes entram na água do rio e, conseqüentemente, alteram suas propriedades físico-químicas e os impactos negativos na qualidade da água incluem mudança de cor, aumento da turbidez, eutrofização e adição de compostos tóxicos e persistentes.

Muitos poluentes orgânicos, corantes e metais pesados causam danos ao DNA e têm efeitos deletérios na qualidade de vida, por seus efeitos nocivos na água potável e de irrigação. Pesquisas realizadas comprovam que os lixiviados dos efluentes da indústria têxtil e de tingimento e as amins neles presentes podem induzir genotoxicidade em animais expostos (AKHTAR et al., 2018). Poluentes, drogas e tóxicos podem persistir no meio ambiente e alterar a fisiologia e o comportamento dos animais. Alguns tóxicos podem promover vários fatores genéticos e de desenvolvimento de anormalidades na exposição de curto prazo, enquanto outras podem ter efeitos deletérios na exposição de longo prazo.

Um outro grande problema está no lançamento de efluentes com a presença de microplásticos, devido a sua ingestão ao longo da cadeia trófica, que aumenta a mortalidade e desregulação endócrina dos animais aquáticos (NELMS et al., 2018). Além disso, esses poluentes foram amplamente identificados em produtos para consumo humano como frutos do mar, água da torneira e engarrafada e sal de cozinha (SCHYMANSKI et al., 2018). No entanto, os riscos para a saúde humana ainda são desconhecidos e é uma área que precisa de mais investigação.

Um outro resíduo gerado no tratamento de águas residuais têx-

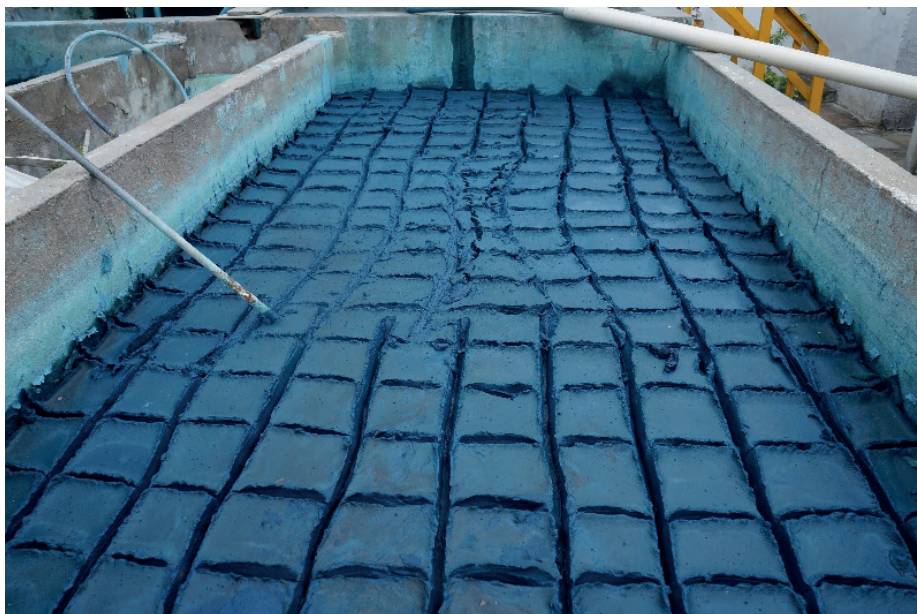


Figura 5: Leito de secagem de uma lavadeira em Caruaru – PE.  
Fonte: Os autores

**(...)**  
**os resíduos sólidos**  
**representam uma**  
**séria ameaça ao**  
**desenvolvimento**  
**das sociedades**  
**humanas,**  
**umentando os**  
**riscos para a saúde**  
**humana**  
**(...)**

teis são os lodos. Basicamente, os corantes presentes nas águas residuais são convertidos em lodo, a maioria no decantador primário e o restante no clarificador secundário (Figura 5). A eliminação de grandes volumes de lodos continua a ser um desafio fundamental para as estações de tratamento de águas residuais têxteis (BIDU et al., 2021). Na grande maioria das indústrias têxteis do Agreste pernambucano, o lodo é seco graças à ação do ca-

lor solar ou através de câmaras de secagem, sendo encaminhado para as instalações municipais de disposição de resíduos sólidos.

Os aterros municipais de resíduos sólidos não são projetados para degradar os corantes; algumas degradações anaeróbicas podem estar ocorrendo, o que pode produzir compostos carcinogênicos, como aminas aromáticas, onde só podem ser degradadas em condições aeróbicas. Assim os lodos com uma grande quantidade de corantes podem estar acabando no meio ambiente por lixiviação, representando um risco para a saúde humana e ecológica.



Figura 6 – Exemplo de resíduos sólidos da indústria têxtil  
Fonte: ASIRTEX

Os solos e sedimentos são geralmente, os sumidouros finais de poluentes industriais (Khan et al. 2019) e a contaminação do solo devido a poluentes tóxicos, em última análise, tem um efeito adverso nas plantas e representa um sério risco para a saúde humana. As plantas que crescem em áreas altamente poluídas são afetadas por metais tóxicos.

A indústria da moda é conhecida por ser a segunda maior indústria poluente do mundo, superada apenas pela indústria do petróleo. Nos últimos 15 anos, a produção de roupas dobrou, principalmente devido à tendência “fast fashion”, com mudanças mais rápidas de estilos e coleções. Grandes quantidades de recursos não renováveis são extraídos para produzir roupas que geralmente são usadas por apenas um curto período, após o qual os materiais são enviados para aterros sanitários ou incinerados (SIDERIOUS E POLDNER, 2021).

Estima-se que mais da metade do fast fashion produzido seja descartado em menos de um ano (Hole e Hole, 2019). Na Holanda, no Reino Unido e nos países nórdicos, estima-se que 61% das roupas descartadas (têxteis pós-consumo) são

perdas no lixo doméstico, terminando em aterros ou incineração. Dessa maneira, os resíduos sólidos representam uma séria ameaça ao desenvolvimento das sociedades humanas, aumentando os riscos para a saúde humana (Figura 6).

O tratamento de resíduos na indústria têxtil levanta muitas preocupações ambientais, já que os métodos convencionais de tratamento de resíduos da indústria são aterro e incineração, que contribuem para as emissões de gases de efeito estufa, contaminação do solo (Hu et al., 2018), produção de lixiviados tóxicos e biogases. A descarga de compostos prejudiciais devido a reações causadas por produtos químicos e corantes nos materiais de tecido é um impacto deletério adicional de deposição em aterro ou incineração de resíduos têxteis (Rago, et al., 2018).

Em contraste, os resíduos gerais de baixo valor econômico são descartados em lixeiras domésticas diretamente com os resíduos residenciais, o que aumenta a carga de trabalho das instalações de tratamento de resíduos municipais e os recursos

de resíduos. A razão é que a maioria das empresas têxteis são pequenas e médias, onde os têxteis são produzidos em oficinas manuais e a reciclagem não é uma opção economicamente viável para elas (LI, WANG e DING, 2021) (Figura 7).

## 6. Propostas e soluções

A instalação de estações eficientes de tratamento de efluentes em indústrias têxteis para melhorar a qualidade do efluente, deve funcionar de maneira adequada e regular. O processo de tratamento tem como objetivo minimizar o descarte de produtos químicos tóxicos, bem como minimizar o uso de águas superficiais por meio da reciclagem e reaproveitamento da água tratada, o que também minimiza os custos de produção na indústria em questão (AHSAN; SATTER; SIDDIQUE, 2019).

Quanto as microfibras presentes nos efluentes têxteis, existem soluções de mitigação viáveis. Por exemplo, designs aprimorados de máquinas de lavar que causam menos estresse as roupas ou a co-

mercialização de novas máquinas de lavar com filtros de microfibras embutidos (BELZAGUI et al., 2020). Além disso, os fabricantes também devem incluir em seus folhetos uma categoria de qualificação com relação às emissões de microfibras ou ao estresse induzido nas peças de roupa nas máquinas de lavar. Dessa forma, os empresários podem levar em consideração esse fator ao adquirir uma nova lavadora (Figura 8).

(…)

***os impactos ambientais dos têxteis podem ser reduzidos com o desenvolvimento de novas tecnologias para recuperação e reutilização de têxteis para atender às necessidades atuais e futuras***

(…)



Figura 7 – Reutilização do resíduo têxtil  
Fonte: Febratex, 2022

Outro ponto que deve ser observado é sobre a conscientização da população em relação a contaminação das microfibras e sua capacidade de reduzir sua geração são temas importantes que devem ser continuamente consolidados. Nos últimos anos, as plataformas de mídia social têm feito cada vez mais publicações sobre o tema. Além disso, existem tecnologias de captura de microfibras comercialmente acessíveis, que funcionam capturando-as dentro da máquina de lavar ou no efluente. Essas tecnologias conseguiram uma re-



Figura 8 – Boas práticas para reciclagem do resíduo têxtil  
Fonte: lusnatura, 2022

dução de microfibras no efluente das lavanderias de 26% e 87% (MCILWRAITH et al., 2019).

No entanto, a disposição final das microfibras retidas ainda não foi realizada. Por outro lado, o uso de fibras mais naturais do que as artificiais também vem sendo mencionado entre as soluções possíveis. Essa declaração é polêmica, pois hoje grande parte da indústria do algodão conta com uma produção altamente poluente e ambientalmente insustentável (GARCIA et al., 2019).

Em relação aos resíduos sólidos produzidos, em comparação com os métodos convencionais de descarte, os impactos ambientais dos têxteis podem ser reduzidos com o desenvolvimento de novas tecnologias para recuperação e reutilização de têxteis para atender às necessidades atuais e futuras do negócio. Estudos investigaram o uso da reciclagem para aumentar os ciclos de vida dos têxteis. Este método divide o tecido em fibra por meio de processos mecânicos ou reciclagem química (NORUP et al., 2019), no entanto, o reprocessamento pode degradar as propriedades do fio.

Além disso, os resíduos pré-consumo podem ser convertidos em energia ou calor. Existem também vários estudos na literatura sobre novos produtos criados a partir de resíduos têxteis, como celulase ótima, cal hidráulica, simbiose industrial, materiais de construção de isolamento térmico, copolímeros multibloco ramificados e filamentos de queratina dúctil (MI et al., 2020).

Em Relação ao lodo têxtil, estudos de reaproveitamento demonstraram a possibilidade de destinação de lodo como componente de novo material coagulante, reduzindo a geração de lodo e consequentemente reduzindo gastos com destinação final desse material, resultando em redução de custos no processo. A toxicidade do lodo secundário também pode ser diminuída por tratamento em um digestor anaeróbio ou por fitorremediação e o lodo tratado pode então ser usado como biofertilizante (KATHAWALA, GAYATHRI e SENTHIL KUMAR, 2021).

Se as conexões entre todos os componentes do nexos forem analisadas, então isso pode ser um

efeito altamente significativo para a sustentabilidade da indústria têxtil e de outras indústrias manufatureiras (ABBAS et al., 2020). Portanto, há uma necessidade de desenvolver sistemas de tratamento simples, econômicos e ecológicos para a remediação de efluentes têxteis e de todos os resíduos gerados na busca de gerar um desenvolvimento ambiental e econômico sustentável.

Sendo as empresas devem desenvolver programas de sustentabilidade, adotar um sistema de coleta, separação, reutilização ou reciclagem para cada resíduo, com o objetivo que a destinação final ocorra de forma adequada.

Um ponto importante é a aplicação de práticas sustentáveis no dia a dia no caso das peças prontas, devemos fazer um consumo consciente, doar as peças que não se usa mais e que estão em bom estado.

## Referências

- Abbas, S., Hsieh, L. H. C., Tachato, K., & Taweekun, J. (2020). Sustainable production using a resource–energy–water nexus for the Pakistani textile industry. *Journal of Cleaner Production*, 271, 122633.
- ABIT - Associação Brasileira da Indústria Têxtil e de Confecções. 4º Modavil leva informações sobre negócios da moda de Caruaru. Disponível em: <http://www.abit.org.br>. Acesso em: 08 set de 2022.
- ABIT. Associação Brasileira da Indústria Têxtil. Perfil do Setor. Disponível em: <https://www.abit.org.br/cont/perfil-do-setor>. Acesso em: 08 set de 2022.
- AGRESTE TEX. Entenda a influência do polo têxtil no Agreste Pernambucano, 2019. Disponível em: <https://agrestetex.com.br/entenda-a-influencia-do-polo-textil-no-agreste-pernambucano/>. Acesso em: 08 setembro 2022.
- Ahsan, M.A., Satter, F., Siddique, M.A.B. et al. Chemical and physicochemical characterization of effluents from the tanning and textile industries in Bangladesh with multivariate statistical approach. *Environ Monit Assess* 191, 575 (2019). <https://doi.org/10.1007/s10661-019-7654-2>.
- Akhtar, M. F., Ashraf, M., Javeed, A., Anjum, A. A., Sharif, A., Saleem, M., Mustafa, G., Ashraf, M., Saleem, A., & Akhtar, B. (2018). Association of textile industry effluent with mutagenicity and its toxic health implications upon acute and sub-chronic exposure. *Environmental monitoring and assessment*, 190(3), 179. <https://doi.org/10.1007/s10661-018-6569-7>.
- Belzagui, F., Gutiérrez-Bouzá, C., Álvarez-Sánchez, A., & Vilaseca, M. (2020). Textile microfibers reaching aquatic environments: A new estimation approach. *Environmental Pollution*, 265, 114889.
- ASIRTEX, 2022 - Acesso em 11/12/2022 - <https://www.residuos-profesional.com/residuos-textiles-terminan-vertederos/>
- Bidu, J. M., Van der Bruggen, B., Rwiza, M. J., & Njau, K. N. (2021). Current status of textile wastewater management practices and effluent characteristics in Tanzania. *Water science and technology: a journal of the International Association on Water Pollution Research*, 83(10), 2363–2376. <https://doi.org/10.2166/wst.2021.133>.
- Cavalcanti Junior, Carlos A. A Um estudo sobre o setor industrial na região do semiárido nordestino / Carlos Antonio Araujo Cavalcanti Junior. Recife, 2017.
- DA COSTA OLIVEIRA, Eric Nilson. A economia do algodão no nordeste brasileiro. VI Congresso Sergipano de História & VI encontro estadual de história da ANPUH/SE, 2018. Disponível em: [http://www.encontro2018.se.anpuh.org/resources/anais/8/1540860966\\_ARQUIVO\\_AEconomiaDoAlgodao-noNordesteARTIGO.pdf](http://www.encontro2018.se.anpuh.org/resources/anais/8/1540860966_ARQUIVO_AEconomiaDoAlgodao-noNordesteARTIGO.pdf). Acesso em : 08 setembro 2022.
- DE SÁ ROCHA, Clarissa Maria Ramalho; DA SILVA Vicente de Paulo Rodrigues; DA SILVA Patrícia Ferreira; CAMPOS João Hugo Baracuy da Cunha. Análise do consumo de água e produtos químicos em indústrias têxteis no Agreste Pernambucano. *Revista Ibero-Americana de Ciências Ambientais*, v. 12, n. 1, p. 581-594, 2021. Disponível em: <http://sustenere.co/index.php/rica/article/view/CBPC2179-6858.2021.001.0047>. Acesso em: 09 setembro 2022.
- DOS SANTOS, Natalia Gonçalves; REBELO, Láisa; VIANA, Dianne Magalhães. Um estudo sobre reciclagem e reutilização de resíduos têxteis descartados da indústria de vestuário. IX ENSUS – Encontro de Sustentabilidade em Projeto – UFSC – Florianópolis, 2021.
- ENES, E., KIPÖZ, S. Turkey Fashion Industry's Cut-and-Sew Waste Problem and Its Waste Management Strategies, *Tekstil ve Mühendis*, 26: 113, 97-103, 2019.
- FEBRATEX, 2022 – Acesso em 11/12/2022: <https://fcem.com.br/noticias/residuo-textil-como-combater-ou-reduzir-essa-producao-na-industria/>
- FUJITA, Renata Mayumi Lopes; JORENTE, Maria José. A Indústria Têxtil no Brasil: uma perspectiva histórica e cultural. *Moda Palavra e-periódico*, n. 15, p. 153-174, 2015. Disponível em: <https://www.re-dalyc.org/pdf/5140/514051496008.pdf>. Acesso em: 08 setembro 2022.
- Garcia, Solimar, Cordeiro, Alexandra, de Alencar Nê as, Irenilza, de Oliveira Costa Neto, Pedro Luiz, 2019. The sustainability awareness of Brazilian consumers of cotton clothing. *J. Clean. Prod.* 215, 1490e1502. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.01.069>.
- Hole, G., Hole, A.S., 2019. Recycling as the way to greener production: a mini review. *J. Clean. Prod.* 212, 910e915.
- Hu, Y., Du, C., Pensupa, N., & Lin, C. S. K., 2018. Optimisation of fungal cellulase production from textile waste using experimental design. *Process Safety and Environmental Protection*, 118, 133-142. <http://doi.org/10.1016/j.psep.2018.06.009>.
- Indústrias têxtil e de alimentos priorizam uso eficiente de recursos. Agência de Notícias CNI.

- Disponível em: <<https://noticias.portaldaindustria.com.br/noticias/sustentabilidade/industrias-textil-e-de-alimentos-priorizam-uso-eficiente-de-recursos/#>>. Acesso em: 10 set. 2022.
- ISOTON, Renan; GIACOMELLO, Cintia; FACHINELLI, Ana Cristina. Práticas para Transição à Economia Circular em Confecções: uma revisão sistêmica da literatura. *Moda Palavra*, Florianópolis, V. 15, N. 36, p. 113-139, jan./dez. 2022. Disponível em: <https://www.revistas.udesc.br/index.php/modapalavra/article/view/21444/14207>. Acesso em: 16 mai. 2022
- IUSNATURA, 2022 – acesso em 11/12/2022 - <https://iusnatura.com.br/descarte-de-residuos-texteis/>
- JR, CSTQ. Indústria Têxtil - CSTQ Jr. CSTQ Jr. Disponível em: <<https://cstqjr.com.br/industria-textil/>>. Acesso em: 10 set. 2022.
- Kathawala, T. M., Gayathri, K. V., & Senthil Kumar, P. (2021). A performance comparison of anaerobic and an integrated anaerobic-aerobic biological reactor system for the effective treatment of textile wastewater. *International Journal of Chemical Engineering*, 2021.
- KELLER, Paulo Fernandes. Impactos da globalização econômica sobre a cadeia têxtil brasileira: O caso do pólo têxtil de Americana (SP). *Revista Universidade Rural, Série Ciências Humanas. Seropédica, RJ, EDUR*, v. 28, n. 1, jan.-dez., 2006.p.59-77. Disponível em: <https://pascal-francis.inist.fr/vibad/index.php?action=getRecordDetail&idt=21141397>. Acesso em: 08 setembro 2022.
- Khan, R., Parvez, M. S., Jolly, Y. N., Haydar, M. A., Alam, M. F., Khatun, M. A., Sarker, M. M. R., Habib, M. A., Tamim, U., Das, S., Sultana, S., Islam, M. A., Naher, K., Paul, D., Akter, S., Khan, M. H. R., Nahid, F., Huque, R., Rajib, M., & Hossain, S. M. (2019). Elemental abundances, natural radioactivity and physicochemical records of a southern part of Bangladesh: implication for assessing the environmental geochemistry. *Environmental Nanotechnology, Monitoring & Management*, 12, 100225. <https://doi.org/10.1016/j.enmm.2019.100225>.
- Li, X., Wang, L., & Ding, X. (2021). Textile supply chain waste management in China. *Journal of Cleaner Production*, 289, 125147.
- LIMA, João Policarpo Rodrigues; JÚNIOR, Carlos Antonio Calvanti. O SEMIÁRIDO NORDESTE: EVOLUÇÃO RECENTE DA ECONOMIA E DO SETOR INDUSTRIAL. *Revista Econômica do Nordeste*, v. 50, n. 3, p. 69-88, 2019.
- Mellwraith, Hayley K., Lin, Jack, Erdle, Lisa M., Mallos, Nicholas, Diamond, Miriam L., Rochman, Chelsea M., 2019. "Capturing microfibers e marketed technologies reduce microfiber emissions from washing machines. *Mar. Pollut. Bull.* 139 (August 2018), 40e45. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2018.12.012>.
- Mi, X., Li, W., Xu, H.L., Mu, B.N., Chang, Yue., Yang, Y.Q., 2020. Transferring feather wastes to ductile keratin filaments towards to sustainable poultry industry. *Waste Manage*, 115, 65-73. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2020.07.022>.
- Nelms, Sarah E., Galloway, Tamara S., Godley, Brendan J., Jarvis, Dan S., Lindeque, Penelope K., 2018. Investigating microplastic trophic transfer in marine top predators. *Environ. Pollut.* 238, 999e1007. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2018.02.016>.
- NORDESTE Polo têxtil. *Polo Têxtil do Nordeste*, 2018. Disponível em: <https://blog.adina.com.br/polo-textil-do-nordeste/>. Acesso em: 08 setembro 2022.
- Norup, N., Pihl, K., Damgaard, A., & Scheutz, C., 2019. Quantity and quality of clothing and household textiles in the Danish household waste. *Waste Manag*, 87, 454-463. <http://doi.org/10.1016/j.wasman.2019.02.020>.
- PEREIRA, Gislaíne; Berretta-Hurtado, A. L; Furtami, A. H; Gouvêa, C. A; Recouvreux, D. Estudo comparativo entre o impacto ambiental resultante da fabricação de malha 100% algodão e com fios reciclados. *Revista Espacios*. Vol.37, ed. 22, p. 37, 2016.
- Rago, Y. P., Surroop, D., & Mohee, R., 2018. Torrefaction of textile waste for production of energy-dense biochar using mass loss as a synthetic indicator. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 6(1), 811-822. <http://doi.org/10.1016/j.jece.2017.12.055>.
- RUFINO, Iana Alexandra Alves; SILVA, Simone Tavares da. Análise das relações entre dinâmica populacional, clima e vetores de mudança no semiárido brasileiro: Uma abordagem metodológica. *Boletim de Ciências Geodésicas*, v. 23, p. 166-181, 2017.
- Schymanski, Darena, Gol-dbeck, Christophe, Ulrich Humpf, Hans, Fürst, Peter, 2018. Analysis of microplastics in water by micro-Raman spectroscopy: release of plastic particles from different packaging into mineral water. *Water Res.* 129, 154e162. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2017.11.011>.
- SEBRAE. Retalhos de tecidos: no lugar do desperdício, negócios sustentáveis. 2014. Disponível em: <https://respostas.sebrae.com>.

br/retalhos-de-tecidos-no-lugar-do-desperdicio-negociossustentaveis/. Acesso em: 08 set de 2022.

SEBRAE/PE-Estudo Econômico do Arranjo Produtivo Local de Confeccões do Agreste Pernambucano, 2012. Pernambuco: Sebrae/PE, p.151, 2013. Disponível em: < <https://www.sebrae.com.br/Sebrae/Portal%20Sebrae/Anexos/Estudo%20Economico%20do%20APL%20de%20Confecoes%20do%20Agreste%20-%20%2007%20de%20MAIO%202013%20%20docx.pdf>>. Acesso em: 08 set de 2022.

Siderius, T., & Poldner, K. (2021). Reconsidering the circular economy rebound effect: propositions from a case study of the Dutch circular textile valley. *Journal of Cleaner Production*, 293, 125996.

VIANA, Mirella Alexandre; LIRA, Elizabete Buonora de Souza; COELHO Carla de Paula Gomes, BEZERRA Ana Paula Xavier de Gondra; LORENA Emmanuelle Maria Gonçalves; DE HOLANDA Romildo Morant. Pegada hídrica em indústria de beneficiamento de jeans no Agreste Pernambucano. *Journal of Environmental Analysis and Progress*, p. 061-068, 2018. Disponível em: <http://ead.codai.ufrpe.br/index.php/JEAP/article/view/1723>. Acesso em: 09 setembro 2022.



# 1 STUDY OF CHEMICAL CHARACTERIZATION OF TEXTILE SLUDGE FOR 2 VIABILITY IN APPLICATION IN TROPICAL AGRICULTURAL CROPS IN 3 PERNAMBUCO, BRAZIL

4 Beatriz Silva Santos<sup>1</sup>, Alex Souza Moraes<sup>2</sup>, Otavio Pereira dos Santos Junior<sup>3</sup>, Romildo Morant de  
5 Holanda<sup>4</sup>, Gledson Luiz Pontes de Almeida<sup>5</sup>, Jair Barros Agra Filho<sup>1</sup>, Renato Lemos dos Santos<sup>3</sup>.

6 <sup>1</sup>Postgraduate Program in Environmental Engineering - Federal University of Rural Pernambuco, Recife,  
7 Brazil. <sup>2</sup>Federal University of Rural Pernambuco - Department of Chemistry, Recife, Pernambuco, Brazil.  
8 <sup>3</sup>Federal Institute of Pernambuco – Vitória de Santo Antão, Pernambuco, Brazil. <sup>4</sup>Federal University of  
9 Rural Pernambuco - Rural Technology Department, Recife, Pernambuco, Brazil. <sup>5</sup>Federal University of  
10 Rural Pernambuco - Department of Agricultural Engineering, Recife, Pernambuco, Brazil.

## 11 Abstract

12 **Purpose** This study aimed to show the applicability of the generated sludge local textile productive  
13 arrangement as a subsidy for the agricultural sector.

14 **Method** The sludge samples were collected in laundries that use several textile industrial processes, some  
15 analyzes were carried out such as pH, organic matter, and chemical characterization of some micronutrients  
16 in units of mg. Kg<sup>-1</sup>. Subsequently, the adequate dosage for the application of the sludge in agricultural  
17 soils as fertilizer for some cultures was dimensioned.

18 **Results** After analyzing the results, it was possible to determine the appropriate dose of sludge in tons per  
19 hectare (ton. ha<sup>-1</sup>) for the cultures under study. The obtained amounts of sludge that can be applied ranged  
20 from 4.03 to 127.65 (Ton.ha<sup>-1</sup>) depending on the chemical composition. According to the results of the  
21 concentration of micronutrients zinc (Zn) and copper (Cu), the maximum application rate of sludge1, sludge  
22 2, sludge 3 and sludge 4, respectively, 49.6, 127.65, 41.95, 64, 52 (ton. ha<sup>-1</sup>).

23 **Conclusion** the results show that it is possible to use the sludge as a fertilizer for local crops such as corn,  
24 sorghum, soy, and sugar cane. Considering all the results obtained, this application transforms the sludge  
25 into a product that enhances agribusiness, in addition to being an economically viable alternative, it is  
26 applied in compliance with agricultural productivity standards and legal environmental conditions for  
27 application in the soil.

28 **Keywords:** Textile sector, Destination of solid waste, Reuse, Micronutrients.

## 29 Introduction

30 Brazil is the fifth largest textile industry in the world, it develops in several poles and regions: Agreste in  
31 Pernambuco, Vale do Itajaí in Santa Catarina, and Americana in the interior of São Paulo (CAVALCANTI  
32 & SANTOS, 2021).

33 The textile sector is of great importance for the country's economy, employing approximately 1.7 million  
34 people directly (Abit, 2019), contributing significantly to stimulating the market, generating jobs,  
35 increasing the industrial economy, accelerating urbanization, and promoting social development (ZHAO &  
36 LIN, 2019).

37 On the other hand, such undertakings have been a major polluter of water resources, as they use various  
38 chemical products that require a greater demand for water in the production process (BHATIA et al., 2017;  
39 MARTINS et al., 2017). According to Khandare & Govindwar (2015), a medium-sized enterprise  
40 consumes approximately 1.6 million liters of water per day to produce about 8,000 kg of fabric.

41 According to the World Bank estimate, the textile industry generates 20% of industrial effluent (KANT,  
42 2012; CRUZ et al., 2019). About 80% of dyes are covalently bound to textile fibers, with the remainder  
43 being lost during the dyeing process (CRUZ et al., 2019).

44 The treatment of these effluents requires attention, as they are considered one of the main environmental  
45 liabilities due to their specific characteristics, such as high concentration of organic and inorganic carbon,  
46 strong color, pH, toxicity, and low biodegradability (ANVARI et al., 2014; GARCIA SEGURA et al., 2018;

47 HEYLMANN et al., 2021). According to Bhatia et al. (2017) dyes are the main contaminants present in  
48 effluents, in addition to solid organic and inorganic materials.

49 The incorrect form of disposal causes the effluents from the textile industry to be considered a great  
50 environmental risk. To reduce the pollution load of effluents, there is a need to seek alternatives to mitigate  
51 environmental impacts. Some options have been proposed to remove dyes from wastewater in a non-  
52 selective manner, including physical, chemical, and biological processes (PIZATO et al., 2017; LIU et al.,  
53 2018; YANG et al., 2019).

54 The processes of treatment and final destination of solid waste have a high cost, which led to the search for  
55 new alternatives for the reuse of industrial waste (SILVA et al., 2021). One of the most attractive  
56 alternatives for the destination of textile sludge has been used for the production of organic fertilizer and  
57 as a soil conditioner (BITTENCOURT; AISSE; SERRAT, 2017; SOUTO et al., 2021). Allowing this waste  
58 to become raw material again and to be reinserted into the production cycle (SALESA et al., 2015).

59 Although they present different substances, according to recent multivariate studies, textile sludge has  
60 several applications and can be seen as a source of micro and macronutrients, because in addition to its high  
61 content of organic matter, Along with other inorganic substances, resulting in a composition for the  
62 nutrition of many cultures in the region (STANFORD et al., 2020).

63 Portocarrero et al. (2021) state that about 85% of fertilizers used in agriculture in Brazil are imported mainly  
64 from Europe, mainly from Russia and Ukraine, producers are apprehensive as political instabilities end up  
65 raising input values, generating an increase in food costs basic.

66 Based on this international inopia, the need for new fertilization technologies arises. Alovisi et al. (2021)  
67 state that national agricultural research is developing and encouraging the use of alternative sources of  
68 nutrients. As can be seen from some studies that have already been developed that seek a replacement of  
69 chemical products with organic fertilizers (SILVA et al., 2022; ALOVISI et al., 2021; OLIVEIRA; FUJI;  
70 BEVILACQUA, 2021; DA SILVA et al., 2020).

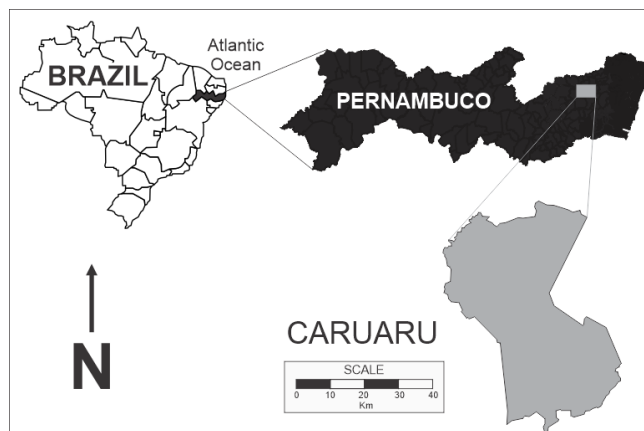
71 Aware of the environmental commitment, the study aims to evaluate the potential application of waste  
72 sludge from the treatment of effluent from textile apparel as a fertilizer, meeting the guiding values for the  
73 quality of chemical elements in agricultural soils.

## 74 **Material and Methods**

### 75 **Study area**

76 The research was carried out in industrial laundries of textile processing in Agreste Pernambucano,  
77 specifically in the municipality of Caruaru. The municipality of Caruaru is located in the wild of the State  
78 of Pernambuco – Brazil, approximately 130 km from the capital. With geographic coordinates of 08°17'S  
79 latitude and 35°58'W longitude with an altitude of 554 meters (MEDEIROS; HOLANDA; FRANÇA,  
80 2021). Currently, Caruaru has an estimated population of 369,343 inhabitants and has a territorial extension  
81 of 923,150 km<sup>2</sup> (BRASIL, 2020).

82 A study developed by Araújo (2020), points out that the characteristic biome of the municipality of Caruaru  
83 is the Caatinga, exclusively Brazilian. According to the same author, there is a predominance of ground  
84 plans throughout the municipality. Lysia Bernardes, based on Köppen – Geiger studies, classifies the  
85 climate of Caruaru as hot and dry, as in any semi-arid region, with temperatures ranging from 17° C to 32°  
86 C.



93

94 **Fig. 1** Illustrates the location of the state of Pernambuco, with emphasis on the municipality of Caruaru,  
 95 where the survey was carried out. Source: (Authors, 2023).

## 96 Experimentais procedures

97 Initially, one sample was collected from the batch deposited directly in each of the effluent treatment  
 98 stations (ETE) of the Caruaru laundries, the material was stored in plastic packaging and properly labeled.  
 99 Then, sent to the preparation in the Laboratory of Medicines, Technologies, and Environmental Solutions  
 100 (LAMTESA) of Rural Federal University of Pernambuco (UFRPE). The samples were placed to dry in an  
 101 oven at 100°C for about 36 hours.

102 Samples were sieved using 63µm particle size analysis sieves. Getting only as inferior particles, being  
 103 possible to find the largest amount of metals due to their characteristics. About 100g were taken to an oven  
 104 at 60°C for 48 hours to eliminate moisture. Then, approximately 10 g of each sample was added for analysis.  
 105 Subsequently, an analysis of the organic matter content was performed by the traditional method of muffle  
 106 firing.

107 Before analysis, sample preparation was carried out, which consists of an aliquot of 1.0g of each sample  
 108 decomposition and solubilization with aqua regia (a mixture of hydrochloric acid with nitric acid in a 3:1  
 109 ratio) on a hot plate at 100°C for 12 hours. The samples were allowed to stand at room temperature. Finally,  
 110 the samples were filtered and added to a 50 ml flask and the volume was made up to volume with 5% HNO<sub>3</sub>  
 111 solution.

112 After preparation, the samples were analyzed by the atomic emission spectrometry technique with the  
 113 inductively coupled plasma source method (ICP/OES), the respective elements in each sample: Al, As, B,  
 114 Ba, Be, Bi, Ca, Cd, Co, Cr, Cu, Fe, K, La, Li, Mg, Mn, Mo, Na, Ni, P, Pb, Sb, Sc, Se, Sn, Sr, Th, Ti, Tl, U,  
 115 V, W, Y, Zn and Zr. It is important and necessary to state that analytical grade reagents and solutions were  
 116 used in this study.

## 117 Results and discussion

118 Therefore, the sludges analyzed from the Caruaru laundry plants were titrated in the order: sludge 1 (S1),  
 119 sludge 2 (S2), sludge 3 (S3), and sludge 4 (S4). We can see in the figure 2 below the concentration of some  
 120 metals present in their composition. The results were compared with the criteria of Cetesb (1999), as it is  
 121 specific legislation for determining the rate and limits of application of metals in agricultural soils treated  
 122 with sludge. The results automatically comply with Conama 420/2009.

123

124

125

126

127

128

129

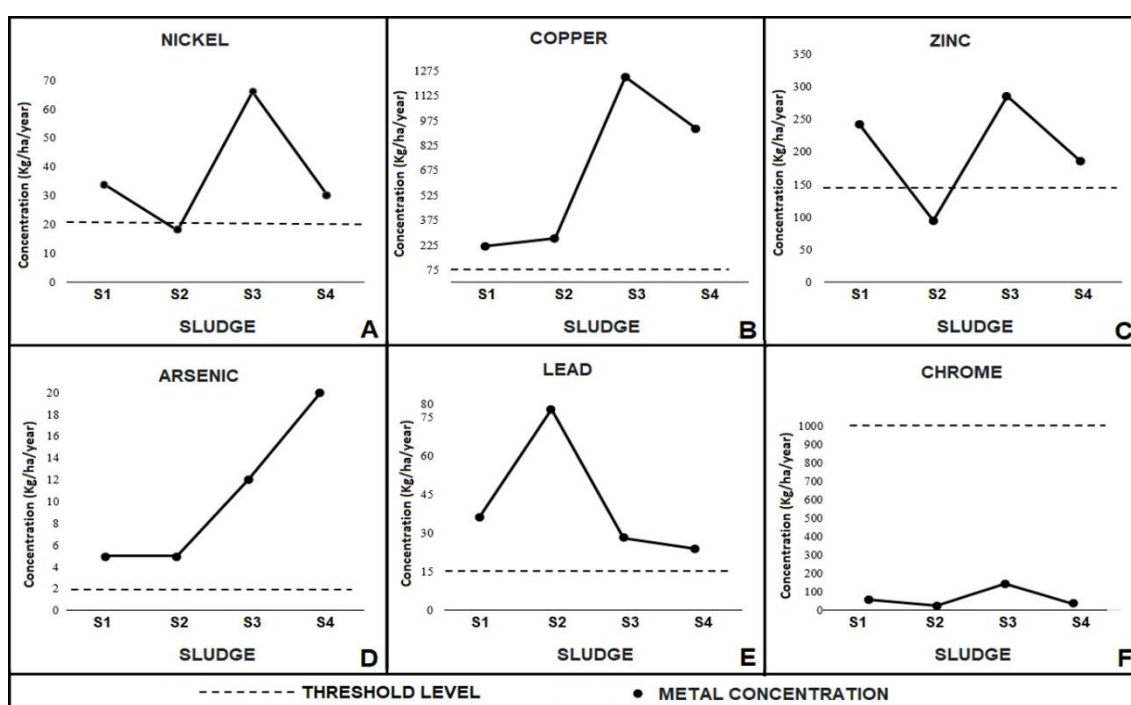
130

131

132

133

134



135

136

137 **Fig. 2** Comparison between micronutrient concentrations in sludge samples. Source: (Authors, 2023).

138 Some studies show the application of sludge from the treatment of domestic and industrial effluents as an  
 139 economic and environmentally viable solution (OLIVEIRA; FUJI; BEVILACQUA, 2021). According to  
 140 the study by Rosa (2004), a factor observed in textile sludge is the absence of pathogenic agents  
 141 (thermotolerant coliforms). The author explains that the organic matrix of urban sludge is much more  
 142 complex than textile sludge, stating that the absence of thermotolerant coliforms in textile sludge is related  
 143 to the high temperature and high pH of the effluent at the effluent treatment plant. Such factors establish  
 144 inappropriate conditions for the survival of pathogens and the presence of phenols certainly contributes to  
 145 the absence of pathogens.

146 According to Lima & Merçon (2011), some micronutrients are essential to life and their absence can  
 147 compromise the survival of plants and animals, copper (Cu), manganese (Mn), zinc (Zn), iron (Fe), and  
 148 molybdenum (Mo) but they must be consumed in the right amount, cobalt (Co) and nickel (Ni) are  
 149 beneficial but not essential and some are considered harmful, such as cadmium (Cd). Freire (2005) carried  
 150 out his study a bibliographic survey of some medicinal plants, the mechanisms of adaptation of some  
 151 species to some heavy metals.

152 According to studies developed by some researchers, it is possible to observe the chemical composition of  
 153 the sludge, and application of the same according to the parameters established by the legislation. In  
 154 addition to soil-plant adaptation, as we can see in Table 1.

155

**Table 1** Studies with the application of sludge as fertilizer.

Chemical characteristics (mg. kg <sup>-1</sup> )							
Cultures	As	Cu	Cr	Ni	Pb	Zn	References
Grassy ( <i>Cynodon sp</i> )	-	42,2	75,2	-	28,2	75,5	Santos, 2012
Yellow passion fruit ( <i>Passiflora edulis f.</i> <i>Flavicarpa</i> )	-	700	6	15	11	800	Prado & Natale, 2004
Tomato ( <i>Solanum</i> <i>lycopersicum</i> )	0,16	323	66	22	-	286	Narváez-Ortíz <i>et al.</i> , 2013
Cowpea ( <i>Vigna</i> <i>unguiculata L. Walp</i> )	3	110	28	17	18	121	Stanford <i>et al.</i> , 2020
Lettuce ( <i>Lactuca sativa</i> )	0,16	323	66	22	-	286	Narváez-Ortíz <i>et al.</i> , 2014
Corn ( <i>Zea mays</i> )	-	120	-	-	-	46	Da silva, 2005
Sorghum ( <i>Sorghum</i> <i>vulgare</i> )	-	13,63	-	-	-	160	Silva <i>et al.</i> , 2003

156

157 Based on Embrapa data (2006) Corn has a high sensitivity to zinc deficiency, medium to copper, iron, and  
 158 manganese, and low to boron and molybdenum. Sorghum requires several chemical elements considered  
 159 essential nutrients such as: N, P, K, Ca, Mg, S, B, Cu, Fe, Mn, Molybdenum and Zn (EMBRAPA, 2015).  
 160 Passion fruit requires some micronutrients, highlighting manganese, iron, zinc, boron, copper, chlorine, and  
 161 molybdenum (EMBRAPA, 2016).

162 According to IAC (RAIJ *et al.*, 1996), Zn and Cu are recommended for fertilization with micronutrients for  
 163 sugarcane. In a similar study, boron, copper, iron, manganese, molybdenum, and zinc are essential

164 micronutrients that influence growth processes, Synthesis and translocation of sugars in the watermelon  
165 plant, enabling higher yields and better quality fruits (EMBRAPA, 2007).

166 Narváez-Ortiz et al. 2013 developed a study with the application of raw industrial textile sludge in the  
167 substrate for tomato cultivation, no evidence was found of the transfer of heavy metals from the textile  
168 sludge to the fruit, concluding that there were no statistically different effects on fruit yield and mineral. A  
169 similar result was found by Narváez-Ortiz et al. 2014 no transfer of heavy metals was found by textile  
170 sludge to lettuce.

171 However, for Prado & Natale, 2004 the maximum dose of textile sludge applied in the formation of passion  
172 fruit seedlings provided adequate development and nutritional status, in addition to higher dry matter  
173 production is 10 t ha<sup>-1</sup>. Higher textile sludge doses decreased nutrient uptake, and dry matter production  
174 and resulted in plant death.

175 Stanford et al. 2020 highlights that textile sludge fertilizer can be a viable alternative for use in organic  
176 agriculture. Therefore, the microbial fertilizer applied to cowpea at different doses (fertilization treatments:  
177 microbial fertilization (t ha<sup>-1</sup>) at doses of (B 0.5), 100% (B 1.0) and 150% (B 1.5)), as a result is showed  
178 influences on plant characteristics and its effectiveness was similar to that of the conventional soluble  
179 fertilizer.

180 In the study carried out by Santos (2012), Tifton grass shows promise for the revegetation of contaminated  
181 areas, because it has a certain tolerance to heavy metals such as Cd and Zn. Concentrations of up to 5 t ha<sup>-1</sup>  
182 positively affected leaf and root anatomy, presenting adaptive modifications aiming to resist the  
183 micronutrients present in the textile sludge.

184 According to Assis et al. 2015, the majority of the Brazilian population has already made use of some  
185 medical plants. The same authors identified the Boldo (*Peumus boldus* Molina), Cidreira (*Melissa*  
186 *Officinalis* L.), and Cinnamon (*Cinnamomum Zeylanicum* B.) as the most consumed at the Ver-o-Peso fair,  
187 in the municipality of Belém (PA), analyzed the content of total metals such as Fe (195,5 ± 5,4 mg.Kg<sup>-1</sup>),  
188 Cu (12,8 ± 0,90 mg.Kg<sup>-1</sup>), Zn (17,6 ± 0,90 mg.Kg<sup>-1</sup>) and Mn (76,5 ± 3,20 mg.Kg<sup>-1</sup>), available in the form  
189 of decoction and infusion. The results showed their concentrations below the value established by the World  
190 Health Organization (WHO).

191 The use of sludge in agriculture serves as one of the main sludge disposal practices due to its fertilizing  
192 characteristics (SANTORO et al., 2017). In addition, the application rate can be based on the sludge's ability  
193 to neutralize soil acidity (CETESB, 1999). Textile sludge can be used as a soil corrective, according to the  
194 results obtained by Prado and Natale (2004) the residue proved to be able to correct soil acidity, in addition  
195 to providing N, P, K, Ca, Mg, S, Zn e Mn. According to da Silva. 2005 the textile sludge was efficient in  
196 correcting the acidity of Nitosol and Spodosol, as well as the highest production of dry matter was observed  
197 in Nitosol after the application of textile sludge.

198 According to some scholars, sludge has significant potential and efficiency for the application of industrial  
199 sludge as a fertilizer. To define the best alternative for sludge treatment, technical, environmental, economic,  
200 and social aspects must be taken into account (PRADO & NATALE, 2004; NARVÁEZ-ORTÍZ et al.,  
201 2013; STANFORD et al., 2020).

202 The reuse of sludge in crops enables the recovery of the residue, with the direct application or using it as  
203 raw material for the manufacture of products. We can see in table 2 the results obtained from the analysis  
204 of past metals present in the sludge from the treatment of effluents from the laundries under study, as well  
205 as the maximum parameters established by the legislation (CETESB, 1999). It is possible to observe the  
206 maximum reference rate for soils with low fertility (CABEZAS, 2011) and the organic matter data of each  
207 sample.

208

209 **Table 2** Analysis of metals in the sludge samples.

210

Chemical analysis	Maximum annual application rate (kg. ha <sup>-1</sup> . Ano <sup>-1</sup> )*	Sludge 1 (kg. ha <sup>-1</sup> )	Sludge 2 (kg. ha <sup>-1</sup> )	Sludge 3 (kg. ha <sup>-1</sup> )	Sludge 4 (kg. ha <sup>-1</sup> )
Arsenic	2.0	5	5	12	20
Nickel	21	34	18	66	30
Copper	75	220	266	1240	926
Lead	15	36	78	28	24
Zinc	140	242	94	286	186
Chrome	1000	56	24	142	32
O.M.	78.000**	49.3	66.9	58.4	35.7

211 Source: Unit conversion was performed based on information from the  
212 website:<<https://agronomiacomgismonti.blogspot.com/p/conversao-unidades.html>>.

213 \* According to CETESB, 1999 the maximum annual application rate of metals in agricultural soils treated  
214 with sludge.

215 \*\* Maximum limit of organic matter for soils (CABEZAS, 2011).

216 When we analyze the results obtained from the samples, S1 and S2 present values closer to the appropriate  
217 one for the application, that is, the concentration of some analyzed metals is within the maximum  
218 parameters established for the application.

219 Given the study carried out based on the analysis of micronutrientes present in the samples, it is possible to  
220 estimate that S1 and S2, because they have similar characteristics, can be applied for crops such as such as  
221 corn, sorghum, soy, and sugar cane, among others. S3 and S4 have a much higher concentration of some  
222 non-allowed metals, being recommended for use in reforestation. However, even if the concentration found  
223 does not meet the allowable concentration rate, these samples can also be applied in different proportions.

224 The application of textile sludge as a fertilizer is an alternative that can be applied to different crops such  
225 as sorghum, corn, soybeans, and sugarcane. Because crops require macro and micronutrients that can be  
226 present in the sludge. Based on the results, we can see in table 3 the expectation for the application of the  
227 sludges under study. It is worth mentioning that the soil must have almost no presence of metals. The  
228 estimated calculation was carried out based on the maximum limit of metals allowed by legislation  
229 (CETESB, 1999). And the recommended values of copper and zinc for each crop, also meet the minimum  
230 limits of the other metals under study.

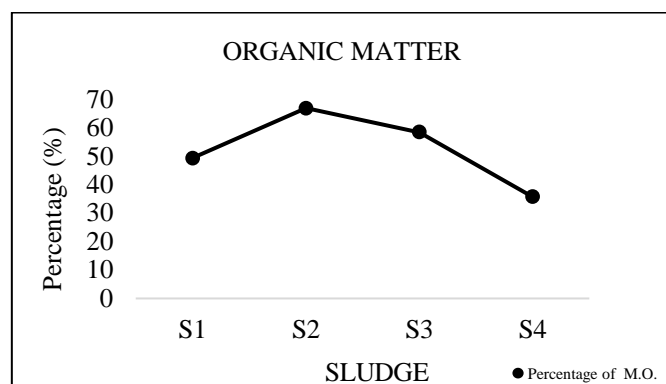
231 **Table 3** The maximum allowed for sludge application in corn, sorghum, sugarcane, and soybean crops.

Sludge	Corn <sup>1</sup> (ton.ha <sup>-1</sup> )	Sorghum <sup>2</sup> (ton.ha <sup>-1</sup> )	Sugar cane <sup>3</sup> (ton.ha <sup>-1</sup> )	Soy <sup>4</sup> (ton.ha <sup>-1</sup> )
S1	49.6	32.75	36.36	22.72
S2	127.65	27.06	30.07	18.79
S3	41.95	5.80	6.45	4.03
S4	64.52	7.77	8.64	5.4

232 Source: 1 FAVARIN; TEZOTTO; RAGASSI, (2008), 2 CFSEMG (1999), 3 ROSSETTO & DIAS (2005),  
233 4 PAS Campo (2005).

234 It is worth mentioning that in addition to the chemical characterization of the sludge, the study of the soil  
235 and culture must be carried out. Figure 3 shows a relevant percentage of organic matter for each sludge.

236 And from the results, it can be considered a better alternative environmentally suitable for an adequate  
237 destination.



238

239 **Fig. 3** Concentration of organic matter in the sludge samples. Source: (Authors, 2023).

240 The use of sludge in agriculture serves as one of the main sludge disposal practices due to its fertilizing  
241 characteristics (SANTORO et al., 2017). In addition, the application rate can be based on the sludge's ability  
242 to neutralize soil acidity (CETESB, 1999). Textile sludge can be used as a soil corrective, according to the  
243 results obtained by Prado and Natale (2004) the residue proved to be able to correct soil acidity, in addition  
244 to providing N, P, K, Ca, Mg, S, Zn e Mn. According to da Silva. 2005 the textile sludge was efficient in  
245 correcting the acidity of Nitosol and Spodosol, as well as the highest production of dry matter was observed  
246 in Nitosol after the application of textile sludge.

247 According to some scholars, sludge has significant potential and efficiency for the application of industrial  
248 sludge as a fertilizer. To define the best alternative for sludge treatment, technical, environmental,  
249 economic, and social aspects must be taken into account (PRADO & NATALE, 2004; NARVÁEZ-ORTÍZ  
250 et al., 2013; STANFORD et al., 2020).

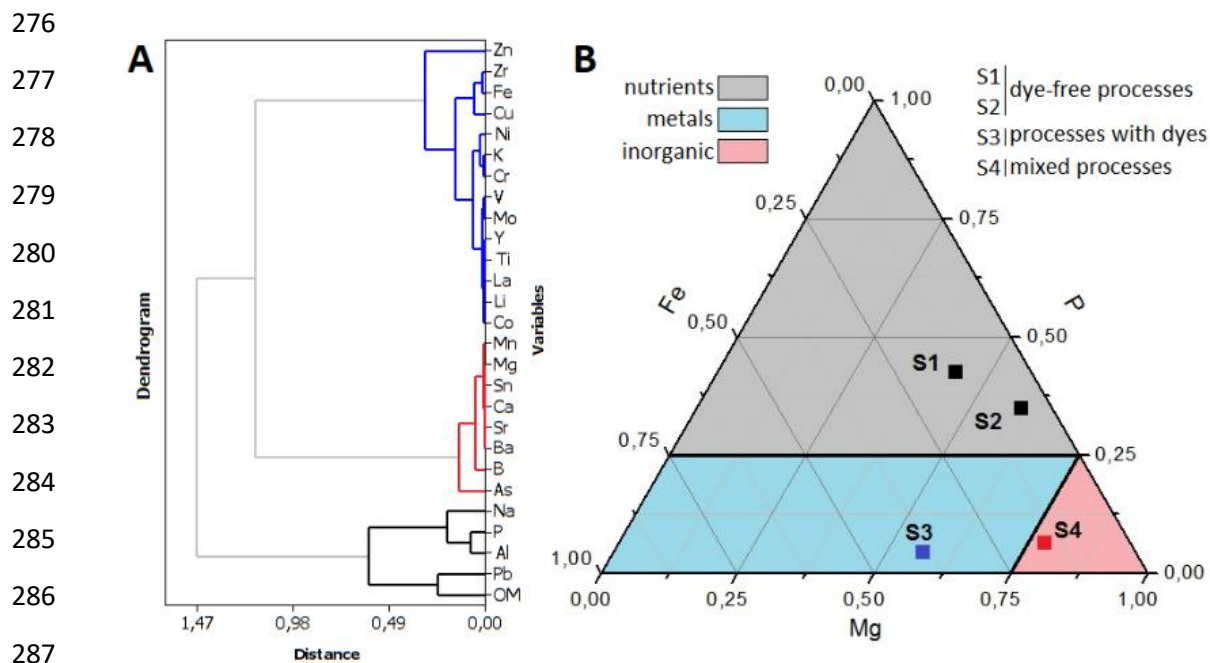
251 The statistical analysis of the data of this work was carried out using the Hierarchical Grouping method  
252 shown in the Graph of Figure 4A. This analysis was carried out using the method of the average of the  
253 Euclidean distance as a level of similarity to approach the intervals of the clusters. It is possible to observe  
254 the separation into three clusters in this graph, the first of blue, containing most of the most of the highest  
255 contents of the metals contained in the analyzed sludge, including copper, zinc and chromium, elements  
256 still present in some dyes. Another group observed is in red color and contains predominantly the elements  
257 magnesium, calcium, strontium and barium and represents a group of sludge from laundries that use many  
258 processes of the productive cycle in the Textile Pole, indicating a very heterogeneous chemical composition  
259 from a seasonal point of view. Finally, the last group, in the black color of the dendrogram, contains the  
260 sludge with the highest load of organic matter, higher phosphorus content and absence of high  
261 concentrations of heavy metals, since they were collected from laundries that do not use dye in their  
262 products.

263 In view of these clustering results, it was possible to propose a ternary diagram of iron, phosphorus and  
264 magnesium representing respectively the sludge with the highest content of heavy metals, nutrients and  
265 inorganic elements (Figure 4B). In this context, the diagram represents the reduction of the dimensionality  
266 of the sludge chemical analysis system, with the intention of helping as an indicator of its destination, such  
267 as the dimensioning of micro or macronutrients that are associated with its composition. Despite the results  
268 showing evident separations of the types of sludge under study, it is evident that it is necessary to increase  
269 the analysis in more samples to increase the representativeness and reproducibility of the method. Although  
270 it is an indication that shows applications of sludge generated with local application, reducing transport and  
271 disposal costs, and enhancing an environmental management tool in an attempt to mitigate the impacts  
272 arising from the textile industry in Pernambuco.

273

274

275



**Fig. 4 A)** Analysis of Hierarchical Groupings, **B)** Ternary Diagram. Source: (Authors, 2023).

## Conclusion

In view of the results presented, the textile sector is characterized by being a potential environmental polluter when there is irregular disposal and lack of reuse of its effluents and solid waste. Chemical characterization proved to be an important point in the selection of sludge and, consequently, its destination for specific cultures according to the need for micro and macronutrients. With the statistical delineation it was possible to add value to each sludge to be used as a fertilizer, since there is already a limitation of heavy metals, it can be secondarily characterized according to the many other accessory chemical elements. The absence of pathogens in textile sludge may be an indication of its immediate application as a fertilizer and agribusiness enhancer.

## Acknowledgements

I would like to thank the Federal Rural University of Pernambuco - UFRPE and the Foundation for the Support of Science and Technology of the State of Pernambuco - FACEPE.

## References

- ABIT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA TEXTIL E DE CONFECÇÃO. Report, 2019. Disponível em: <http://www.abit.org.br/cont/perfil-do-setor>. Acesso em: 16 fevereiro, 2022.
- Alovisi AMT, Rodrigues RB, Alovisi AA, Tebar MM, Villalba LA, Muglia GRP, Soares MSP, Tokura LK, Cassol CJ, Silva RS da, Tokura WI, Gning A, Kai PM (2021) Utilização do pó de rocha basáltica como alternativa de adubação da cultura da soja. Research, Society and Development. <http://dx.doi.org/10.33448/rsd-v10i6.15599>.
- Anvani, F, Kheirkhah M, Amraei R (2014) Treatment of synthetic textile wastewater by combination of coagulation/flocculation process and electron beam irradiation. Journal of community health research 31 – 38.
- Araújo ASF, Monteiro RTR, Cardoso PF (2005) Composto de lodo têxtil em plântulas de soja e trigo. Pesquisa Agropecuária Brasileira 549-554. <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2005000600004>.



- 314 Araújo ASF, Monteiro RTR, Carvalho EMS (2007) Effect of composted textile sludge on growth,  
315 nodulation and nitrogen fixation of soybean and cowpea. *Bioresource Technology* 1028-1032.  
316 <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2006.04.028>
- 317 Araújo JGS (2020) Atividades antrópicas e a qualidade das águas do rio Ipojuca no município de Caruaru  
318 – PE: Documentário como proposta para o ensino das Ciências Ambientais.2020. Dissertação (mestrado),  
319 Universidade Federal de Pernambuco.
- 320 Assis AFS, Anastácio FMO, Silva MDB, Amarante CB, Neves PAPFG (2015) Determinação do teor de  
321 metais em chás de plantas medicinais. *Enciclopédia biosfera* 3397.
- 322 Bittencourt S, Aisse MM, Serrat BM (2017) Gestão do uso agrícola do lodo de esgoto: estudo de caso do  
323 estado do Paraná, Brasil. *Engenharia Sanitaria e Ambiental*. 1129-1139. <https://doi.org/10.1590/S1413-41522017156260>
- 325 BRASIL. Instituto Brasileiro de Geologia e Estatística Caruaru – IBGE (2020). Disponível em: <  
326 <https://www.ibge.gov.br/cidades-e-estados/pe/caruaru.html>>. Acessado em 26 de dezembro de 2022.
- 327 Bhatia D, Sharma NR, Singh J, Kanwar RS (2017) Biological methods for textile dye removal from  
328 wastewater: A review. *Critical Reviews in Environmental Science and Technology* 1836-1876, 2017.  
329 <https://doi.org/10.1080/10643389.2017.1393263>.
- 330 Cavalcanti AM, Santos GF (2021) A indústria têxtil no Brasil: uma análise da importância da  
331 competitividade frente ao contexto mundial, *Exacta Engenharia de Produção* 706-726.  
332 <https://doi.org/10.5585/exactaep.2021.17784>.
- 333 Cabezas WARL (2011) Matéria orgânica de solo: agente determinante da eficiência de fertilizantes  
334 nitrogenados. *Pesquisa & Tecnologia*.  
335 [http://www.infobibos.com/Artigos/2011\\_3/MateriaOrganica/index.htm](http://www.infobibos.com/Artigos/2011_3/MateriaOrganica/index.htm). Acessado em 26 de novembro de  
336 2022.
- 337 CETESB, Companhia de Saneamento Ambiental do Estado de São Paulo (1999) Critérios para aplicação  
338 de biossólidos em áreas agrícolas: critérios para projeto e operação, CETESB, São Paulo, 32p. Manual  
339 técnico, Norma P4.230.
- 340
- 341 Ribeiro AC, Guimaraes PTG, Alvarez VVH. (ed.) (1999). Recomendação para o uso de corretivos e  
342 fertilizantes em Minas Gerais: 5. aproximação. Comissão de Fertilidade do Solo do Estado de Minas Gerais  
343 - CFSEMG.
- 344 Cruz JC, Nascimento MA, Amaral HAV, Lima DSD, Teixeira APC, Lopes RP (2019) Synthesis and  
345 characterization of cobalt nanoparticles for application in the removal, *Journal of Environmental*  
346 *Management* 220-228. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2019.04.059>,
- 347 Da Silva HW, Andrigueti SC, Pradela VA, Donha AAA, Henrique GC, Dutra AO (2020) Efeito da  
348 adubação orgânica sob o perfilhamento de mudas pré-brotadas de cana-de-açúcar. *Brazilian Journal of*  
349 *Development*, 18897-18904. <https://doi.org/10.34117/bjdv6n4-164>.
- 350 Da Silva RCR (2005) Uso do lodo têxtil como fertilizante agrícola, Dissertação (Mestrado), Universidade  
351 Federal Rural de Pernambuco.
- 352 Medeiros RM, De Holanda RM, De França MV (2021) Caruaru – pe, seu conforto ou desconforto térmico  
353 em anos de el niño, la niña. *Revista Mirante* 1-15.
- 354 EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (2006) *Nutrição e Adubação do Milho*. p. 10.
- 355 EMBRAPA- Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (1993) *A cultura do tomateiro (para mesa) I*  
356 *Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Centro Nacional de Pesquisa de Hortaliças*. p. 88.
- 357 EMBRAPA- Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (2010) *Cultivo da Mangueira. Sistemas de*  
358 *Produção*, 2 - 2ª edição. p. 111.

- 359 EMBRAPA- Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (2015) Sorgo: o produtor pergunta, a Embrapa responde. p. 327.  
360
- 361 EMBRAPA- Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (2016) Maracujá: o produtor pergunta, a Embrapa responde. p. 341.  
362
- 363 EMBRAPA- Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (2006) A cultura da goiaba. – 2ª edição revista e ampliada. p. 180.  
364
- 365 EMBRAPA- Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (2007) A cultura da melancia: Embrapa Informação Tecnológica, p. 85.  
366
- 367 Favarin JL, Tezotto T, Ragassi CF (2008) Uso racional de micronutrientes na cultura de milho. Piracicaba: International Plant Nutrition Institute.  
368
- 369 Freire, MFI (2005) Metais pesados e plantas medicinais. Revista científica eletrônica de agronomia 1-14.
- 370 Garcia-Segura S, Ocon, JD, Chong MN (2018) Electrochemical oxidation remediation of real wastewater effluents — A review. Process Safety and Environmental Protection 113:48–67.  
371 <https://doi.org/10.1016/j.psep.2017.09.014>.  
372
- 373 HEYLMANN, Kelly Kathleen Almeida et al Heylmann KKA, Lopes BV, Afonso TF, Demarco CF, Cadaval Junior TR, Quadro MS, Andrezza R (2021) Produção, caracterização e aplicação de carvão ativado de caroço de pêssego no tratamento de efluente têxtil. Engenharia Sanitaria e Ambiental 26:485-494. <https://doi.org/10.1590/S1413-415220190226>.  
374  
375  
376
- 377 Kant, R (2012) Textile dyeing industry an environmental hazard. Natural Science 4:22–26.  
378 <https://doi.org/10.4236/ns.2012.41004>.
- 379 Khandare RV, Govindwar SP (2015) Phytoremediation of textile dyes and effluents: Current scenario and future prospects. Biotechnology Advances 33:1697-1714.  
380 <https://doi.org/10.1016/j.biotechadv.2015.09.003>.  
381
- 382
- 383
- 384 Lima, VF, Merçon F (2011) Metais pesados no ensino de química. Química nova na escola, 33(4), 199-385  
205.
- 386 Liu J, Zhuo Z, Xie W, Kuo J, Lu X, Buyukada M., Evrendilek F (2018) Efeitos da interação de cloro e fósforo em comportamentos termoquímicos de metais pesados durante a incineração de lodo de tingimento têxtil rico em enxofre. Chemical Engineering Journal 351: 897-911.  
387 <https://doi.org/10.1016/j.cej.2018.06.158>.  
388  
389
- 390 MARQUES, Marcus Vinicius Araújo et al. Marcus VAM , Chamhum-Silva LA, De Mato AT, Bomfim NF, Barros KK, Bastos RXX, Kato MT (2022) Nota Técnica 3 - Uso agrícola: Condições de aplicabilidade de efluente de estações de tratamento de esgoto. Cadernos Técnicos Engenharia Sanitária Ambiental 2:29-41. <https://doi.org/10.5327/276455760203003>.  
391  
392  
393
- 394 MARTINS, Jéssica Elen Costa Alexandre et al. Martins JECA, Abdala Neto EF, De Lima ACA, Ribeiro JP, Maia EFF, Do Nascimento RF (2017) Delineamento Box-Behnken para remoção de DQO de efluente têxtil utilizando eletrocoagulação com corrente contínua pulsada. Engenharia Sanitaria e Ambiental 22: 1055-1064. <https://doi.org/10.1590/S1413-4152201715074>.  
395  
396  
397
- 398 NARVAEZ-ORTIZ, Willian Alfredo et al. Efectividad del lodo textil en la producción y composición química del fruto de tomate. Revista mexicana de ciencias agrícolas, v. 4, n. 1, p. 129-141, 2013.  
399
- 400 Narváez-Ortiz WA, Benavides-Mendoza A, Robledo-Torres V, Mendoza-Villarreal R (2013) Efectividad del lodo textil en la producción y composición química del fruto de tomate. Revista mexicana de ciencias agrícolas, 4(1):129-141. Recuperado en 12 de enero de 2023, de [http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S2007-09342013000100010&lng=es&tlng=es](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-09342013000100010&lng=es&tlng=es).  
401  
402  
403  
404

- 405 Narváez-Ortíz, WA, Benavides-Mendoza A, Vázquez-Badillo ME, Cabrera-de la FM (2014) Effect of the  
406 application of raw sludge from the fabric industry into the productivity and chemical composition of lettuce  
407 (*Lactuca sativa*). *Revista internacional de contaminación ambiental*, 30(4): 379-391. Recuperado en 12 de  
408 enero de 2023, de [http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0188-  
409 49992014000400006&lng=es&tlng=en](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0188-49992014000400006&lng=es&tlng=en).
- 410 Oliveira JF, Fuji K, Bevilacqua PD (2021) Caracterização da exposição humana a lodo de esgoto sanitário  
411 na cadeia: tratamento, uso agrícola e consumo de hortaliças. *Engenharia Sanitária e Ambiental* 26:221-230.  
412 <https://doi.org/10.1590/S1413-415220190208>.
- 413 Campo P (2005) Manual de segurança e qualidade para a cultura da soja. Brasília, DF: Embrapa  
414 Transferência de Tecnologia.
- 415 Pizato E, Lopes AC, Rocha RDC, Barbosa AM, Da Cunha MAA (2017) Caracterização de efluente têxtil  
416 e avaliação da capacidade de remoção de cor utilizando o fungo *Lasiodiplodia theobromae* MMPI.  
417 *Engenharia Sanitária e Ambiental* 22: 1027-1035. <https://doi.org/10.1590/S1413-41522017121743>.
- 418 Portocarrero M, Rati F, Carneiro I, Werneck G, Santos I, Silva M., ... & de Oliveira MOM (2021) Gargalos  
419 nas cadeias de produção. Embrapa Agricultura Digital-Capítulo em livro científico.
- 420 Prado RM, Natale, W (2004) Efeitos da aplicação de lodo têxtil sobre o desenvolvimento, o estado  
421 nutricional e a produção de matéria seca de mudas de maracujazeiro, Congresso brasileiro de ciência e  
422 tecnologia em resíduos e desenvolvimento sustentável, Florianópolis.
- 423 Raj BV, Cantarella H, Quaggio JA, Furlani AMC (1997) Recomendações de adubação e calagem para o  
424 Estado de São Paulo 2a. ed. 100: 8-13. Campinas: Instituto Agrônomo/Fundação IAC.
- 425 ROSA EVC (2004) Reaproveitamento de lodo têxtil em solo florestal: Estudos dos aspectos físico-  
426 químicos, agrônômicos e ecotoxicológicos. Tese, Universidade Federal de Santa.
- 427 Rossetto R, Dias FLF (2005) DOS SOLOS, A FERTILIDADE. 2. NUTRIÇÃO E ADUBAÇÃO DA  
428 CANA-DE-AÇÚCAR: indagações e reflexões.
- 429
- 430 Salesa A, Benedicto JAP, Aranguren DC, López-Juliána PL, Estebanb LM, Sanz-Baldúzd LJ, Sáez-  
431 Hostaled JL, Ramise J, Olivarese D (2015) “Physico-mechanical properties of multi-recycled concrete  
432 from precast concrete industry”, *Journal of Cleaner Production* 1 41: 248-255.  
433 <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.09.058>.
- 434 Santoro A, Held A, Linsinger TP, Perez A, Ricci, M (2017) Comparison of total and aqua regia  
435 extractability of heavy metals in sewage sludge: The case study of a certified reference material. *TrAC*  
436 *Trends in Analytical Chemistry* 89: 34-40. <https://doi.org/10.1016/j.trac.2017.01.010>.
- 437 Santos AL (2012) Utilização do lodo têxtil no cultivo de tífton. Dissertação (Mestrado), Universidade  
438 Federal de Alfenas.
- 439 Silva, AL da, Cordeiro RS, Rocha, HCR (2022) Aplicability of Efficient Microorganisms (EM) in  
440 agriculture: literature review. *Research, Society and Development*, 11(1): 32311125054.  
441 <https://doi.org/10.33448/rsd-v11i1.25054>.
- 442 Silva EP, Mota S, Aquino BF (2003) Potencial de utilização do lodo de esgoto de indústria têxtil como  
443 fertilizante agrícola. *Engenharia Ambiental e Sanitária* 8: 69-76.
- 444 Silva JDJ, Ingunza MDPD, Albuquerque LF, Souza PABF, Medeiros LGGD (2021) Utilização de lodo  
445 tratado de indústria de produtos de limpeza em matrizes cimentícias. *Matéria* (Rio de Janeiro), 26.  
446 <https://doi.org/10.1590/S1517-707620210003.13040>.
- 447 STAMFORD, N. P.; SILVA, E.V.N.; OLIVEIRA, W.S.; MARTINS, M. S.; MORAES, A. S.; FREITAS,  
448 M. H.; BARROS, J. A. Characterization of jeans textile waste and interaction with microbial fertilizer and  
449 multivariate analysis to identify environmental effects. *Environmental Technology & Innovation*, v. 18, p.  
450 1-8, 2020.

- 451 Stamford NP, da Silva EVN, da Silva OW, dos Santos MM, Moraes AS, de Barros JA, De Freitas MI  
452 (2020) Benefícios da adubação microbiana na interação interespecífica com lodos têxteis em feijão-caupi  
453 em um Argissolo Brasileiro e na toxicidade de resíduos. *Tecnologia Ambiental e Inovação*, 18 :100756.  
454 <https://doi.org/10.1016/j.eti.2020.100756>.
- 455 SOUTO, L. S. et al. Níveis e formas de aplicação de lodo de esgoto na nutrição e crescimento inicial da  
456 mamoneira. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v. 9, p. 274-277, 2021.
- 457 Souto LS, Silva LMD, Lobo TF, Fernandes DM, Lacerda NBD (2021) Níveis e formas de aplicação de  
458 lodo de esgoto na nutrição e crescimento inicial da mamoneira. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola  
459 e Ambiental* 9: 274-277. <https://doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v9nsupp274-277>.
- 460 Yang H, Zhang J, Liu Y, Wang L, Bai L, Yang L, Wei D, Wang W, Niu Y, Chen H (2019) Remoção rápida  
461 de corante aniônico da água por nanopartículas magnéticas modificadas com poli (líquido iônico). *Journal  
462 of Molecular Liquids* 284: 383-392. <https://doi.org/10.1016/j.molliq.2019.04.029>.
- 463 Zhao, H., & Lin, B. (2020). Impact of foreign trade on energy efficiency in China's textile industry. *Journal  
464 of Cleaner Production*, 245, 118878. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.118878>.

Human Journals

**Review Article**

August 2022 Vol.:22, Issue:2

© All rights are reserved by Alex Souza Moraes et al.

## Bacterial Cellulose: A Review on Applications of Nanomaterials in Adsorptive Processes of Contaminated Environments



**Thaís Jeruzza Maciel Póvoas Souto<sup>1</sup>, Alex Souza Moraes<sup>2\*</sup>, Otávio Pereira dos Santos Junior<sup>3</sup>, Romildo Morante de Holanda<sup>4</sup>, Arthur Luís Silva de Araújo<sup>2</sup>, Beatriz Silva Santos<sup>5</sup>, Raimundo Mainar de Medeiros<sup>4</sup>**

<sup>1</sup> Postgraduate Program in Chemistry - Federal University of Rural Pernambuco, Recife, Pernambuco, 52171-900, Brazil. <sup>2</sup> Federal University of Rural Pernambuco - Department of Chemistry, Recife, Pernambuco, 52171-900, Brazil. <sup>3</sup> Federal Institute of Pernambuco - Vitória de Santo Antão, Pernambuco, 55600-000, Brazil. <sup>4</sup> Federal University of Rural Pernambuco - Rural Technology Department, Recife, Pernambuco, 52171-900, Brazil. <sup>5</sup> Postgraduate Program in Environmental Engineering - Federal University of Rural Pernambuco, Recife, Brazil.

**Submitted:** 22 July 2022

**Accepted:** 27 July 2022

**Published:** 30 August 2022

**Keywords:** Bacterial cellulose, adsorption, environmental pollution, alternative methods

### ABSTRACT

Bacterial cellulose, also understood as an alternative method of ion removal through adsorption, is the subject of study in this literature review. This was based on the assumption that scientists are looking for effective methods to promote the reduction of environmental pollution, especially concerning toxic metal ions, as they significantly impact the fauna and flora of both the marine environment and fresh water, that is, anthropogenic activity throws in nature inorganic contaminants that need to be properly used in order not to increase the levels of metal ions in water bodies. Thinking about how to understand an effective solution that generates biopolymer productivity, through a qualitative methodology develops a bibliographic review pointing to bacterial cellulose as an absorbent capable of effectively separating heavy metals due to its purity, elasticity, and biocompatibility. Thus, it was intended to contribute to the debate on the application of such type of cellulose in the removal of metal ions from contaminated environments by means of reagents and microbial nanocellulose to score adsorption as an effective alternative.



HUMAN JOURNALS

[www.ijsrm.humanjournals.com](http://www.ijsrm.humanjournals.com)

## INTRODUCTION

Environmental pollution caused by the contamination of potentially toxic metal ions present in rivers and lakes, which originated mainly from industrial effluents, is one of the world's problems to be solved. Some heavy metals are characterized, in certain concentrations, as natural constituents of the environment, thus, contaminations involving these metals alter the levels of usual (normal) concentrations directly and negatively impact the fauna and flora present in marine and freshwater environments.<sup>1</sup> These inorganic contaminants originate from anthropogenic activities (industrial, domestic, agricultural, medical, and technological applications) that inevitably increase the levels of various metal ions in water bodies.<sup>2-3</sup>

In recent years, there has been a great concern on the part of researchers, who are dedicated to the research of new materials capable of presenting themselves as viable technologies for the remediation of these contaminants. Thus, different methods of removal of metal ions from wastewater were also developed, including chemical precipitation, ion exchange, flocculation, membrane filtration, electrochemical treatment, adsorption, and others.<sup>4-5</sup> The use of heavy metal adsorbent materials is considered a promising and effective process since some renewable natural materials are used and prone to chemical modification for greater adsorption.<sup>6</sup> As an example, cellulose or cellulose-based materials are included, covering some agro-industrial waste, which has been applied for the removal of heavy metals.

Bacterial cellulose (BC) has the same chemical composition as vegetable cellulose (VB), that is, both are formed by glucose molecules joined by glycosidic bonds.<sup>7</sup> However, they differ in the size of the fibrils formed, the structure of BC that is devoid of lignin, hemicellulose, and pectin with high purity that has nanocrystalline domains when compared with plant cellulose.<sup>8</sup> In addition to these properties, it is worth highlighting the comparison of the productivity of BC and VB, an essential attribute to determine the advantage of producing cellulose from bacteria.

The first report on bacterial cellulose formation occurred in 1886 by researcher Adrian Brown who described the formation of a gelatinous film on the surface of an apathetic fermentation process.<sup>9</sup> The analysis of this material revealed that the cellulose formed was produced by *the bacterium Acetobacter xylinum*, in which its nomenclature was confirmed at the meeting of the ICSB judicial committee on March 29, 1973<sup>9-10</sup>, currently reclassified as *Gluconacetobacter*

*xylinus*, based on the phylogeny of the 16S rRNA sequence and phenotypic, ecological and chemotaxonomic characteristics.<sup>11</sup> In 1931, Hibbert and Barsha analyzed the chemical composition and structural properties of BC and found that BC was identical to cellulose of plant origin in the molecular formula, although it had unique properties compared to plant cellulose.<sup>12</sup> Once its properties have been examined, it has gained increasing attention and has been widely explored in recent decades by the scientific community.<sup>8</sup>

In this analysis, researchers compared pulp production from 1 ha of eucalyptus with an average annual increment of 50m<sup>3</sup>, providing a basic density of 500kg.m<sup>-3</sup>, generating an average annual increment of 25 tons. of celluloseha<sup>-1</sup> year<sup>-1</sup>. After 7 (seven) years of this planting, 45% of cellulose content was produced, generating 80 tons. Ha-1cellulose. These authors found that the same product could be obtained by bacteria, with a hypothetical yield of 15 g.L<sup>-1</sup> in 50 h of cultivation (average of 0.3 g.h<sup>-1</sup>) in a 500 m<sup>3</sup> bioreactor for approximately 22 days. With this, in addition to having a more efficient production, there is pure and ecologically sustainable bacterial cellulose as a product.<sup>13</sup>

Bacterin cellulose is a more abundant biopolymer consisting of monomeric units of  $\beta$ -D-glucopyranose called cellobiose, which is converted into polymeric cellulose, through the joining of glucose units by  $\beta(1\rightarrow4)$  glycosidic bonds, generating non-branched linear chains, which are connected through van der Waals forces and hydrogen bonds.<sup>14-16</sup> BC has enormous potential to be used as a new adsorbent for effective separation of heavy metals due to its properties of high water retention capacity, fine fiber network, high resistance to mechanical traction, high purity, flexibility, elasticity, absence of toxicity and biocompatibility.<sup>17</sup> However, pure BC is not suitable for the adsorption of a huge variety of metal ions as a result of lower adsorption and selectivity capacity in some cases. Thus, the synthetic strategy of modification of cellulosic matrices, which allows the inclusion of new functional groups capable of improving adsorption activity, has become promising and is characterized as a widely studied line of research.<sup>18</sup>

Due to these peculiar properties, the most common applications of BC are biomedicine, the food industry, pharmacology, cosmetics, electronics, and textiles. According to Shi *et al.*<sup>19</sup>, applications of new BC-based materials are sought for applications in nanotechnology, biotechnology, immobilization, adsorption, catalysis, and engineering, in which hydrogels,

membranes, composites, nanofibers, nanocrystals, and other various products or technologies involving BC are developed.

Thus, the purpose of this review article is to contribute to the discussion on bacterial cellulose and applications of modified bacterial cellulose (MBC) in absorbing processes for the removal of metal ions in contaminated environments focusing on articles published in journals in recent years, to synthesize knowledge on the subject.

## **MATERIALS AND METHODS**

To develop a critical analysis of the use of modified bacterial cellulose in absorbing processes that promote the removal of metal ions in contaminated environments, a descriptive qualitative methodology was developed, using the literature review as the main methodological procedure. However, it should be understood that the literature review focused specifically on scientific articles that worked on the theme through two active methodologies to reagents and Microbial nanocellulose, described below:

### **Reagents**

The strain used for bacterial cellulose membrane growth was *Gluconacetobacter xylinum* (ATCC 23769) supplied by the Biotechnology Laboratory of the Center for Strategic Technologies of the Northeast (Recife, Brazil). Yeast and peptone extract was purchased from HiMedia BioSciences Company (Mumbai, India). Anhydrous bibasic sodium phosphate ( $\text{Na}_2\text{HPO}_4$ ) and succinic acid were acquired from The Modern Chemistry Industry and Commerce (São Paulo, Brazil), and glycerin was acquired from Labsynth (São Paulo, Brazil). All chemicals were analytical in grade and used without additional purification. Bi-distilled water ( $\text{DDH}_2\text{O}$ ) was used in all experimental procedures.

### **Microbial nanocellulose**

The production of the bacterial membrane is used by the bacterium *Gluconacetobacter xylinus* and as a carbon source glycerol. The culture medium was produced with  $30 \text{ g.L}^{-1}$  of glycerol,  $16 \text{ g.L}^{-1}$  of yeast extract,  $5 \text{ g.L}^{-1}$  peptone,  $4 \text{ g.L}^{-1}$  of  $\text{Na}_2\text{HPO}_4$ , and  $3.5 \text{ g.L}^{-1}$  of succinic acid. The volume was distributed in previously autoclaved borosilicate glass bottles at  $121^\circ\text{C}$  for 15



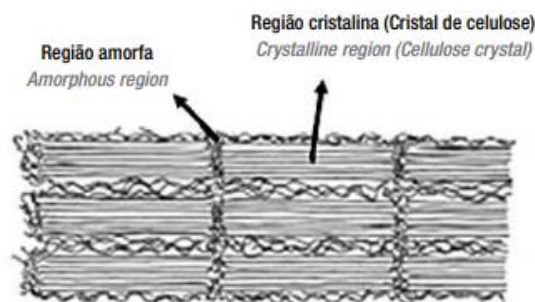
minutes. For incubation, 5mL of *Gluconacetobacter xylinus* was pipetted for Hestrin and Schramm (HS) medium for 48h under static conditions at 30°C. After obtaining the membrane, purification was immersed in a NaOH solution (0.1 mol.L<sup>-1</sup>), under heating at 80°C for 30 minutes. The process was repeated until the pH reached around 7.

## RESULTS

### Bacterial Cellulose Structure

Bacterial cellulose is characterized by presenting a structure in the form of a three-dimensional network, where the chains are grouped through connections of hydrogen bridges forming the microfibrils, which aggregate to form the cellulose fibrils and are then ordered to form the cell wall of the fiber.<sup>20</sup> The bonds involved in the composition of the cellulose structure are: intramolecular, which occur between the hydroxyl groups of the same chain conferring a rigidity of cellulose, and the intermolecular bonds that occur between adjacent hydroxyl chain groups, and are responsible for the formation of the supramolecular structure acquiring great tensile strength.<sup>21</sup>

The microfibrils, which make up the fibers, consist of two distinct regions. One of these regions is formed by highly ordered cellulose chains with a dimension ranging from 1-100nm, known as crystalline regions and the other region consists of disordered chains, known as amorphous regions.<sup>22</sup> According to Jesus Silva and D'almeida<sup>22</sup>, the formation of crystalline regions is related to the polymerization and crystallization of cellulose commanded by enzymatic processes, but the emergence of amorphous regions is related to the malformation of crystalline structures, known as regions in which crystallization occurred with the defect.

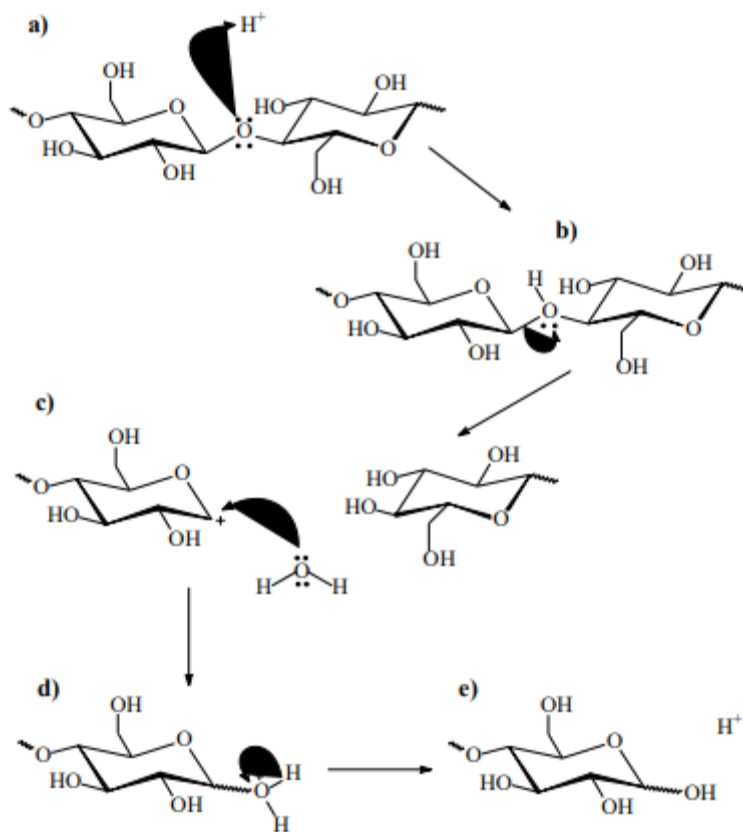


**Figure 1.** Cellulose morphology. Source: Jesus Silva and D'Almeida.<sup>21</sup>

The BC presents a degree of crystallinity between 60 and 90%, considered high, compared with that of plant cellulose which is 40% to 60%. The proportion between the crystalline and amorphous regions, which determines the degree of crystallinity and dimensional characteristics of the crystalline domains of BC varies according to their origin and pretreatment.<sup>23</sup>

Cellulose nanocrystals (CNCs) are crystalline domains of cellulosic fibers obtained through acid hydrolysis. The crystalline regions of the cellulose structure are insoluble under the conditions used because cellulose has a high molecular organization in its nanostructure.<sup>22</sup> On the other hand, the natural disorder of cellulose in the amorphous regions makes acid accessible and, therefore, breaks the cellulose chains, because in this region it presents less stereochemical impediment and lowers cohesive forces of hydrogen bonds and Van der Waals than in the crystalline regions.<sup>21</sup>

Acid hydrolysis begins with the protonation of glycoside oxygen (Figure 4.a), followed by the destruction of the C<sub>1</sub>-O bond (Figure 4.b). The carcarbocation generated in step b can be stabilized by the repositioning of the existing electron pair in the oxygen of the glycoside ring that is adjacent to carbon 1. The nucleophilic attack of water in C<sub>1</sub> (Figure 4.c) through acid regeneration (Figure 4.d and 4.e) terminates the depolymerization phase (if it occurs within the cellulose chain, new extremities are produced) or glucose production (when hydrolysis occurs directly at the extremities).<sup>24</sup> The result of this process is the obtaining of cellulose nanocrystals, where their sizes depend on hydrolysis conditions, such as concentration and type of acid, time, temperature, and cellulose source.<sup>25</sup>



**Figure 2.** Mechanism of cellulose hydrolysis in the acid medium for CNCs formation. Source: Ogeda and Petri.<sup>25</sup>

Table 1 shows the length and width of cellulose nanocrystals from different cellulose sources and hydrolysis conditions. It can be observed that CNCs obtained from bacterial cellulose is generally larger in dimensions than those derived from lignocellulosic material. This is because bacterial cellulose is highly crystalline, so there is a small portion of amorphous regions, resulting in larger nanocrystals.<sup>26</sup>

**Table 1.** Dimensions of CNCs prepared from different sources.

Source	Length (nm)	Diameter (nm)	Reference
Bacterial Cellulose	200-1000	16-50	Vasconcelos <i>et al.</i> <sup>27</sup>
Cotton	100-150	5-10	Araki <i>et al.</i> <sup>28</sup>
Wheat straw	150-300	4-5	Dufresne <i>et al.</i> <sup>29</sup>
Rice straw	117	8-14	Ping e hsieh <sup>30</sup>
Coconut fiber	172	8	Nascimento <i>et al.</i> <sup>31</sup>
Wood	120-170	4,5-7,5	De Mesquita <i>et al.</i> <sup>32</sup>

The main acids used in the isolation of CNCs are sulfuric acid and hydrochloric acid. The isolation of cellulose crystals with sulfuric acid was first reported by Ranby in 1951, when highly stable colloidal suspensions were produced, as the sulphonation process produces a large number of negative charges on the surface of cellulose nanocrystals facilitating dispersion in water. On the other hand, a large number of sulfated groups on the cellulose surface catalyzes the decomposition reaction of nanocrystals, leading to a decrease in the temperature of thermal degradation. Despite the low load density and, therefore, suspension instability, hydrolysis with hydrochloric acid will still produce nanocrystals with greater thermal stability due to the absence of sulfated groups.<sup>27</sup>

However, other acids can also be used for the extraction of cellulose nanocrystals, arranged in Table 2 with their hydrolysis conditions.

**Table 2.** Research for the extraction of cellulose nanocrystals

Source	Type of Acid	Hydrolysis conditions	Reference
Bacterial Cellulose	H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> 50%, 60% e 65% (m/m)	60 minutes, 45°C	Vasconcelos <i>et al.</i> <sup>27</sup>
Cotton	HBr 2,5 M	180 minutes, 100°C	Sadeghifar <i>et al.</i> <sup>33</sup>
Cotton	H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub> 85% (V/O)	90 minutes, 100°C	Espinosa <i>et al.</i> <sup>34</sup>
Bamboo	HNO <sub>3</sub> 30%+ KClO <sub>4</sub> 10% (m/m)	24 hours, 50°C	Liu <i>et al.</i> <sup>35</sup>

Acid hydrolysis using hydrochloric acid is less common to hydrolysis with sulfuric acid. However, studies have been developed in obtaining nanocrystals through combined acids (sulfuric and hydrochloric), producing more NCC with more stable suspensions and with more thermal resistance.<sup>31,32,36</sup>

Studies conducted by Teixeira *et al.*<sup>37</sup> applied the process of hydrolysis of combined acids (1:1; sulfuric acid: hydrochloric acid) in nanofibers of commercial cotton. The results showed that the morphology and crystallinity of the nanofibers are similar, regardless of the acid used in hydrolysis. On the other hand, the main difference found was that the incorporation of HCl into H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> proved to be effective in increasing the thermal stability of cellulose nanofibers compared to those applied only with H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>.<sup>35</sup>

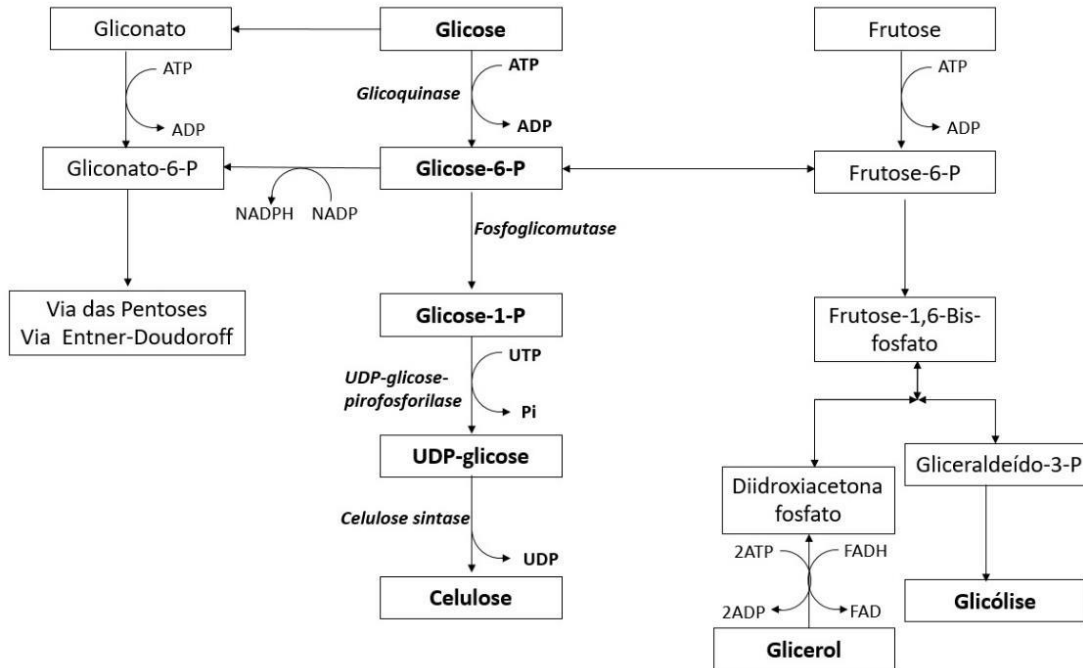
### Bacterial Cellulose Biosynthesis

The structural properties of BC are influenced by the nanostructure of the material, a property directly related to the type of bacteria used in fermentation. Among all the microorganisms found in the literature capable of synthesizing BC, the most used is *Gluconacetobacter xylinus*, which has been considered a model microorganism for biosynthesis studies, due to its ability to produce cellulose in the presence of different sources of carbon and nitrogen.<sup>33-38</sup>

The synthesis of CB from *Gluconacetobacter xylinus* consists of a process that involves three main steps. The first step concerns the polymerization of glucose residues in a 1→4β glycan

chain, followed by the step that corresponds to the extracellular secretion of linear chains, and finally refers to the crystallization of glucan chains using hydrogen bonds and Van der Waals forces.<sup>34, 39, 40</sup>

The biosynthesis process of BC involves several biochemical reactions, when glucose is used as a carbon source, the formation of cellulose chains occurs between the outer membranes and cytoplasmic membranes of the cell by the biocatalytic action of enzymatic complexes of cellulose synthesis from phosphoglucose uridine (UDPGlc).<sup>41</sup> The best known biochemical pathway is the polymerization of glucose in cellulose, plus other substrates can also produce bacterial cellulose, as shown in Figure 3. In this way, some specific enzymes are necessary to first convert glucose into ATP-dependent glucose-6-phosphate by the action of the enzyme glucokinase. In the second step, the enzyme phosphoglucomutase converts glucose-6-phosphate into glucose-1-phosphate through an isomerization reaction. After the conversion reaction, glucose-1-phosphate undergoes a reaction by enzyme-glucose pyrophosphorylase, responsible for the synthesis of uridine diphosphoglucose (UDPGlc). By using uridine triphosphate molecules, and releasing pyrophosphate molecules, UDP-glucose will be used as a substrate by the cellulose synthase enzyme to initiate the glucose polymerization reaction for bacterial cellulose production.<sup>42</sup> Lee *et al.*<sup>38</sup> explain that this polymerization reaction process is not yet fully understood by researchers, being a possible hypothesis.



**Figure 3.** Biochemical pathways for the production of bacterial cellulose. Source: Adapted from Recouvreux.<sup>42</sup>

BC is regulated by the cellulose synthase enzyme, which is responsible for catalyzing the polymerization reaction of glucose molecules, which is activated by the cyclic adenosine molecule monophosphate (c-di-GMP), the c-di-GMP molecule is synthesized by the enzyme diguanylate cyclase from two molecules of guanosine triphosphate (GTP), c-di-GMP concentration is controlled by the phosphodiesterase enzyme that degrades the c-di-GMP molecule producing bacterial cellulose.<sup>43</sup>

BC begins to be formed when the bacterium originates chains that aggregate generating subfibrils with widths of approximately 1.5 nm, which are grouped with others forming an elemental fibrilla with a diameter of approximately 3-3.5nm. The fibrils join through hydrogen bridges forming a ribbon, ultra-thin structure reaching lengths between 1 and 9 µm, the name given to CB fibrils.<sup>23</sup>

## DISCUSSION

In the production of BC, the most used culture medium is that described by Hestrin and Schramm<sup>44</sup>, which is a synthetic medium that uses glucose as a carbon source, and as a source of peptone nitrogen and yeast stratum. The fermentative medium for BC production is usually composed of 2% m/v of glucose, 0.5% peptone, 0.5% m/v of yeast extract, 0.27% m/v of disodium phosphate ( $\text{Na}_2\text{HPO}_4$ ) and 0.115% m/v of citric acid, with pH of approximately 6 (six).<sup>45</sup> However, other alternative sources have been studied and evaluated in an attempt to obtain better yields.

Bacterial cellulose can be synthesized by static and agitated conditions.<sup>17</sup> The choice of cultivation condition will depend on the applicability of the formed product, since some properties of BC may differ. In general, they are usually grown statically, using aerobic fermentation, produced at the air-liquid interface, which is incubated for several days until a membrane is formed on the surface, which increases in thickness with increasing cultivation time. Traditionally the crop is grown in shallow jars for a period of 5 to 20 days until the appearance of a film on the surface of the bottle. The film is then removed, and washed, usually with sodium hydroxide (NaOH) in a water bath at 80°C for the removal of bacteria, known as the purification process of BC.<sup>42</sup> Borzani and Souza<sup>46</sup> in their studies contacted a thin layer of cellulose that formed parallel to the surface of the culture medium, which confirmed what Fontana<sup>47</sup> described, because for this a new layer always appeared at the liquid-air interface and that nutrients diffuse through the innermost BC layer to the most active bacterial cells in synthesis.

The advantages of production in static cultivation are the low cost and because it is a simple method although it presents some disadvantages that do not lead to the process, such as control and standardization of the inoculum, monitoring the temperature and pH, and determination of the amount of oxygen dissolved in the medium.<sup>47,44,48</sup>

The BC produced under agitated conditions, with bioreactors or bottles with agitation, is presented in the form of small granules instead of film, which directly influences the yield of BC production, by the fact of providing greater aeration.<sup>13</sup> There are reports in the literature that, in agitated crops, there are formations of spontaneous mutations, where cellulose-producing strains



are transferred to spontaneously agitated cultures, they become non-producing bacteria, resulting in the reduction of the degree of polymerization and the degree of crystalline and mechanical resistance compared with BC produced under static conditions.<sup>44,49,50</sup>

Several factors influence the production and properties of BC from the choice of microorganism used to the temperature, pH, dissolved oxygen in the medium, and composition of the medium because they cause microorganisms to respond quickly to induction or inhibition of protein activity and changes in cell morphology. According to Ruka *et al.*<sup>51</sup>, determining the ideal environment and growth conditions to enable high levels of pulp production will add the characteristics needed to extend the technology to industrial environments.

Temperature is an important parameter for conducting the BC production process. Son *et al.*<sup>52</sup> analyzed the influence of temperature in the range of 20°C to 40°C on the yield of BC produced in the Hestrin-Schram medium (HS) and verified that the ideal temperature would be 30°C, concluding that the temperature affects not only productivity but also morphology and crystalline structure of the final biopolymer. In addition, they found that by decreasing the culture temperature from 30°C to 25°C, there was no significant decrease in BC yield compared to the variation from 35°C to 30°C. Identical results were found by Erbas *et al.*<sup>53</sup>, Zeng *et al.*<sup>54</sup>, Pecoraro *et al.*<sup>23</sup>, and Hungund and Gupta.<sup>50</sup> Already Hirai *et al.*<sup>55</sup>, showed that the CB produced by the bacterium *A. hansenii* ATCC 23769 in HS medium at 40°C and formed by cellulose bands II, while the BC produced at 28°C led to a morphology formed by cellulose strips I.

Media with different initial pH conditions tend to have different responses regarding the production of CB, because the variation of pH in fermentation processes can cause an increase or decrease in sugar consumption, consequently affecting the cell division and the number of nutrients available in the medium. The optimum pH for bacterial cellulose production is dependent on the microorganism that will be used, varying the pH from 4 to 7.<sup>56</sup> According to studies conducted by Son *et al.*<sup>52</sup>, The production of BC was observed in the pH range of the medium from 4.5 to 7.5, leading to a higher production of BC at pH 6.5. Similar results were found by Yassine *et al.*<sup>57</sup> Already Panesar *et al.*<sup>56</sup> tested an industrial production of BC for biomedical applications, at pH between 4 and 4.5, to avoid contamination of the medium during cultivation. It is important to emphasize that the use of buffer is interesting to avoid the fall of

the pH during the fermentation process being necessary to obtain a higher yield.<sup>40</sup> This decrease in pH occurs mainly when glucose is used as a carbon source, and it is important to control it within the optimal pH value range.<sup>58,59</sup>

This parameter is essential to analyze cell metabolism, which interferes in increasing the yield of BC production, as well as in the final quality of biopolymer. It is worth mentioning that high concentrations of dissolved oxygen can increase the rates of gluconic acid, which confers cellular infeasibility when synthesizing cellulose.<sup>50,60</sup>

BC can be grown both in a static and agitated medium. In an agitated medium, BC forms granules and still makes the medium viscous with the presence of cellulose in gelatinous structures. In a static medium, the biomembrane remains at the liquid-air interface forming a film, which its thickness increases according to the time of cultivation.<sup>53</sup>

Yan *et al.*<sup>61</sup> studied that the BC produced in an agitated medium has lower mechanical resistance when compared to that produced in a static medium.

Regarding the composition of the culture medium, studies have been reported on the ability of bacteria of the *genus Gluconacetobacter* to metabolize various carbon sources and consequently influence the production yield of BC, resulting from the composition, so the number of sugars available in the substrate becomes important for the metabolism of bacteria.<sup>62-63</sup>

According to reports in the literature, several sources of carbon (monosaccharides, disaccharides, oligosaccharides), alcohols (ethanol, glycerol, and ethylene glycol), organic acids (citrate, succinate, and glycolate), and other compounds have already been studied to maximize bacterial cellulose production.<sup>49</sup>

As already mentioned, the main BC production medium was reported by Hestrin-Schram<sup>44</sup>, in which glucose and citric acid were used as a carbon source and yeast and peptone extract as nitrogen source. Such research to discover other low-cost and carbon sources that serve as a substrate for *G.xylinum* is very important for the viability of large-scale production of bacterial cellulose, which allows the substitution of plant cellulose by bacterial biopolymer.<sup>64,65</sup> However, some studies suggest the use of cheaper carbon sources, such as glycerol, maltose, xylose,

mannitol, and by-products from the agroindustry, to reduce production costs and increase yield, as 65% of the value of commercial pulp is related to the cost of production.<sup>40,64</sup>

Studies conducted by Jonas and Farah<sup>66</sup> reported the occurrence of an increase in CB production using D-arabitol of 6.2 times and with D-mannitol of 3.8 times compared to glucose. Castro *et al.*<sup>67</sup> verified the production of BC by *Gluconacetobacter*, using other sugars (maltose, cellobiose, xylose, sucrose, and galactose) in place of glucose in HS medium and observed that such sources did not provide higher production. In contrast, Hong and Chi<sup>68</sup> and Yodswan *et al.*<sup>69</sup> Using the Strain *G. xylinus*, considered that mannitol and fructose are the best carbon sources for BC production. Keshk and Sameshima<sup>70</sup> and Jung *et al.*<sup>49</sup>, obtained a significant production only with the use of glucose, fructose, and glycerol, as carbon sources. Ramana *et al.*<sup>71</sup> reported that among the substrates of carbon, lactose, galactose, citric acid, starch, and maltose produced less than 2.0 g.L<sup>-1</sup> of cellulose.

Mikkelsen *et al.*<sup>63</sup> utilized sucrose as a carbon source, which presented a low yield in the first 46 hours of fermentation, after 96 hours high yields were observed. But Zhong *et al.*<sup>71</sup>, used six sources of carbon, glucose, mannitol, glycerol, fructose, sucrose, and galactose; and observed that more than 96 h of the use of glycerol and glucose provided better production yields compared to the other sources, without presenting differences in structural characterization. Kesh and Sameshima<sup>73</sup> evaluated cellulose production by *G. xylinus* from 18 carbon sources, among which only fructose and glycerol presented cellulose yields close to glucose, and glycerol was 55% higher.

Some authors report that the BC crystalline index is affected by the change in nitrogen and carbon source.<sup>51,63,70</sup> Jung *et al.*<sup>49</sup> also state, in their studies, that the amount of sugar can influence the osmotic effect, because the high concentration of sugars can promote a lower level of water activity by decreasing the metabolic rate and, consequently, the synthesis of BC. On the other hand, yeast extract is the most complete nitrogen source for *Gluconacetobacter species*, as it provides an adequate amount of nitrogen and growth factors for the strains.

In addition to the main sources of carbon, nitrogen, and phosphorus, culture media should contain elements in a smaller amount, called Trace elements, such as Na<sup>+</sup>, K<sup>+</sup>, Ca<sup>2+</sup>, Mg<sup>2+</sup>, Fe<sup>2+</sup>,

and among others, which play an important role as enzymatic cofactors in polysaccharide production pathways.<sup>63,70</sup>

Therefore, determining an ideal environment and the right growth conditions to enable high levels of pulp production will add the characteristics needed to extend the technology to the industrial field.<sup>51</sup>

### **Bacterial Cellulose in The Generation of Adsorbent Matrices**

Due to the advance in technology and the increase in the life expectancy of the population, industrial and agricultural fields have advanced a lot in recent years, as well as family activities, resulting in the insertion of various pollutants in the environment, especially in the soil and in the aquatic environment. Among these pollutants are organic substances, inorganic anions, metal ions, and micropollutants. To eliminate this large number of pollutants, and due to their different structural matrices; various techniques are adopted.<sup>74</sup> In the last 10 years, some researchers have pointed out that the adsorption technique has great potential to remove pollutants, indicating new research using pure or modified cellulose (composites) with the adsorbent matrix.

In this context, much scientific research has focused on the development of the ideal engineering for the production of BC-based products.<sup>72</sup> However, because it has a porous nature due to the distribution of the fibers in its composition, it makes it possible to add several materials to the cellulosic matrix. Thus, the composites are composed of two distinct materials, the matrix and the reinforcing material, where the matrix acts as a support to the reinforcing material, thus providing even more significant physical-chemical and biological properties to the biopolymer.<sup>75</sup>

BC modifications can be obtained based on the type of technique. Studies have shown that several compounds have been successfully added *to BC through in situ modifications*, when insertion occurs during the cultivation of the bacterium, the compound is diffused from the culture medium to the fibers. On the other hand, the *ex situ method* consists of the addition of the compound after the formation of purified BC.<sup>15,76</sup>

The *ex situ method* can occur by chemical or physical processes. The high number of hydroxyl functional groups present in the polymer chain allows a wide variety of chemical modifications by esterification reactions, esterification, halogenation, oxidation, chemical treatment, and

silylation.<sup>77-78</sup> On the other hand, chemical modifications include coating and adsorption processes.<sup>75-76,79-80</sup>

The adsorption process is a wastewater treatment method that has stood out because it presents an effective removal of organic and inorganic compounds. In turn, it is a technique that refers to a process where some of the chemical species of the fluid phase (adsorbate) adhere to the surface of the solid phase of a material (adsorbent), which can also be classified according to the type of adsorption, being them, physical (physisorption) or chemical (chemisorption).<sup>81</sup>

According to Miyashiro *et al.*<sup>82</sup>, physical adsorption (physisorption) is characterized by van der Waals interactions, hydrogen bonds and induced dipole-dipole interactions, in which there is the addition of a monolayer of the compound that overlaps the adsorbent surface, being a reversible phenomenon, a relationship of intermolecular forces and weak attraction between the surface of the material and the adsorbate. The authors also note that chemical adsorption (chemisorption) is characterized by covalent or ionic interactions, being an irreversible process, because it is difficult to remove chemically absorbed species.

Cellulose-based products can be used in various separation technologies, namely in the commercial area, food and beverages, pharmaceuticals, scientific research, wastewater treatments, and others. In the treatment of contaminated environments, ethers and cellulose esters are the most used today, as they can perform all types of filtrations, due to their good adsorption capacity and toxic metals and other pollutants.<sup>83</sup> Pure cellulose has adsorption properties, but when chemically modified it has a higher adsorption capacity for various contaminants.<sup>74</sup>

### **Applications of Nanomaterials Containing CB Matrices for Adsorptive Processes in Contaminated Environments**

In the literature, a diversity of compounds can be found that can be added to the bacterial cellulosic matrix to evaluate changes in morphology, yields, and crystallines and produce different composites that are applied in adsorptive processes for the removal of contaminants.

Stoica-Guzun *et al.*<sup>84</sup> synthesized a composite of bacterial-magnetite cellulose, in which the experimental data obtained proved that the nanocomposite can be used to remove chromium ions (IV) from wastewater at pH 4, with a minimal dissolution of magnetite during operation.

Zhuang and Wang<sup>85</sup> studied BC modified with nickel hexacyanoferrate (Ni-HCF) and found that the maximum adsorption capacity of Cesium ions (I) was approximately  $175.44 \text{ mg.g}^{-1}$  at pH 6, indicating an efficient adsorbent for  $\text{Cs}^+$  removal, where the mechanism is performed through ion-exchange between monovalent cations presented in the modified cellulosic network was responsible for capturing  $\text{Cs}^+$ .

Jinet *et al.*<sup>86</sup> modified bacterial cellulose with polyethyleneimine and obtained a maximum adsorption capacity of copper (II) and lead ions (II), respectively  $148 \text{ mg.g}^{-1}$  and  $141 \text{ mg.g}^{-1}$ , presenting a higher absorption compared to unmodified BC. However, the effect of pH directly affects the process of adsorption of metal ions, as they observed precipitations in the Solution of  $\text{CuSO}_4$  when the pH was higher than 5.5, as well as in the solution of  $\text{PbCl}_2$  when the pH was higher than 6.3. Thus, it was observed that Cu adsorption (II) was performed at pH 4.5 while Pb (II) reaches its capacity at pH 5.5. Kumar and Sharma<sup>87</sup>, on the other hand, developed bacterial cellulose functionalized with N-isopropylacrilamide and acrylic acid, for Ni(II), Cu(II), and Pb(II) and ion adsorption tests, in which a maximum adsorption capacity of Ni(II), Cu(II) and Pb(II) ions were verified, were  $79.78 \text{ mg.g}^{-1}$ ,  $84.67 \text{ mg.g}^{-1}$  and  $118 \text{ mg.g}^{-1}$ , respectively at pH 5.

Shen *et al.*<sup>88</sup>, in turn, synthesized the biosorbent by modifying bacterial cellulose with diethylnotamycin and verified that the best composite adsorption performance for Cu (II) and Pb (II) ions was obtained in a solution with pH 4.5, reaching its maximum adsorption capacity of Cu (II) and Pb (II) of  $63.09 \text{ mg.g}^{-1}$  and  $87.41 \text{ mg.g}^{-1}$ , respectively, providing relatively comprehensive data for the application of modified biomaterial in the removal of metal ions in wastewater. Chen *et al.*<sup>89</sup>, synthesized carboxymethyl bacterial cellulose, and verified a good adsorption performance at pH 4.5, with a maximum adsorption capacity of Cu ions (II) of  $12.53 \text{ mg.g}^{-1}$  and Pb (II) of  $60.42 \text{ mg.g}^{-1}$ .

In this way, Zhang *et al.*<sup>90</sup> synthesized hydroxypropyl cellulose xanthate and observed that at pH 5 the maximum adsorption capacity of Cu ions (II) was  $126.58 \text{ mg.g}^{-1}$ , while at pH 6 the adsorption capacity of Ni ions (II) was  $114.24 \text{ mg.g}^{-1}$ , the mechanism involved in adsorption of these ions results in ion exchange followed by complexation. The composite binds transition metal ions by forming the coordination complex in which four sulfur atoms or two sulfur atoms are associated with a divalent metal ion.

## CONCLUSION

Although plant pulp is very versatile, sustainability and environmental protection lead people to seek alternative materials. Among them, bacterial cellulose stands out, a material that presents fibers on a nanoscale, against the micrometric of plant cellulose, besides presenting excellent properties when compared to vegetable cellulose.

The present work sought to present the concept, properties, production, and chemical modifications of bacterial cellulose to the reader, as well as to bring what has been most current in research on this biopolymer applied to the process of adsorption of pollutants in contaminated environments.

Bacterial cellulose, therefore, proved to be an excellent adsorption matrix, and modified bacterial celluloses have more active sites that allow interaction with metal ions, thus being considered efficient methods of removal allowing experimental studies of these systems with environmental applications.

## REFERENCES

1. Jaishankar, M.; Tseten, T.; Anbalagan, N.; Mathew, B.B.; Beeregowda, K.N. Toxicity, mechanism and health effects of some heavy metals. *Interdisciplinary Toxicology*. 2014, 7, 60. Available at: <https://www.sciendo.com/article/10.2478/intox-2014-0009>.
2. Abouhend, A.S.; El-moselhy, K.M. Spatial and Seasonal Variations of Heavy Metals in Water and Sediments at the Northern Red Sea Coast. *American Journal of Water Resources*. 2015, 3, 73. Available at: <http://pubs.sciepub.com/ajwr/3/3/2/>.
3. Karbassi, A.R.; Tajziehchi, S.; Khoshghalb, H. Speciation of heavy metals in coastal water of Qeshm Island in the Persian Gulf. *Global Journal of Environmental Science and Management*. 2018, 4, 91. Available at: [https://www.gjesm.net/article\\_26317.html](https://www.gjesm.net/article_26317.html).
4. He, Z.; Song, H.; Cui, Y.; Zhu, W.; Du, K.; Yao, S. Porous spherical cellulose carrier modified with polyethyleneimine and its adsorption for Cr(III) and Fe(III) from aqueous solutions. *Chinese Journal of Chemical Engineering*. 2014, 22, 984. Available at: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1004954114000809?via%3Dihub>.
5. Tan, K.L.; Hameed, B.H. Insight into the adsorption kinetics models for the removal of contaminants from aqueous solutions. *Journal of the Taiwan Institute of Chemical Engineers*. 2017, 74, 25. Available at: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1876107017300378?via%3Dihub>
6. Wang, F.; Pan, Y.; Cai, P.; Guo, T.; Xiao, H. Single and binary adsorption of heavy metal ions from aqueous solutions using sugarcane cellulose-based adsorbent. *Bioresource Technology*. 2017, 241, 482. Available at: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0960852417308301?via%3Dihub>
7. Lima, L.R.; Santos, D.B.; Santos, M. V.; Barud, H.S.; Henry, M.A.; Pasquini, D.; Pecoraro, E.; Ribeiro, S.J.L. Cellulose Nanocrystals From Bacterial Cellulose. *New Chemistry*. 2015, 38, 1140. Available at: <https://www.crossref.org/iPage?doi=10.5935%2F0100-4042.20150131>

8. Cacicedo, M.L.; Castro, M.C.; Servetas, I.; Bosnea, L.; Boura, K.; Tsafrakidou, P.; Dima, A.; Terpou, A.; Koutinas, A.; Castro, G.R. Progress in bacterial cellulose matrices for biotechnological applications. *Bioresource Technology*. 2016, 213, 172. Available at: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0960852416302085?via%3Dihub>.
9. Brown, J. On an acetic ferment which forms cellulose. *Chemical Society transactions*. 1886, 49, 432.
10. Skerman, V.B.D.; McGowan, V.; Sneath, P.H.A. Approved lists of bacterial names. *International Journal of Systematic Bacteriology*. 1980, 30, 225–420. Available at: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/20806452/>.
11. Yamada, Y.; Yukphan, P.; Vu, H.T.L.L.; Muramatsu, Y.; Ochaikul, D.; Tana Supawat, S.; Nakagawa, Y. Description of *Komagataeibacter* with proposals of new combinations (Acetobacteraceae). *Gen. Microbiol.* 2013, 58, 397–404. Available at: [https://www.jstage.jst.go.jp/article/jgam/58/5/58\\_397/\\_article](https://www.jstage.jst.go.jp/article/jgam/58/5/58_397/_article).
12. M. Ul-Islam, S. Khan, MW Ullah, JK Park. Comparative study of plant and bacterial cellulose films regenerated from dissolved states. *Int. J. Biol. Macromol.* 2019, 137, 247 - 252. Available at: [https://repositorio.ufscar.br/bitstream/handle/ufscar/15483/TCC\\_CORRIGIDO\\_AMANDA\\_OK.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://repositorio.ufscar.br/bitstream/handle/ufscar/15483/TCC_CORRIGIDO_AMANDA_OK.pdf?sequence=1&isAllowed=y).
13. Donini, Í.A.N.; Salvi, D.T.B. DE; Fukumoto, F.K.; Lustrì, W.R.; Barud, H.S.; Marchetto, R.; Messaddeq, Y.; Ribeiro, S.J.L. Biosynthesis and recent advances in bacterial cellulose production. *Chemical Ecclesia*. 2010, 35, 165. Available at: <https://revista.iq.unesp.br/ojs/index.php/eclética/article/view/244>.
14. Santos, S.M.; Carbajo, J.M.; Quintana, E.; Ibarra, D.; Gomez, N.; Ladero, M.; Eugenio, M.E.; Villar, J.C. Characterization of purified bacterial cellulose focused on its use on paper restoration. *Carbohydrate Polymers*. 2015, 116, 173. Available at: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0144861714003142?via%3Dihub>.
15. Esa, F.; Tasirin, S.M.; Rahman, N.A. Overview of Bacterial Cellulose Production and Application. *Agriculture and Agricultural Science Procedia*. 2014, 2, 113. Available at: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2210784314000187?via%3Dihub>
16. Credou, J.; Berthelot, T. Cellulose: From biocompatible to bioactive material. *Journal of Materials Chemistry B*. 2014, 2, 4767. Available at: <https://pubs.rsc.org/en/content/articlelanding/2014/TB/C4TB00431K>.
17. Feng, Q.M.; Feng, B.; Lu, Y.P. Influence of copper ions and calcium ions on adsorption of CMC on chlorite. *Transactions of Nonferrous Metals Society of China (English Edition)*. 2013, 23, 237. Available at: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S1003632613624516>.
18. Lu, M.; Guan, X.H.; Wei, D.Z. Removing Cd<sup>2+</sup> by Composite Adsorbent Nano-Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>/Bacterial Cellulose. *Chemical Research in Chinese Universities*. 2011, 27, 1031. Available at: [https://www.researchgate.net/publication/297278950\\_Removing\\_Cd2\\_by\\_Composite\\_Adsorbent\\_Nano-Fe3O4Bacterial\\_Cellulose](https://www.researchgate.net/publication/297278950_Removing_Cd2_by_Composite_Adsorbent_Nano-Fe3O4Bacterial_Cellulose).
19. Shi, Z.; Zhang, Y.; Phillips, G. O.; Yang, G. Utilization of bacterial cellulose in food. *Food Hydrocolloids*. 2014, 35, 539–545. Available at: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0268005X13002142>.
20. Iguchi, M.; Yamanaka, S.; Budhiono, A. Bacterial cellulose - a masterpiece of nature. *J. Mater. Sci.* 2000, 35, 261-270. Available at: <https://link.springer.com/article/10.1023/A:1004775229149>.
21. David, H.; Hon, S. Cellulose: A random walk along its historical path. *Cellulose*. 1994, 1, 1, 1-25. Available at: <https://link.springer.com/article/10.1007/BF00818796>.
22. Jesus Silva, D. de; D'Almeida, M. L. O. Cellulose nanocrystals. *The Paper (Brazil)*. 2009, 70, 7, 34–52. Available at: [http://www.revistaopapel.org.br/noticia-anexos/1311883542\\_1b4f1881c01129ce934b0cb4b4ebb9ab\\_343315426.pdf](http://www.revistaopapel.org.br/noticia-anexos/1311883542_1b4f1881c01129ce934b0cb4b4ebb9ab_343315426.pdf).
23. Pecoraro, É.; Manzani, D.; Messaddeq, Y.; Ribeiro, S. J. L. Bacterial Cellulose from *Glucanacetobacter xylinus*: Preparation, Properties, and Applications. In: M. N. Belgacem; A. Gandini (Eds.); *Monomers, Polymers, and Composites from Renewable Resources*. 1 ed., Amsterdam: Elsevier Ltd, 2008.
24. Ogeda, T. L.; Petri, D.F.; They're the other. Enzymatic hydrolysis of biomass. *New chemistry*. 2010, São Paulo, 33, 7, 1549–1558. Available at: <http://static.sites.s bq.org.br/quimicanova.s bq.org.br/pdf/AR2019-0497.pdf>.



25. Klemm, D.; Kramer, F.; Moritz, S.; Lindström, T.; Ankerfors, M.; Gray, D.; Dorris, A. Nanocelluloses: A new family of nature-based materials. *Angewandte Chemie International Edition*. 2011, 50, 5438-5466. Available at: <http://static.sites.s bq.org.br/quimicanova.s bq.org.br/pdf/AR2019-0497.pdf>.
26. Brinchi, L. *et al.* Production of nanocrystalline cellulose from lignocellulosic biomass: Technology and applications. *Carbohydrate Polymers*. 2013, 94, 1, 154-169. Available at: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0144861713000490?via%3Dihub>
27. Martínez-Sanz, M., Lopez-Rubio, A., & Lagaron, J. M. Optimization of the nanofabrication by acid hydrolysis of bacterial cellulose nanowhiskers. *Carbohydrate Polymers*. 2011, 85(1), 228–236. Available at: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0144861711001263?via%3Dihub>
28. Sadeghifar, Hasan & Filpponen, Ilari & Clarke, Sarah & Brougham, Dermot & Argyropoulos, Dimitris. Production of cellulose nanocrystals using hydrobromic acid and click reactions on their surface. *Journal of Materials Science*. 2011. 46. Available at: <https://link.springer.com/article/10.1007/s10853-011-5696-0>.
29. Espinosa, Sandra Camarero, *et al.* Isolation of Thermally Stable Cellulose Nanocrystals by Phosphoric Acid Hydrolysis. *Biomacromolecules*. 2013, 14, 4, 1223-1230. Available at: <https://pubs.acs.org/doi/10.1021/bm400219u>.
30. Liu, Dagang, *et al.* Starch composites reinforced by bamboo cellulosic crystals. *Bioresource Technology*. 2010, 101, 7, 2529-2536. Available at: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0960852409015624>.
31. Rebouillat, Serge; Pla, Fernand. State of the Art Manufacturing and Engineering of Nanocellulose: A Review of Available Data and Industrial Applications. *Journal of Biomaterials and Nanobiotechnology*. 2013, 4, 2, 165-188. Available at: <https://www.scirp.org/journal/paperinformation.aspx?paperid=29869>.
32. Wang, Neng; Ding, Enyong; Cheng, Rongshi. Thermal degradation behaviors of spherical cellulose nanocrystals with sulfate groups. *Polymer*. 2007, 48, 12, 3486-3493. Available at: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0032386107003175?via%3Dihub>
33. Ross, P.; Mayer, R.; Benziman, M. Cellulose biosynthesis, and function in bacteria. *Microbiological Reviews*. 1991, 55, 35–58. Available at: <http://www.pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/2030672/>
34. Chavez, P.J. L.; Martinez, S.Y.; Zentella, C. E.; Marván, E. Bacterial cellulose in gluconacetobacter xylinum: Biosynthesis and applications. *Redalyc*. 2004, 7(1), 18-25. Available at: <https://www.redalyc.org/pdf/432/43270103.pdf>.
35. Andrade, F.K.; Pertile, R.N.; Dourado, F.; Gama, F.M., Bacterial cellulose: properties, production, and applications. Editors: A. Lejeune, T. Deprez. *Nova Science. Publishers*. 2010, 427-458. Available at: <https://repositorium.sdum.uminho.pt/handle/1822/57017>.
36. Vasconcelos, Fittipaldi N.; Pessoa, J.; Feitosa, A.; Miguel, F.; Paulo, J.; Morais, S.; Karine, F.; Sá, M. de; Souza, M. de; Freitas, M. de. Bacterial cellulose nanocrystals produced under different hydrolysis conditions: Properties and morphological features. *Carbohydrate Polymers*. 2017, 155, 425–431. Available at: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0144861716310396?via%3Dihub>.
37. Teixeira, E.M.; Oliveira, C.R. de; Mattoso, L.H.C.; Corrêa, A.C.; Paladin, P.D. Cotton nanofibers obtained under different conditions of acid hydrolysis. *Polymers*. 2010, 20, 4, 264-268. Available at: <https://www.scielo.br/j/po/a/rppsXrcvyQKV9sjPF3C3jbm/abstract/?lang=pt>.
38. Lee, K.Y. *et al.* More than meets the eye in bacterial cellulose: Biosynthesis, bioprocessing, and applications in advanced fiber composites. *Macromolecular Bioscience*. 2014, 14(1), 10–32. Available at: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/mabi.201300298>.
39. Ha, J. H.; Shehzad, O.; Khan, S.; Lee, S. Y.; Park, J. W.; Khan, T.; Park, J. K. Production of bacterial cellulose by a static cultivation using the waste from beer culture broth. *Korean J. Chem. Eng.* 2008, 25, 4, 812-815. Available at: <https://link.springer.com/article/10.1007/s11814-008-0134-y>
40. Chawla, P. R.; Bajaj, I. B.; Survase, S. A.; Singhal, R. S. Microbial Cellulose: Fermentative Production and Applications. *Food Technol. Biotechnol.* 2009, 47, 2, 107-124. Available at: <https://hrcak.srce.hr/file/59853>.
41. Darani H. Y., Sharafi S. M., Mokarian M., Yousefi M., Sharafi S. A., Jafari R. Therapeutic effect of hydatid cyst liquid on melanoma tumor growth in mouse model. *Br. J. Med. Med.* 2016, Res. 18, 27220. Available at: <https://journaljamr.com/index.php/JAMMR/article/view/10642>.




42. Recouvreux. Development of New Biomaterials Based on Bacterial Cellulose for Biomedical and Tissue Engineering Applications. Doctoral thesis in Chemical Engineering. *Federal University of Santa Catarina*. 2008, v. Single, p. 145, 2008. Available at: <https://repositorio.ufsc.br/xmlui/handle/123456789/91189>.
43. Lustri, W.R. et al. Microbial Cellulose — Biosynthesis Mechanisms and Medical Applications. In: *Cellulose-Fundamental Aspects and Current Trends*. 2015, 133 -157. Disponível em: <https://www.intechopen.com/chapters/49485>.
44. Hestrin, S.; Schramm, M. *The Biochemical journal*. 1954, 58, 345.
45. Carreño Pineda, L. D.; Caicedo Mesa, L. A. C. M.; Martínez Riascos, C. A. Fermentation Techniques and Applications of Bacterial Cellulose: a Review. *Ingeniería y Ciencia*. 2012, 8, 16, 307–335. Available at: <https://orcid.org/0000-0002-7724-6565>.
46. Borzani, W. & de Souza, S.J., 1995. Mechanism of the film thickness increasing during the bacterial production of cellulose on non-agitated liquid media. *Biotechnology Letters*. 1995, 17(11), 1271–1272. Available at: <https://link.springer.com/article/10.1007/BF00128400>.
47. Fontana, J.D. et al. Acetobacter cellulose pellicle as a temporary skin substitute. *Applied Biochemistry and Biotechnology*. 1990, 24–25(1), 253–264. Available at: <https://link.springer.com/article/10.1007/BF02920250>.
48. Bielecki, S; Krystynowicz, A.; Turkiewicz, M.; Kalinowska, H. Bacterial Cellulose. *Biopolymers Online*. 2005. Available at: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/3527600035.bpol5003>.
49. Jung, H. I. Jeong, J. H.; Lee, O.M.; Park, G.T.; Kim, K.K.; Park, H.C.; Lee, S.M.; Kim, Y.G.; Son, H.J. Influence of glycerol on production and structural-physical properties of cellulose from Acetobacter sp V6 cultured in shake flasks. *Bioresour. Technol.* 2010, 101, 10, 3602-3608. Available at: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0960852409018094>.
50. Hungund, B. S.; Gupta, S. Improved production of bacterial cellulose from Gluconacetobacter persimmonis GH-2. *J. Micro. Bioch. Tech.* 2010, 2, 127-133. Available at: <https://www.omicsonline.org/ArchiveJMBT/2010/September/03/JMBT-02-127.php>.
51. Ruka, D. R.; Simon, G. P.; Dean, K. M. Altering the growth conditions of Gluconacetobacter xylinus to maximize the yield of bacterial cellulose. *Carbohydr.Polymer*. 2012, 89, 2, 613-622. Available at: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S014486171200286X?via%3Dihub>
52. Son, H. J.; Heo, M.S.; Kim, Y.G.; Lee, S.J. Optimization of fermentation conditions for the production of bacterial cellulose by a newly isolated Acetobacter. *Biotechnol. Appl. Biochem.* 2001, 33, 1, 1-5. Available at: <https://iubmb.onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1042/BA20000065>.
53. Erbas, K. E.; Kiziltas, A.; Gardner, D. J. Synthesis of bacterial cellulose using hot water extracted wood sugars. *Carbohydrates polymers*. 2015, 8, 124-131. Available at: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0144861715000673?via%3Dihub>.
54. Zeng, W.; Small, D.P.; Wan, W. Statistical optimization of culture conditions for bacterial cellulose production by Acetobacter xylinum BPR 2001 from maple syrup. *Carbohydr Polym*. 2011, 85, 506–513. Available at: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0144861711001524>.
55. Hirai, A.; Tsuji, M.; Horii, F. Culture conditions producing structure entities composed of Cellulose I and II in bacterial cellulose. *Cellulose*. 1997, 4, 239–245. Available at: <https://link.springer.com/article/10.1023/A:1018439907396>.
56. Panesar, P. S.; Chavan, Y.; Chopra, H. K.; Kennedy, J. F. Production of microbial cellulose: Response surface methodology approach. *Carbohydrate Polymers*. 2012, 87, 1. Available at: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0144861711006631>.
57. Yassine, F., Bassil, N., Flouty, R., Chokr, A., Samrani, A. E., Boiteux, G., And Tahchi, M. E. Culture medium pH influence on Gluconacetobacter physiology: Cellulose production rate and yield enhancement in presence of multiple carbon sources. *Carbohydrate Polymers*. 2016. Available at: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0144861716300431>.
58. Masaoka, S.; Ohe, T.; Sakota, N. Production of cellulose from glucose by acetobacter- xylinum. *J. Ferment. Bioeng*. 1993, 75, 1, 18- 22. Available at: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/0922338X93901714>.

59. Kongruang, S. Bacterial cellulose production by *Acetobacter xylinum* strains from agricultural waste products. *Appl. Biochem. Biotechnol.* 2008, 148, 1-3, 245-256. Available at:<https://link.springer.com/article/10.1007/s12010-007-8119-6>.
60. Shirai, A. *et al.* Biosynthesis of a novel polysaccharide by *Acetobacter xylinum*. *Int J Biol Macromol.* 1994, 16, 6, 297–300. Available at:<https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/0141813094900590>.
61. Yan, Z., Chen, S., Wang, H., Wang, B., Jiang, J., 2008. Biosynthesis of Bacterialcellulose/Multi-Walled Carbon Nanotubes in Agitated Culture. *Carbohydrate Polymers.* 2008, 74, 659–665. Available at:<https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0144861708001975>.
62. Ramana, K.; Tomar, A.; Singh, L. Effect of various carbon and nitrogen sources on cellulose synthesis by *Acetobacter xylinum*. *World J. Microbiol. Biotechnol.* 2000, 16, 3, 245-248. Available at:<https://link.springer.com/article/10.1023/A:1008958014270>.
63. Mikkelsen, D.; Flanagan, B.M.; Dykes, G.A; Gidley, M.J. Influence of different carbon sources on bacterial cellulose production by *Gluconacetobacter xylinus* strain ATCC 53524. *J. Appl Microbiol.* 2009; 107, 576-583. Available at: <https://sfamjournals.onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/j.1365-2672.2009.04226.x>.
64. Tsouko, E.; Kourmentza, C.; Ladakis, D.; Kopsahelis, N.; Mandala, I.; Papanikolaou, S.; Paloukis, F.; Alves, V.; Koutinas, A. Bacterial cellulose production from industrial waste and by-product streams. *International Journal of Molecular Sciences.* 2015, 16, 7, 14832–14849. Available at:<https://www.mdpi.com/1422-0067/16/7/14832>.
65. Jozala, A. F.; Pértile, R. A.; Santos, C. A.; Carvalho Santos-Ebinuma, V.; Seckler, M. M.; Gama, F. M.; Pessoa, A. JR. Bacterial cellulose production by *Gluconacetobacter xylinus* by employing alternative culture media. *Applied microbiology and biotechnology.* 2015, Berlin, 99, 3, 1181-1190. Available at:<https://link.springer.com/article/10.1007/s00253-014-6232-3>.
66. Jonas, R.; Farah, L. F. Production and application of microbial cellulose. *Polymer Degradation and Stability.* 1998, 59, 101-106. Available at:<https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0141391097001973>.
67. Castro, C.; Zuluaga, R.; Putaux, J. L.; Gañán, P. F. Structural characterization of bacterial cellulose produced by *Gluconacetobacterswingsii* sp. from Colombian agroindustrial wastes. *Carbohydrate Polymers.* 2011, 84, 1, 96–102. Available at:<https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0144861710008854>.
68. Hong, F., Qiu, K. An alternative carbon source from konjac powder for enhancing the production of bacterial cellulose in static cultures by a model strain *Acetobacter aceti* subsp. *xylinus* ATCC 23770. *Carbohydrate Polymers.* 2008, 72, 545–549. Available at:<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0144861707004936?via%3Dihub>.
69. Yodswan, N.; Owatworakit, A.; Ngaokla, A.; Tawichai, N.; Soykeabkaew, N. Effect of carbon and nitrogen sources on bacterial cellulose production for bionanocomposite materials. *1st Mae FahLuang University International Conference.* 2012. Available at:[https://mfuic2012.mfu.ac.th/electronic\\_proceeding/Documents/00\\_PDF/P-SC-B/P-SC-B-20%20Nutthawut%20Yodswan%20\(Should%20change%20font%20in%20figure\).pdf](https://mfuic2012.mfu.ac.th/electronic_proceeding/Documents/00_PDF/P-SC-B/P-SC-B-20%20Nutthawut%20Yodswan%20(Should%20change%20font%20in%20figure).pdf).
70. Keshk, S. M., Sameshima, K. Influence of Lignosulfonate on Crystal Structure and Productivity of Bacterial Cellulose in a Static Culture. *Enzyme Microbiology Technology.* 2006, 40, 4-8. Available at:<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0141022906004066>.
71. Zhong, C.; Zhang, G.C.; Liu, M.; Zheng, X.T.; Han, P.P.; Jia, S.R. Metabolic flux analysis of *Gluconacetobacter xylinus* for bacterial cellulose production. *Applied Microbiology and Biotechnology.* 2013, 97, 6189–6199. Available at:<https://link.springer.com/article/10.1007/s00253-013-4908-8>.
72. Gallegos, A.M.A.; Carrera, S.H.; Parra, R.; Keshavarz, T.; IQBAL, H.M.N. Bacterial cellulose: A sustainable source to develop value-added products - A review. *BioResources.*2016, 11, 5641–5655. Available at:<https://bioresources.cnr.ncsu.edu/resources/bacterial-cellulose-a-sustainable-source-to-develop-value-added-products-a-review-biores/>.
73. Keshk, S.; Sameshima, K. Evaluation of different carbon sources for bacterial cellulose production. *Afr. J. Biotechnol.* 2005, 4, 6, 478-482. Available at:<https://www.ajol.info/index.php/ajb/article/view/15124/91513>.

74. Hokkanen S.; Bhatnagar, A.; Sillanpää, M. A review on modification methods to cellulose-based adsorbents to improve adsorption capacity. *Water Research* 2016, 91, 156-173. Available at:<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0043135416300082?via%3Dihub>.
75. Shah, N.; Ul-Islam, M.; Khattak, W.A.; Park, J.K. Overview of bacterial cellulose composites: A multipurpose advanced material. *Carbohydrate Polymers* 2013, 98, 1585–1598, 2013. Available at:<https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0144861713007996>.
76. Stumpf, T. R.; Yang, X.; Zhang, J.; Cao, X. In situ and ex-situ modifications of bacterial cellulose for applications in tissue engineering. *Materials Science & Engineering*. 2016. Available at:<https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0928493116323748>.
77. Kardam, A., Raj, K., Srivastava, S., Srivastava, M.M. Nanocellulose fibers for biosorption of cadmium, nickel, and lead ions from aqueous solution. *Clean Technol. Environ. Policy*. 2014, 16 (2), 385-393. Available at:<https://link.springer.com/articland/10.1007/s10098-013-0634-2>.
78. Xie, Y., Hill, C.A.S., Xiao, Z., Militz, H., Mai, C. Silane coupling agents used for natural fiber/polymer composites: a review. *Compos. Part A Appl. Sci. Manuf.* 2010, 41 (7), 806-819. Available at:<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1359835X10000850?via%3Dihub>.
79. Li, J.; Cha, R.; Mou, K.; Zhao, X.; Long, K.; Luo, H. Nanocellulose-Based Antibacterial Materials. *Advanced Healthcare Materials*. 2018, 1–16. Available at: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/adhm.201800334>.
80. Oréfice, R. L.; Pereira, M. M.; Mansur, H. S. Biomaterials: Fundamentals & Applications. 1. Ed. [s.l.] Guanabara Koogan, 2012.
81. Gupta, V.K.; Suhas. Application of low-cost adsorbents for dye removal - A review. *Journal of Environmental Management*. 2009, 90, 2313–2342. Available at: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0301479708003290?via%3Dihub>.
82. Miyashiro, C.S.; Bonassa, G.; Schneider, L.T.; Parisotto, E.I.B.; Alves, H.J.; Teleken, J.G. Evaluation of different adsorbents for acidity reduction in residual oils. *Environmental Technology (United Kingdom)* 2019, 40, 1438–1454. Available at: <https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/09593330.2017.1422807>.
83. Amim, J.; Petri, D. F. S.; Maia, F. C. B.; & Miranda, P. B. Ultrathin cellulose ester films: Preparation, characterization and protein immobilization. *Quimica Nova* 2010, 33(10), 2064–2069. Available at: <https://www.scielo.br/j/qn/a/WypvqfgGwdkCjfdLDGfFzSN/abstract/?lang=en>.
84. Stoica-Guzun, A.; Stroescu, M.; Jinga, S.I.; Mihalache, N.; Botez, A.; Matei, C.; Berger, D.; Damian, C.M.; Ionita, V. Box-Behnken experimental design for chromium(VI) ions removal by bacterial cellulose-magnetite composites. *International Journal of Biological Macromolecules* 2016, 91, 1062–1072. Available at: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0141813016306080?via%3Dihub>.
85. Zhuang, S.; Wang, J. Removal of cesium ions using nickel hexacyanoferrates-loaded bacterial cellulose membrane as an effective adsorbent. *Journal of Molecular Liquids* 2019, 294, 111682. Available at:<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0167732219330375?via%3Dihub>
86. Jin, X.; Xiang, Z.; Liu, Q.; Chen, Y.; Lu, F. Polyethyleneimine-bacterial cellulose bioadsorbent for effective removal of copper and lead ions from aqueous solution. *Bioresource Technology* 2017, 244, 844–849. Available at:<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0960852417313779?via%3Dihub>.
87. Kumar, R.; Sharma, R.K. Synthesis and characterization of cellulose-based adsorbents for removal of Ni(II), Cu(II), and Pb(II) ions from aqueous solutions. *Reactive and Functional Polymers* 2019, 140, 82–92. Available at:<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1381514819300902?via%3Dihub>.
88. Shen, W.; Chen, S.; Shi, S.; Li, X.; Zhang, X.; Hu, W.; Wang, H. Adsorption of Cu(II) and Pb(II) onto diethylenetriamine-bacterial cellulose. *Carbohydrate Polymers* 2009, 75, 110–114. Available at:<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0144861708003020?via%3Dihub>.
89. Chen, S.; Zou, Y.; Shen, W.; Shi, S.; Zhang, X.; Wang, H. Carboxymethylated-bacterial cellulose for copper and lead ion removal. *Journal of Hazardous Materials* 2009b, 161, 1355–1359. Available at:<https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0304389408006523>.

90. Zhang, Y.; Luo, C.; Wang, H.; Han, L.; Wang, C.; Jie, X.; Chen, Y. Modified adsorbent hydroxypropyl cellulose xanthate for removal of Cu<sup>2+</sup> and Ni<sup>2+</sup> from aqueous solution. *Desalination and Water Treatment* 2016, 57. Available at: <https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/19443994.2016.1177733>.

 A portrait of Alex Souza Moraes, a man with glasses and a goatee, wearing a green polo shirt with 'UFRPE' printed on it. He is standing in front of a metal shelving unit filled with books and papers.	<p><b>Alex Souza Moraes – Corresponding Author</b> <i>Federal University of Rural Pernambuco - Department of Chemistry, Recife, Pernambuco, 52171-900, Brazil.</i></p>
 A portrait of Thaís Jeruzza Maciel Póvoas Souto, a woman with long brown hair and glasses, wearing a white lab coat. She is smiling and looking towards the camera.	<p><b>Thaís Jeruzza Maciel Póvoas Souto</b> <i>Postgraduate Program in Chemistry Federal University of Rural Pernambuco, Recife, Pernambuco, 52171-900, Brazil.</i></p>
 A portrait of Otávio Pereira dos Santos Junior, a man with grey hair and a mustache, wearing a black suit jacket over an orange shirt. He is looking slightly to the right of the camera.	<p><b>Otávio Pereira dos Santos Junior</b> <i>Federal Institute of Pernambuco – Vitória de Santo Antão, Pernambuco, 55600-000, Brazil.</i></p>

	<p><b><i>Romildo Morant de Holanda</i></b> <i>Federal University of Rural Pernambuco - Rural Technology Department, Recife, Pernambuco, 52171-900, Brazil.</i></p>
	<p><b><i>Arthur Luís Silva de Araújo</i></b> <i>Federal University of Rural Pernambuco - Department of Chemistry, Recife, Pernambuco, 52171-900, Brazil.</i></p>
	<p><b><i>Beatriz Silva Santos</i></b> <i>Postgraduate Program in Environmental Engineering Federal University of Rural Pernambuco, Recife, Pernambuco, 52171-900, Brazil.</i></p>
	<p><b><i>Raimundo Mainar de Medeiros</i></b> <i>Federal University of Rural Pernambuco - Rural Technology Department, Recife, Pernambuco, 52171-900, Brazil.</i></p>

# ***Autores***

---

Beatriz Silva Santos<sup>1</sup>, Jair Barros Agra Filho<sup>1</sup>, Fernanda Pereira dos Santos<sup>1</sup>, Rafaela Julia de Lira Gouveia<sup>1</sup>, Thais Bezerra Patu<sup>2</sup>, Alex Souza Moraes<sup>3</sup>, Romildo Morant de Holanda<sup>4</sup>

# *Abordagem Sobre Resíduos Sólidos do Polo Têxtil em Pernambuco e Sua Consequência Ambiental no Semiárido*



1 – Programa e Pós-Graduação em Engenharia Ambiental – UFRPE, Recife- PE;

2 – Secretaria Executiva – AEAMBS, Recife - PE

3 – Departamento de Química – UFRPE, Recife – PE;

4 – Departamento de Tecnologia Rural – UFRPE, Recife – PE;

## **1. Histórico da indústria têxtil no semiárido**

O setor têxtil é um segmento industrial presente em todas as regiões do Brasil, desde os grandes polos aos pequenos produtores. Essa vasta distribuição geográfica está bastante relacionada a necessidade de vestuário da população, sendo este setor responsável por exercer influência em vários eixos como o social, cultural, político e econômico. Visando atender não apenas a questão vestimenta e moda como também o uso utilitário variado, a sociedade passou a trabalhar e desenvolver uma infraestrutura de produção que viria a se tornar os polos industriais têxteis fazendo frente a demanda exigida pelo mercado consumidor.

A implementação da indústria têxtil no Brasil teve seus primeiros passos ainda no período colonial havendo uma rentável cultura de produção de algodão no norte e nordeste do país, e diversas manufaturas têxteis que iniciavam um processo de industrialização (FUJITA; JORENTE, 2015). Por ventura, a região onde iniciou-se de forma sucinta e artesanal atividades do setor, acabou se tornando um dos grandes polos têxteis conhecidos no país, como é o caso do Arranjo Produtivo Legal (APL) têxtil do agreste de Pernambuco, representado na figura 1, sendo atualmente uma das atividades econômicas mais rentáveis do estado, movimentando recursos direta e indiretamente por grande extensão da região nordeste, em conjunto com o estado do Ceará.



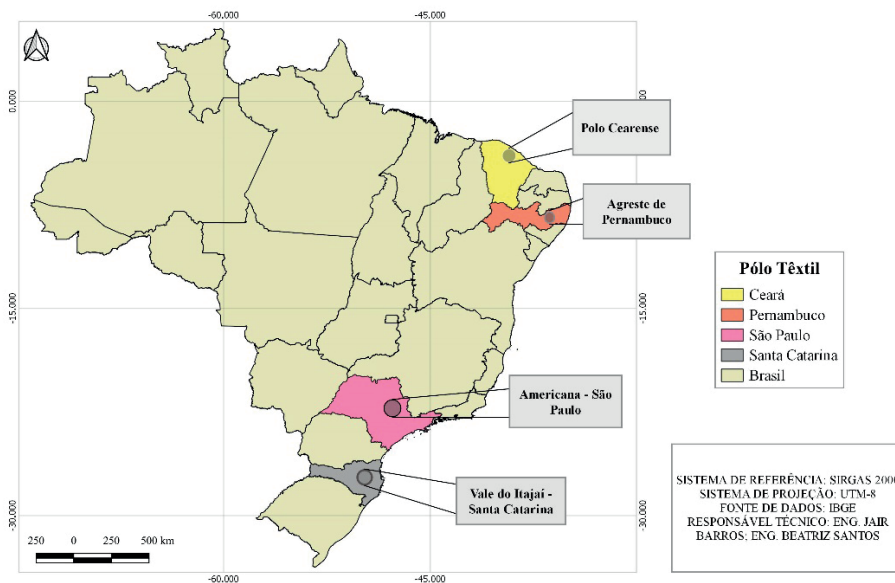


Figura 1- Polos têxteis de destaque no Brasil.  
Fonte: (Autores, 2022).

Com o desenvolvimento tecnológico industrial dos maquinários têxteis e redução de impostos diversas fábricas foram inauguradas na região Nordeste do país por volta de 1830 a 1884, sendo o atual estado da Bahia o primeiro e mais importante centro da indústria têxtil até o ano 1860, devido ao fato desta área dispor de uma grande população escrava, matéria prima em abundância e fontes hidráulicas de energia. Todavia, dada a importância política e econômica do Rio de Janeiro, parte das fábricas antes concentradas na Bahia, passaram a migrar para o centro-sul do país, acontecimento que se fortaleceu ainda mais com a construção da ferrovia ligando São Paulo, Minas Gerais e Rio de Janeiro tornando decisiva a transferência do setor para a região (FUJITA; JORENTE, 2015).

Ao decorrer dos anos com eventos como as grandes guerras mundiais, quebra da bolsa de New York e crise econômica o mercado têxtil brasileiro passou por diversas dificuldades. Com uma tecnologia defasada, crescendo a importação

e com estabilidade da exportação, o mercado viu-se obrigado a adotar novas manobras para driblar a crise, cujo uma destas foi deslocamento para o Nordeste e demais regiões de incentivos fiscais, com o objetivo de reduzir custos de mão de obra e assim voltar a competir no mercado (KELLER, 2006; FUJITA; JORENTE, 2015). Outro ponto chave também foi continuar investido na produção da cultura algodoeira, matéria prima desta indústria, no espaço geográfico onde se concentravam as atividades, visando a redução dos custos na produção.

Nas décadas de 60 e 70 à forte concorrência das fábricas têxteis paulista, que já era um gigante polo industrial, falta de investimentos em infraestrutura, insuficiente apoio federal e governamentais, levou a indústria têxtil nordestina a quase decadência. No início dos anos 90 a região passou por uma reestruturação do setor têxtil, passando por corte de gastos, qualificação da mão de obra além de incentivos fiscais, objetivando a diversificação do parque industrial. Houve também, pesquisas e estu-

dos de novas sementes de algodão, sendo estas mais resistentes e produtivas, com isso todas essas iniciativas colocaram o Nordeste novamente como principal produtor algodoeiro do Brasil (DA COSTA OLIVEIRA, 2018).

O melhoramento e estudo do algodão ocorreu por intermédio de que em determinado período o mesmo teve sua produção comprometida por algumas pragas, principalmente a conhecida pelo nome de Bicudo, que foi responsável pelo declínio de pequenos beneficiadores e produtores dessa matéria prima em diversas localidades do semiárido. Isso ocasionava um déficit na disponibilidade do insumo à preços mais acessíveis, o que poderia encarecer o produto final que era beneficiado.

A volta das Fábricas têxteis para o nordeste e sua reestruturação a partir da década de 90, alavancou o desenvolvimento e a economia da região, que é caracterizada por abrigar um dos principais polos do país, gerando empregos e contribuindo para o desenvolvimento do mercado local, regional e nacional. Sendo considerado o segundo maior do país, APL têxtil atualmente se concentra nas cidades de Caruaru, Santa Cruz do Capibaribe e Toritama, como pode ser observado na figura 2. O polo produz cerca de 800 milhões de peças de vestuário todos os anos, tal produção destinada tanto para o comércio nacional quanto para o internacional. Devido a representatividade de sua produção, se tornou referência no Nordeste, mostrando por exemplo que o polo fabrica 44 vezes mais unidades do que o Rio Grande do Norte, que já foi uma potência regional (NORDESTE, 2018; AGRESTE, 2019).

Apesar de sua importância econômica e social, as indústrias

que compõe esse polo de beneficiamento de tecidos, ainda necessitam de maior atenção por parte do poder público. Embora indispensável, as atividades deste segmento trazem consigo alguns problemas sanitários e ambientais, que vão desde o elevado consumo de água que é ampliado “pela manutenção precária do maquinário (válvulas apresentando defeitos, vazamentos, água fluindo mesmo com a máquina parada), equipamento de lavagem em condições de baixa eficiência e ciclos longos, dificultando o reuso de água, até o tratamento e destinação final dos resíduos produzidos. Empresas de maior capital conseguem aderir a novas tecnologias e otimizar seus processos para reduzir o consumo de água além de tratar de destinar de alguma forma o resíduo produzido, caso este que não se aplica a grande maioria dos empreendimentos que são compostos por pequenos produtores (DE SÁ ROCHA et al, 2021; VIANA et al, 2018).

## 2. Importância econômica-social

A região semiárida do Brasil pode ser considerada uma das regiões mais pobres do país, se destaca pela densidade populacional e por ter a maior área territorial que compõe os espaços naturais da região Nordeste do Brasil (RUFINO E SILVA, 2017).

Mas, infelizmente apresenta um atraso econômico. Um lugar predominantemente rural que sofre com os longos períodos de seca, com economia de baixa produtividade, escassa presença de infraestrutura e onde as relações econômicas ainda se mostram deficientes (CAVALCANTI JUNIOR & LIMA, 2019).

Alguns setores industriais se destacam na região como os de extração mineral; de borracha, fumo e couro; construção civil; minerais não metálicos; têxtil/confecções; indústria de calçados e indústria química, influenciando o cresci-

mento dos vínculos empregatícios, aproveitando a disponibilidade de mão de obra de baixo custo.

Segundo ABIT (2022) em 2019, o setor têxtil produziu cerca de 9,05 bilhões de peças (vestuário, meias, acessórios, linha lar e artigos técnicos) e obtendo um faturamento de R\$ 186 bilhões. A segunda maior empregadora da indústria da transformação, a indústria de transformação têxtil possui duas divisões: a fabricação de produtos têxteis e a confecção de artigos de vestuário e acessórios.

A indústria têxtil é grande importância para economia do país, com polos industriais instalado principalmente nos estados do Ceará, Paraíba, Rio Grande do Norte e Pernambuco. Desenvolvendo atividades de fiação e tecelagem; fabricação de tecidos, artigos de malha e aviamentos; confecção de peças do vestuário e acessórios.

Segundo o entendimento de Cavalcanti Junior. 2017 é possível elencar os principais setores industriais responsáveis pelo aumento da produção industrial em alguns municípios do semiárido, o aumento na quantidade de vínculos empregatícios em determinado setor pode estar atrelado a diferentes resultados de crescimento das atividades industriais nos municípios. De acordo com o aumento no número de vínculos empregatícios entre os valores médios de (1999-2001) e (2011-2013) mostrou vários resultados significativos.

É notório que o polo industrial Têxtil/Confecções do Agreste de Pernambuco é o maior da região do semiárido brasileiro, o polo é composto por dez municípios. Destacando Caruaru, Toritama e Santa Cruz do Capibaribe por serem os principais municípios de produção.

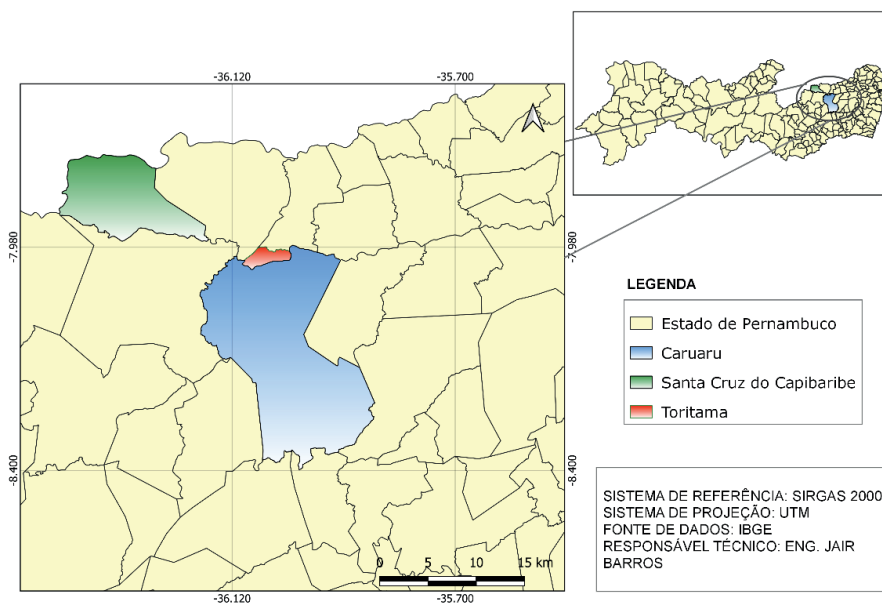


Figura 2: Polo têxtil do agreste de Pernambuco com destaque aos maiores centros.  
Fonte: (Autores, 2022).

## Vínculos criados

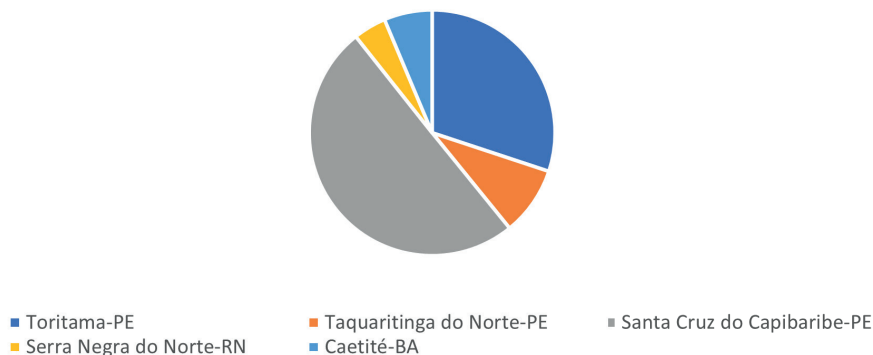


Figura 3: Em relação ao setor têxtil podemos observar a figura x a relação entre os principais municípios e os vínculos empregatícios criados. Fonte: (Cavalcanti Junior, 2017).

Em 2011 o agreste de pernambucano o faturamento total da indústria de confecções atingiu o valor estimado de R\$ 1,1 bilhão. Após descontar deste total o valor do faturamento das confecções (para evitar dupla contagem), chega-se a um valor muito próximo da R\$ 1 bilhão.

O Arranjo Produtivo Local produz cerca de 700 milhões de peças, gerando 75 mil empregos diretos e 15

mil indiretos, respondendo por 73% da produção do setor em Pernambuco e 3% de arrecadação do PIB do estado (ABIT, 2012).

Os produtos têxteis englobam múltiplos segmentos, tais como tinturaria, estamparia, texturização, bordado e lavagem do jeans. Com a proporção do desenvolvimento industrial da região, surge oportunidades de emprego e renda influenciando o setor econômico, dando o poder de aquisição para a população.

Além de atrair diversos turistas que vem de outras regiões comprar roupas para revender, o polo têxtil é a base da economia do agreste pernambucano.

### 3. Processo Produtivo

O processo produtivo da indústria têxtil engloba o processamento de uma infinidade de matérias primas, tais como algodão, fibras sintéticas, artificiais, lã e outros, tendo a possibilidade de serem processadas de maneira isolada ou na forma de misturas (figura 4). É importante salientar que cada matéria prima possui um processamento específico, no entanto, de maneira geral, as várias operações podem organizar-se da seguinte maneira:

- Preparação da matéria prima – produção de fibras sintéticas, penteado e cardado;
- Fiação – produção de fio;
- Tecelagem – produção de fio;
- Preparação para o tingimento – produção de rama, penteado, fio, tecido ou malha ou produto pronto a tingir;
- Tingimento – produção de rama, penteado, fio, tecido, malha ou produto acabado tingido;
- Estamparia – produção de tecido ou malha estampado;
- Acabamentos químicos – produção de tecido ou malhas com características específicas;
- Acabamentos mecânicos – produção de tecido com características específicas;
- Confecção – produção de têxteis e vestuários.

Dessas operações presentes na indústria têxtil, três operações são as mais expressivas, sendo elas: fiação, tecelagem e beneficiamento de tecidos. A fiação, como o próprio nome já diz, envolve a transformação das fibras em fios, podendo ser naturais (lã, seda, algodão e linho) ou sintéticas (elastano, náilon e poliéster). A tecelagem nada mais é que a junção dos fios através do entrelaçamento, com o objetivo de formar os tecidos têxteis. Para finalizar, a etapa de beneficiamento é a que se propõe a melhorar as condições tácteis e visuais dos tecidos, bem como seu tingimento ou estampagem (CSTQ JR., 2021).

**(...)**  
**os responsáveis**  
**pela aquisição dos**  
**fios de algodão,**  
**devem levar em**  
**consideração**  
**a quantidade**  
**necessária para**  
**cada produto,**  
**de tal maneira**  
**que não ocorra o**  
**excesso da compra,**  
**ocasionando o**  
**desperdício de tecido**  
**(...)**

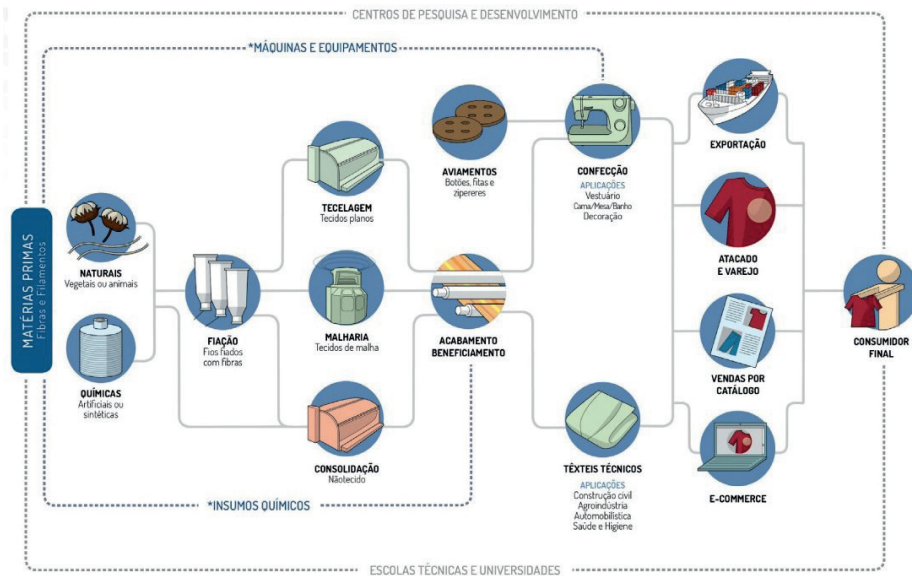


Figura 4: Estrutura da cadeia produtiva e de distribuição têxtil e confecção.  
Fonte: (Agência de notícias da indústria, 2018).

De maneira geral, os fios de algodão são a principal matéria-prima utilizada nas indústrias têxteis e geralmente é obtida a partir da compra no próprio município de origem ou em outras localidades próximas, não sendo a etapa de fiação de responsabilidade da indústria. Vale a pena frisar que é importante adquirir a matéria-prima em regiões próximas, visando a diminuição de custos e a contribuição para o crescimento do comércio local.

Outro ponto a observar é que os responsáveis pela aquisição dos fios de algodão, devem levar em consideração a quantidade necessária para cada produto, de tal maneira que não ocorra o excesso da compra, ocasionando o desperdício de tecido e reduzindo os recursos financeiros que podem ser utilizados em outras necessidades.

No primeiro momento, os fios de algodão devem ser posicionados em barras giratórias conectados a uma máquina responsável por formar grandes rolos de fios. À medida que as barras vão girando os fios são aderidos e submetidos a tecelagem. Como a tecelagem submete os fios a repetidos processos de en-

treçamento para a fabricação do tecido, depois que o mesmo se encontra pronto é submetido a pesagem, para verificar a quantidade de produto químico que será utilizado na etapa de acabamento do tecido, que compreende a tinturaria, secagem, estamparia e outras.

Após o processo de tinturaria, o tecido fica úmido e é inserido em máquinas de altas temperaturas para ser seco e posteriormente cortado e costurado. É nesse momento que o produto é separado e submetido a processos de empacotamento e armazenagem.

Depois de todos esses processos, resíduos são gerados e devem ser encontrados meios para sua reutilização ou disposição final correta. Entre os resíduos gerados, podem ser elencados: fios de algodão que sobram do processo de tecelagem, restos de plásticos, restos de tecidos e efluentes líquidos decorrentes das lavagens de tecidos e limpeza do ambiente.

#### 4. Segregação e destinação dos resíduos

No Brasil, cerca de 170 mil toneladas de retalhos são geradas por ano. Sendo que, 80% são descartados nos aterros sanitários e até mesmo em lixões clandestinos que posteriormente são queimados, material esse que poderia ser reutilizado ou reciclado gerando renda ou estimulando negócios sustentáveis (SEBRAE, 2014).

A indústria têxtil causa diversos impactos ao meio ambiente, desde a produção de matéria-prima até a destinação final dos resíduos. A indústria da moda é a segunda que mais polui o meio ambiente, estando atrás somente da indústria do petróleo (ISOTON et al., 2022). Além do grande volume de resíduos gerado, deve-se levar em consideração tempo que o mesmo demora para se decompor.

Os resíduos da indústria de vestuário podem ser classificados ainda em dois tipos: Pré-consumo e Pós-consumo (Quadro 1). Pré-consumo são gerados durante o processo produtivo, como sobras da etapa de corte e costura, tecelagem, amostragem e peças com não conformidade. têm grande potencial de reciclagem na própria indústria de vestuário por se tratarem de matéria-prima de qualidade, sem usos antecedentes.

Pós-consumo que envolve o descarte das roupas após o seu uso. Podem ser reutilizados ou reciclados, sendo que a maioria desses resíduos sofre um processo de recuperação para reuso em um produto.

<b>Pré-Consumo</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Os resíduos de corte e costura.</li> <li>• Amostragem e peças com não conformidades</li> </ul>
<b>Pós-Consumo</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Roupas após o uso</li> </ul>

Quadro 1: Tipo de classificação dos resíduos têxteis.  
Fonte: (Enez e Kipoz, 2019).

As características dos resíduos mudam de acordo com a moda, as fibras têxteis são classificadas basicamente em dois grandes grupos: naturais e químicas.

As fibras naturais são encontradas em forma natural, obtidas das plantas ou animais como: a lã, o linho, o algodão, a seda, o couro, precisam ser transformadas somente por meio de processos mecânicos para sua finalidade.

As fibras artificiais e sintéticas são de origem ou formação à base de químicos como: poliéster, poliamida, acrílico, nylon. As artificiais resultam na polimerização de monômeros para o estado fibroso; as sintéticas são classificadas por terem origem e processos totalmente químicos (carbono ou petroquímicos) (SANTOS et al., 2021).

Os retalhos são gerados na etapa de corte no tecido, embora existam softwares que otimizem o planejamento do corte no tecido. Segundo Pereira et al. (2016) aproximadamente 12% da matéria-prima é desperdiçada na etapa de corte. Após o corte o material é encaminhado para a costura.

A separação deve ser realizada de acordo com a composição e/ou cor do material têxtil de maneira manual ou mecânica, uma das maiores dificuldades do processo de reciclagem é conseguir realizar esta atividade de modo eficiente. Depois que as peças estão prontas é hora de definir e aplicação o

design, adicionar acessórios como botões e zíper de metal. Os retalhos podem ser reutilizados para fabricação de outras peças ou produtos, acessórios na fabricação de produtos artesanais.

As sobras dos tecidos muitas vezes são descartadas junto com o resíduo comum e vão para lixões e aterros, pode ocorrer a doação e a venda de baixo custo. É possível citar três rotas de reciclagem de têxteis envolvem os seguintes processos: mecânicos, químicos e térmicos.

## 5. Impactos Ambientais da Destinação Incorreta

Com a chegada do século XIX, a poluição ganhou um espaço de atenção global pelos seres humanos por conta do acelerado processo industrial (AHSAN; SATTER; SIDDIQUE, 2019). O aumento da industrialização e da urbanização não planejada tem um impacto adverso em diferentes compartimentos do meio ambiente, incluindo solo, sedimentos e água, bem como na ecologia e biodiversidade. Essas indústrias geralmente produzem uma quantidade substancial de resíduos perigosos que são lançados no meio ambiente em formas sólidas, líquidas ou gasosas contendo poluentes orgânicos e inorgânicos.

Efluentes industriais lançados pelas indústrias são os principais contaminantes que causam poluição ambiental e criam sérios problemas de subsistência para as pessoas ao poluir a água e os solos

adjacentes, o que pode ter um impacto adverso na saúde humana e no meio ambiente. Os poluentes entram na água do rio e, conseqüentemente, alteram suas propriedades físico-químicas e os impactos negativos na qualidade da água incluem mudança de cor, aumento da turbidez, eutrofização e adição de compostos tóxicos e persistentes.

Muitos poluentes orgânicos, corantes e metais pesados causam danos ao DNA e têm efeitos deletérios na qualidade de vida, por seus efeitos nocivos na água potável e de irrigação. Pesquisas realizadas comprovam que os lixiviados dos efluentes da indústria têxtil e de tingimento e as amins neles presentes podem induzir genotoxicidade em animais expostos (AKHTAR et al., 2018). Poluentes, drogas e tóxicos podem persistir no meio ambiente e alterar a fisiologia e o comportamento dos animais. Alguns tóxicos podem promover vários fatores genéticos e de desenvolvimento de anormalidades na exposição de curto prazo, enquanto outras podem ter efeitos deletérios na exposição de longo prazo.

Um outro grande problema está no lançamento de efluentes com a presença de microplásticos, devido a sua ingestão ao longo da cadeia trófica, que aumenta a mortalidade e desregulação endócrina dos animais aquáticos (NELMS et al., 2018). Além disso, esses poluentes foram amplamente identificados em produtos para consumo humano como frutos do mar, água da torneira e engarrafada e sal de cozinha (SCHYMANSKI et al., 2018). No entanto, os riscos para a saúde humana ainda são desconhecidos e é uma área que precisa de mais investigação.

Um outro resíduo gerado no tratamento de águas residuais têx-

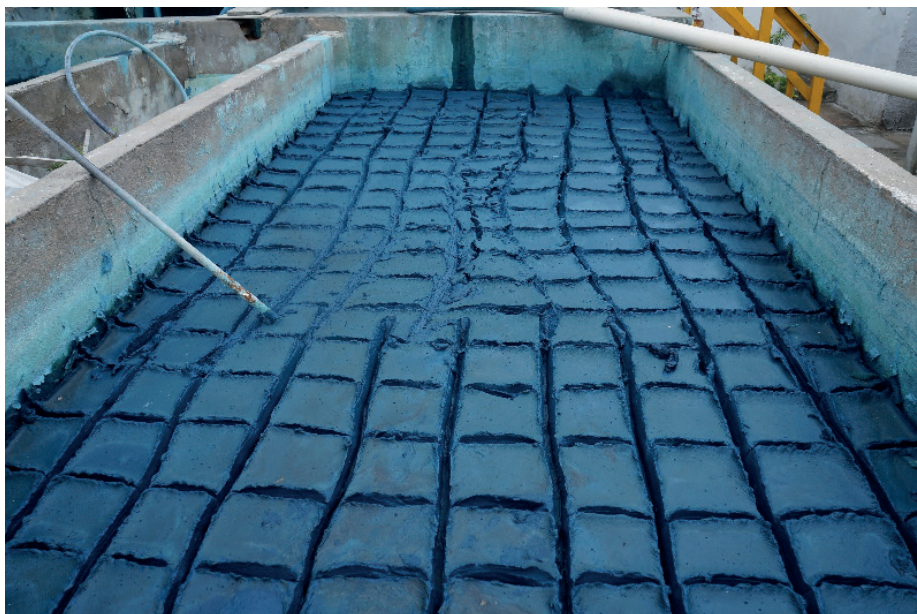


Figura 5: Leito de secagem de uma lavadeira em Caruaru – PE.  
Fonte: Os autores

**(...)**  
**os resíduos sólidos**  
**representam uma**  
**séria ameaça ao**  
**desenvolvimento**  
**das sociedades**  
**humanas,**  
**umentando os**  
**riscos para a saúde**  
**humana**  
**(...)**

teis são os lodos. Basicamente, os corantes presentes nas águas residuais são convertidos em lodo, a maioria no decantador primário e o restante no clarificador secundário (Figura 5). A eliminação de grandes volumes de lodos continua a ser um desafio fundamental para as estações de tratamento de águas residuais têxteis (BIDU et al., 2021). Na grande maioria das indústrias têxteis do Agreste pernambucano, o lodo é seco graças à ação do ca-

lor solar ou através de câmaras de secagem, sendo encaminhado para as instalações municipais de disposição de resíduos sólidos.

Os aterros municipais de resíduos sólidos não são projetados para degradar os corantes; algumas degradações anaeróbicas podem estar ocorrendo, o que pode produzir compostos carcinogênicos, como aminas aromáticas, onde só podem ser degradadas em condições aeróbicas. Assim os lodos com uma grande quantidade de corantes podem estar acabando no meio ambiente por lixiviação, representando um risco para a saúde humana e ecológica.



Figura 6 – Exemplo de resíduos sólidos da indústria têxtil  
Fonte: ASIRTEX

Os solos e sedimentos são geralmente, os sumidouros finais de poluentes industriais (Khan et al. 2019) e a contaminação do solo devido a poluentes tóxicos, em última análise, tem um efeito adverso nas plantas e representa um sério risco para a saúde humana. As plantas que crescem em áreas altamente poluídas são afetadas por metais tóxicos.

A indústria da moda é conhecida por ser a segunda maior indústria poluente do mundo, superada apenas pela indústria do petróleo. Nos últimos 15 anos, a produção de roupas dobrou, principalmente devido à tendência “fast fashion”, com mudanças mais rápidas de estilos e coleções. Grandes quantidades de recursos não renováveis são extraídos para produzir roupas que geralmente são usadas por apenas um curto período, após o qual os materiais são enviados para aterros sanitários ou incinerados (SIDERUS E POLDNER, 2021).

Estima-se que mais da metade do fast fashion produzido seja descartado em menos de um ano (Hole e Hole, 2019). Na Holanda, no Reino Unido e nos países nórdicos, estima-se que 61% das roupas descartadas (têxteis pós-consumo) são

perdidas no lixo doméstico, terminando em aterros ou incineração. Dessa maneira, os resíduos sólidos representam uma séria ameaça ao desenvolvimento das sociedades humanas, aumentando os riscos para a saúde humana (Figura 6).

O tratamento de resíduos na indústria têxtil levanta muitas preocupações ambientais, já que os métodos convencionais de tratamento de resíduos da indústria são aterro e incineração, que contribuem para as emissões de gases de efeito estufa, contaminação do solo (Hu et al., 2018), produção de lixiviados tóxicos e biogases. A descarga de compostos prejudiciais devido a reações causadas por produtos químicos e corantes nos materiais de tecido é um impacto deletério adicional de deposição em aterro ou incineração de resíduos têxteis (Rago, et al., 2018).

Em contraste, os resíduos gerais de baixo valor econômico são descartados em lixeiras domésticas diretamente com os resíduos residenciais, o que aumenta a carga de trabalho das instalações de tratamento de resíduos municipais e os recursos

de resíduos. A razão é que a maioria das empresas têxteis são pequenas e médias, onde os têxteis são produzidos em oficinas manuais e a reciclagem não é uma opção economicamente viável para elas (LI, WANG e DING, 2021) (Figura 7).

## 6. Propostas e soluções

A instalação de estações eficientes de tratamento de efluentes em indústrias têxteis para melhorar a qualidade do efluente, deve funcionar de maneira adequada e regular. O processo de tratamento tem como objetivo minimizar o descarte de produtos químicos tóxicos, bem como minimizar o uso de águas superficiais por meio da reciclagem e reaproveitamento da água tratada, o que também minimiza os custos de produção na indústria em questão (AHSAN; SATTER; SIDDIQUE, 2019).

Quanto as microfibras presentes nos efluentes têxteis, existem soluções de mitigação viáveis. Por exemplo, designs aprimorados de máquinas de lavar que causam menos estresse as roupas ou a co-

mercialização de novas máquinas de lavar com filtros de microfibras embutidos (BELZAGUI et al., 2020). Além disso, os fabricantes também devem incluir em seus folhetos uma categoria de qualificação com relação às emissões de microfibras ou ao estresse induzido nas peças de roupa nas máquinas de lavar. Dessa forma, os empresários podem levar em consideração esse fator ao adquirir uma nova lavadora (Figura 8).

(…)

***os impactos ambientais dos têxteis podem ser reduzidos com o desenvolvimento de novas tecnologias para recuperação e reutilização de têxteis para atender às necessidades atuais e futuras***

(…)



Figura 7 – Reutilização do resíduo têxtil  
Fonte: Febratex, 2022

Outro ponto que deve ser observado é sobre a conscientização da população em relação a contaminação das microfibras e sua capacidade de reduzir sua geração são temas importantes que devem ser continuamente consolidados. Nos últimos anos, as plataformas de mídia social têm feito cada vez mais publicações sobre o tema. Além disso, existem tecnologias de captura de microfibras comercialmente acessíveis, que funcionam capturando-as dentro da máquina de lavar ou no efluente. Essas tecnologias conseguiram uma re-



Figura 8 – Boas práticas para reciclagem do resíduo têxtil  
Fonte: lusnatura, 2022

dução de microfibras no efluente das lavanderias de 26% e 87% (MCILWRAITH et al., 2019).

No entanto, a disposição final das microfibras retidas ainda não foi realizada. Por outro lado, o uso de fibras mais naturais do que as artificiais também vem sendo mencionado entre as soluções possíveis. Essa declaração é polêmica, pois hoje grande parte da indústria do algodão conta com uma produção altamente poluente e ambientalmente insustentável (GARCIA et al., 2019).

Em relação aos resíduos sólidos produzidos, em comparação com os métodos convencionais de descarte, os impactos ambientais dos têxteis podem ser reduzidos com o desenvolvimento de novas tecnologias para recuperação e reutilização de têxteis para atender às necessidades atuais e futuras do negócio. Estudos investigaram o uso da reciclagem para aumentar os ciclos de vida dos têxteis. Este método divide o tecido em fibra por meio de processos mecânicos ou reciclagem química (NORUP et al., 2019), no entanto, o reprocessamento pode degradar as propriedades do fio.

Além disso, os resíduos pré-consumo podem ser convertidos em energia ou calor. Existem também vários estudos na literatura sobre novos produtos criados a partir de resíduos têxteis, como celulase ótima, cal hidráulica, simbiose industrial, materiais de construção de isolamento térmico, copolímeros multibloco ramificados e filamentos de queratina dúctil (MI et al., 2020).

Em Relação ao lodo têxtil, estudos de reaproveitamento demonstraram a possibilidade de destinação de lodo como componente de novo material coagulante, reduzindo a geração de lodo e consequentemente reduzindo gastos com destinação final desse material, resultando em redução de custos no processo. A toxicidade do lodo secundário também pode ser diminuída por tratamento em um digestor anaeróbico ou por fitorremediação e o lodo tratado pode então ser usado como biofertilizante (KATHAWALA, GAYATHRI e SENTHIL KUMAR, 2021).

Se as conexões entre todos os componentes do nexos forem analisadas, então isso pode ser um

efeito altamente significativo para a sustentabilidade da indústria têxtil e de outras indústrias manufatureiras (ABBAS et al., 2020). Portanto, há uma necessidade de desenvolver sistemas de tratamento simples, econômicos e ecológicos para a remediação de efluentes têxteis e de todos os resíduos gerados na busca de gerar um desenvolvimento ambiental e econômico sustentável.

Sendo as empresas devem desenvolver programas de sustentabilidade, adotar um sistema de coleta, separação, reutilização ou reciclagem para cada resíduo, com o objetivo que a destinação final ocorra de forma adequada.

Um ponto importante é a aplicação de práticas sustentáveis no dia a dia no caso das peças prontas, devemos fazer um consumo consciente, doar as peças que não se usa mais e que estão em bom estado.



## Referências

- Abbas, S., Hsieh, L. H. C., Tachato, K., & Taweekun, J. (2020). Sustainable production using a resource–energy–water nexus for the Pakistani textile industry. *Journal of Cleaner Production*, 271, 122633.
- ABIT - Associação Brasileira da Indústria Têxtil e de Confecções. 4º Modavil leva informações sobre negócios da moda de Caruaru. Disponível em: <http://www.abit.org.br>. Acesso em: 08 set de 2022.
- ABIT. Associação Brasileira da Indústria Têxtil. Perfil do Setor. Disponível em: <https://www.abit.org.br/cont/perfil-do-setor>. Acesso em: 08 set de 2022.
- AGRESTE TEX. Entenda a influência do polo têxtil no Agreste Pernambucano, 2019. Disponível em: <https://agrestetex.com.br/entenda-a-influencia-do-polo-textil-no-agreste-pernambucano/>. Acesso em: 08 setembro 2022.
- Ahsan, M.A., Satter, F., Siddique, M.A.B. et al. Chemical and physicochemical characterization of effluents from the tanning and textile industries in Bangladesh with multivariate statistical approach. *Environ Monit Assess* 191, 575 (2019). <https://doi.org/10.1007/s10661-019-7654-2>.
- Akhtar, M. F., Ashraf, M., Javeed, A., Anjum, A. A., Sharif, A., Saleem, M., Mustafa, G., Ashraf, M., Saleem, A., & Akhtar, B. (2018). Association of textile industry effluent with mutagenicity and its toxic health implications upon acute and sub-chronic exposure. *Environmental monitoring and assessment*, 190(3), 179. <https://doi.org/10.1007/s10661-018-6569-7>.
- Belzagui, F., Gutiérrez-Bouzá, C., Álvarez-Sánchez, A., & Vilaseca, M. (2020). Textile microfibers reaching aquatic environments: A new estimation approach. *Environmental Pollution*, 265, 114889.
- ASIRTEX, 2022 - Acesso em 11/12/2022 - <https://www.residuos-profesional.com/residuos-textiles-terminan-vertederos/>
- Bidu, J. M., Van der Bruggen, B., Rwiza, M. J., & Njau, K. N. (2021). Current status of textile wastewater management practices and effluent characteristics in Tanzania. *Water science and technology: a journal of the International Association on Water Pollution Research*, 83(10), 2363–2376. <https://doi.org/10.2166/wst.2021.133>.
- Cavalcanti Junior, Carlos A. A Um estudo sobre o setor industrial na região do semiárido nordestino / Carlos Antonio Araujo Cavalcanti Junior. Recife, 2017.
- DA COSTA OLIVEIRA, Eric Nilson. A economia do algodão no nordeste brasileiro. VI Congresso Sergipano de História & VI encontro estadual de história da ANPUH/SE, 2018. Disponível em: [http://www.encontro2018.se.anpuh.org/resources/anais/8/1540860966\\_ARQUIVO\\_AEconomiaDoAlgodao-noNordesteARTIGO.pdf](http://www.encontro2018.se.anpuh.org/resources/anais/8/1540860966_ARQUIVO_AEconomiaDoAlgodao-noNordesteARTIGO.pdf). Acesso em : 08 setembro 2022.
- DE SÁ ROCHA, Clarissa Maria Ramalho; DA SILVA Vicente de Paulo Rodrigues; DA SILVA Patrícia Ferreira; CAMPOS João Hugo Baracuy da Cunha. Análise do consumo de água e produtos químicos em indústrias têxteis no Agreste Pernambucano. *Revista Ibero-Americana de Ciências Ambientais*, v. 12, n. 1, p. 581-594, 2021. Disponível em: <http://sustenere.co/index.php/rica/article/view/CBPC2179-6858.2021.001.0047>. Acesso em: 09 setembro 2022.
- DOS SANTOS, Natalia Gonçalves; REBELO, Láisa; VIANA, Dianne Magalhães. Um estudo sobre reciclagem e reutilização de resíduos têxteis descartados da indústria de vestuário. IX ENSUS – Encontro de Sustentabilidade em Projeto – UFSC – Florianópolis, 2021.
- ENES, E., KIPÖZ, S. Turkey Fashion Industry's Cut-and-Sew Waste Problem and Its Waste Management Strategies, *Tekstil ve Mühendis*, 26: 113, 97-103, 2019.
- FEBRATEX, 2022 – Acesso em 11/12/2022: <https://fcem.com.br/noticias/residuo-textil-como-combater-ou-reduzir-essa-producao-na-industria/>
- FUJITA, Renata Mayumi Lopes; JORENTE, Maria José. A Indústria Têxtil no Brasil: uma perspectiva histórica e cultural. *Moda Palavra e-periódico*, n. 15, p. 153-174, 2015. Disponível em: <https://www.re-dalyc.org/pdf/5140/514051496008.pdf>. Acesso em: 08 setembro 2022.
- Garcia, Solimar, Cordeiro, Alexandra, de Alencar Nê as, Irenilza, de Oliveira Costa Neto, Pedro Luiz, 2019. The sustainability awareness of Brazilian consumers of cotton clothing. *J. Clean. Prod.* 215, 1490e1502. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.01.069>.
- Hole, G., Hole, A.S., 2019. Recycling as the way to greener production: a mini review. *J. Clean. Prod.* 212, 910e915.
- Hu, Y., Du, C., Pensupa, N., & Lin, C. S. K., 2018. Optimisation of fungal cellulase production from textile waste using experimental design. *Process Safety and Environmental Protection*, 118, 133-142. <http://doi.org/10.1016/j.psep.2018.06.009>.
- Indústrias têxtil e de alimentos priorizam uso eficiente de recursos. Agência de Notícias CNI.

Disponível em: <<https://noticias.portaldaindustria.com.br/noticias/sustentabilidade/industrias-textil-e-de-alimentos-priorizam-uso-eficiente-de-recursos/#>>. Acesso em: 10 set. 2022.

ISOTON, Renan; GIACOMELLO, Cintia; FACHINELLI, Ana Cristina. Práticas para Transição à Economia Circular em Confecções: uma revisão sistêmica da literatura. *Moda Palavra*, Florianópolis, V. 15, N. 36, p. 113-139, jan./dez. 2022. Disponível em: <https://www.revistas.udesc.br/index.php/modapalavra/article/view/21444/14207>. Acesso em: 16 mai. 2022

IUSNATURA, 2022 – acesso em 11/12/2022 - <https://iusnatura.com.br/descarte-de-residuos-texteis/>

JR, CSTQ. Indústria Têxtil - CSTQ Jr. CSTQ Jr. Disponível em: <<https://cstqjr.com.br/industria-textil/>>. Acesso em: 10 set. 2022.

Kathawala, T. M., Gayathri, K. V., & Senthil Kumar, P. (2021). A performance comparison of anaerobic and an integrated anaerobic-aerobic biological reactor system for the effective treatment of textile wastewater. *International Journal of Chemical Engineering*, 2021.

KELLER, Paulo Fernandes. Impactos da globalização econômica sobre a cadeia têxtil brasileira: O caso do pólo têxtil de Americana (SP). *Revista Universidade Rural, Série Ciências Humanas. Seropédica, RJ, EDUR*, v. 28, n. 1, jan.-dez., 2006.p.59-77. Disponível em: <https://pascal-francis.inist.fr/vibad/index.php?action=getRecordDetail&idt=21141397>. Acesso em: 08 setembro 2022.

Khan, R., Parvez, M. S., Jolly, Y. N., Haydar, M. A., Alam, M. F., Khatun, M. A., Sarker, M. M. R., Habib, M. A., Tamim, U., Das, S., Sultana, S., Islam, M. A., Naher, K., Paul, D., Ak-

ter, S., Khan, M. H. R., Nahid, F., Huque, R., Rajib, M., & Hossain, S. M. (2019). Elemental abundances, natural radioactivity and physicochemical records of a southern part of Bangladesh: implication for assessing the environmental geochemistry. *Environmental Nanotechnology, Monitoring & Management*, 12, 100225. <https://doi.org/10.1016/j.enmm.2019.100225>.

Li, X., Wang, L., & Ding, X. (2021). Textile supply chain waste management in China. *Journal of Cleaner Production*, 289, 125147.

LIMA, João Policarpo Rodrigues; JÚNIOR, Carlos Antonio Calvanti. O SEMIÁRIDO NORDESTE: EVOLUÇÃO RECENTE DA ECONOMIA E DO SETOR INDUSTRIAL. *Revista Econômica do Nordeste*, v. 50, n. 3, p. 69-88, 2019.

Mellwraith, Hayley K., Lin, Jack, Erdle, Lisa M., Mallos, Nicholas, Diamond, Miriam L., Rochman, Chelsea M., 2019. "Capturing microfibers e marketed technologies reduce microfiber emissions from washing machines. *Mar. Pollut. Bull.* 139 (August 2018), 40e45. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2018.12.012>.

Mi, X., Li, W., Xu, H.L., Mu, B.N., Chang, Yue., Yang, Y.Q., 2020. Transferring feather wastes to ductile keratin filaments towards to sustainable poultry industry. *Waste Manage*, 115, 65-73. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2020.07.022>.

Nelms, Sarah E., Galloway, Tamara S., Godley, Brendan J., Jarvis, Dan S., Lindeque, Penelope K., 2018. Investigating microplastic trophic transfer in marine top predators. *Environ. Pollut.* 238, 999e1007. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2018.02.016>.

NORDESTE Polo têxtil. *Polo Têxtil do Nordeste*, 2018. Disponí-

vel em: <https://blog.adina.com.br/polo-textil-do-nordeste/>. Acesso em: 08 setembro 2022.

Norup, N., Pihl, K., Damgaard, A., & Scheutz, C., 2019. Quantity and quality of clothing and household textiles in the Danish household waste. *Waste Manag*, 87, 454-463. <http://doi.org/10.1016/j.wasman.2019.02.020>.

PEREIRA, Gislaíne; Berretta-Hurtado, A. L; Furtami, A. H; Gouvêa, C. A; Recouvreux, D. Estudo comparativo entre o impacto ambiental resultante da fabricação de malha 100% algodão e com fios reciclados. *Revista Espacios*. Vol.37, ed. 22, p. 37, 2016.

Rago, Y. P., Surroop, D., & Mohee, R., 2018. Torrefaction of textile waste for production of energy-dense biochar using mass loss as a synthetic indicator. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 6(1), 811-822. <http://doi.org/10.1016/j.jece.2017.12.055>.

RUFINO, Iana Alexandra Alves; SILVA, Simone Tavares da. Análise das relações entre dinâmica populacional, clima e vetores de mudança no semiárido brasileiro: Uma abordagem metodológica. *Boletim de Ciências Geodésicas*, v. 23, p. 166-181, 2017.

Schymanski, Darena, Gol-dbeck, Christophe, Ulrich Humpf, Hans, Fürst, Peter, 2018. Analysis of microplastics in water by micro-Raman spectroscopy: release of plastic particles from different packaging into mineral water. *Water Res.* 129, 154e162. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2017.11.011>.

SEBRAE. Retalhos de tecidos: no lugar do desperdício, negócios sustentáveis. 2014. Disponível em: <https://respostas.sebrae.com>.

br/retalhos-de-tecidos-no-lugar-do-desperdicio-negociossustentaveis/. Acesso em: 08 set de 2022.

SEBRAE/PE-Estudo Econômico do Arranjo Produtivo Local de Confeccões do Agreste Pernambucano, 2012. Pernambuco: Sebrae/PE, p.151, 2013. Disponível em: < <https://www.sebrae.com.br/Sebrae/Portal%20Sebrae/Anexos/Estudo%20Economico%20do%20APL%20de%20Confeccoes%20do%20Agreste%20-%20%2007%20de%20MAIO%202013%20%20docx.pdf>>. Acesso em: 08 set de 2022.

Siderius, T., & Poldner, K. (2021). Reconsidering the circular economy rebound effect: propositions from a case study of the Dutch circular textile valley. *Journal of Cleaner Production*, 293, 125996.

VIANA, Mirella Alexandre; LIRA, Elizabete Buonora de Souza; COELHO Carla de Paula Gomes, BEZERRA Ana Paula Xavier de Gondra; LORENA Emmanuelle Maria Gonçalves; DE HOLANDA Romildo Morant. Pegada hídrica em indústria de beneficiamento de jeans no Agreste Pernambucano. *Journal of Environmental Analysis and Progress*, p. 061-068, 2018. Disponível em: <http://ead.codai.ufrpe.br/index.php/JEAP/article/view/1723>. Acesso em: 09 setembro 2022.

# 1 STUDY OF CHEMICAL CHARACTERIZATION OF TEXTILE SLUDGE FOR 2 VIABILITY IN APPLICATION IN TROPICAL AGRICULTURAL CROPS IN 3 PERNAMBUCO, BRAZIL

4 Beatriz Silva Santos<sup>1</sup>, Alex Souza Moraes<sup>2</sup>, Otavio Pereira dos Santos Junior<sup>3</sup>, Romildo Morant de  
5 Holanda<sup>4</sup>, Gledson Luiz Pontes de Almeida<sup>5</sup>, Jair Barros Agra Filho<sup>1</sup>, Renato Lemos dos Santos<sup>3</sup>.

6 <sup>1</sup>Postgraduate Program in Environmental Engineering - Federal University of Rural Pernambuco, Recife,  
7 Brazil. <sup>2</sup>Federal University of Rural Pernambuco - Department of Chemistry, Recife, Pernambuco, Brazil.  
8 <sup>3</sup>Federal Institute of Pernambuco – Vitória de Santo Antão, Pernambuco, Brazil. <sup>4</sup>Federal University of  
9 Rural Pernambuco - Rural Technology Department, Recife, Pernambuco, Brazil. <sup>5</sup>Federal University of  
10 Rural Pernambuco - Department of Agricultural Engineering, Recife, Pernambuco, Brazil.

## 11 Abstract

12 **Purpose** This study aimed to show the applicability of the generated sludge local textile productive  
13 arrangement as a subsidy for the agricultural sector.

14 **Method** The sludge samples were collected in laundries that use several textile industrial processes, some  
15 analyzes were carried out such as pH, organic matter, and chemical characterization of some micronutrients  
16 in units of mg. Kg<sup>-1</sup>. Subsequently, the adequate dosage for the application of the sludge in agricultural  
17 soils as fertilizer for some cultures was dimensioned.

18 **Results** After analyzing the results, it was possible to determine the appropriate dose of sludge in tons per  
19 hectare (ton. ha<sup>-1</sup>) for the cultures under study. The obtained amounts of sludge that can be applied ranged  
20 from 4.03 to 127.65 (Ton.ha<sup>-1</sup>) depending on the chemical composition. According to the results of the  
21 concentration of micronutrients zinc (Zn) and copper (Cu), the maximum application rate of sludge1, sludge  
22 2, sludge 3 and sludge 4, respectively, 49.6, 127.65, 41.95, 64, 52 (ton. ha<sup>-1</sup>).

23 **Conclusion** the results show that it is possible to use the sludge as a fertilizer for local crops such as corn,  
24 sorghum, soy, and sugar cane. Considering all the results obtained, this application transforms the sludge  
25 into a product that enhances agribusiness, in addition to being an economically viable alternative, it is  
26 applied in compliance with agricultural productivity standards and legal environmental conditions for  
27 application in the soil.

28 **Keywords:** Textile sector, Destination of solid waste, Reuse, Micronutrients.

## 29 Introduction

30 Brazil is the fifth largest textile industry in the world, it develops in several poles and regions: Agreste in  
31 Pernambuco, Vale do Itajaí in Santa Catarina, and Americana in the interior of São Paulo (CAVALCANTI  
32 & SANTOS, 2021).

33 The textile sector is of great importance for the country's economy, employing approximately 1.7 million  
34 people directly (Abit, 2019), contributing significantly to stimulating the market, generating jobs,  
35 increasing the industrial economy, accelerating urbanization, and promoting social development (ZHAO &  
36 LIN, 2019).

37 On the other hand, such undertakings have been a major polluter of water resources, as they use various  
38 chemical products that require a greater demand for water in the production process (BHATIA et al., 2017;  
39 MARTINS et al., 2017). According to Khandare & Govindwar (2015), a medium-sized enterprise  
40 consumes approximately 1.6 million liters of water per day to produce about 8,000 kg of fabric.

41 According to the World Bank estimate, the textile industry generates 20% of industrial effluent (KANT,  
42 2012; CRUZ et al., 2019). About 80% of dyes are covalently bound to textile fibers, with the remainder  
43 being lost during the dyeing process (CRUZ et al., 2019).

44 The treatment of these effluents requires attention, as they are considered one of the main environmental  
45 liabilities due to their specific characteristics, such as high concentration of organic and inorganic carbon,  
46 strong color, pH, toxicity, and low biodegradability (ANVARI et al., 2014; GARCIA SEGURA et al., 2018;

47 HEYLMANN et al., 2021). According to Bhatia et al. (2017) dyes are the main contaminants present in  
48 effluents, in addition to solid organic and inorganic materials.

49 The incorrect form of disposal causes the effluents from the textile industry to be considered a great  
50 environmental risk. To reduce the pollution load of effluents, there is a need to seek alternatives to mitigate  
51 environmental impacts. Some options have been proposed to remove dyes from wastewater in a non-  
52 selective manner, including physical, chemical, and biological processes (PIZATO et al., 2017; LIU et al.,  
53 2018; YANG et al., 2019).

54 The processes of treatment and final destination of solid waste have a high cost, which led to the search for  
55 new alternatives for the reuse of industrial waste (SILVA et al., 2021). One of the most attractive  
56 alternatives for the destination of textile sludge has been used for the production of organic fertilizer and  
57 as a soil conditioner (BITTENCOURT; AISSE; SERRAT, 2017; SOUTO et al., 2021). Allowing this waste  
58 to become raw material again and to be reinserted into the production cycle (SALESA et al., 2015).

59 Although they present different substances, according to recent multivariate studies, textile sludge has  
60 several applications and can be seen as a source of micro and macronutrients, because in addition to its high  
61 content of organic matter, Along with other inorganic substances, resulting in a composition for the  
62 nutrition of many cultures in the region (STANFORD et al., 2020).

63 Portocarrero et al. (2021) state that about 85% of fertilizers used in agriculture in Brazil are imported mainly  
64 from Europe, mainly from Russia and Ukraine, producers are apprehensive as political instabilities end up  
65 raising input values, generating an increase in food costs basic.

66 Based on this international inopia, the need for new fertilization technologies arises. Alovisi et al. (2021)  
67 state that national agricultural research is developing and encouraging the use of alternative sources of  
68 nutrients. As can be seen from some studies that have already been developed that seek a replacement of  
69 chemical products with organic fertilizers (SILVA et al., 2022; ALOVISI et al., 2021; OLIVEIRA; FUJI;  
70 BEVILACQUA, 2021; DA SILVA et al., 2020).

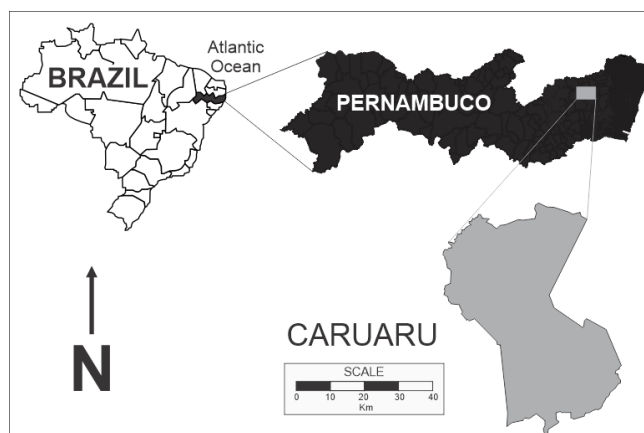
71 Aware of the environmental commitment, the study aims to evaluate the potential application of waste  
72 sludge from the treatment of effluent from textile apparel as a fertilizer, meeting the guiding values for the  
73 quality of chemical elements in agricultural soils.

## 74 **Material and Methods**

### 75 **Study area**

76 The research was carried out in industrial laundries of textile processing in Agreste Pernambucano,  
77 specifically in the municipality of Caruaru. The municipality of Caruaru is located in the wild of the State  
78 of Pernambuco – Brazil, approximately 130 km from the capital. With geographic coordinates of 08°17'S  
79 latitude and 35°58'W longitude with an altitude of 554 meters (MEDEIROS; HOLANDA; FRANÇA,  
80 2021). Currently, Caruaru has an estimated population of 369,343 inhabitants and has a territorial extension  
81 of 923,150 km<sup>2</sup> (BRASIL, 2020).

82 A study developed by Araújo (2020), points out that the characteristic biome of the municipality of Caruaru  
83 is the Caatinga, exclusively Brazilian. According to the same author, there is a predominance of ground  
84 plans throughout the municipality. Lysia Bernardes, based on Köppen – Geiger studies, classifies the  
85 climate of Caruaru as hot and dry, as in any semi-arid region, with temperatures ranging from 17° C to 32°  
86 C.



93

94 **Fig. 1** Illustrates the location of the state of Pernambuco, with emphasis on the municipality of Caruaru,  
 95 where the survey was carried out. Source: (Authors, 2023).

## 96 Experimentais procedures

97 Initially, one sample was collected from the batch deposited directly in each of the effluent treatment  
 98 stations (ETE) of the Caruaru laundries, the material was stored in plastic packaging and properly labeled.  
 99 Then, sent to the preparation in the Laboratory of Medicines, Technologies, and Environmental Solutions  
 100 (LAMTESA) of Rural Federal University of Pernambuco (UFRPE). The samples were placed to dry in an  
 101 oven at 100°C for about 36 hours.

102 Samples were sieved using 63µm particle size analysis sieves. Getting only as inferior particles, being  
 103 possible to find the largest amount of metals due to their characteristics. About 100g were taken to an oven  
 104 at 60°C for 48 hours to eliminate moisture. Then, approximately 10 g of each sample was added for analysis.  
 105 Subsequently, an analysis of the organic matter content was performed by the traditional method of muffle  
 106 firing.

107 Before analysis, sample preparation was carried out, which consists of an aliquot of 1.0g of each sample  
 108 decomposition and solubilization with aqua regia (a mixture of hydrochloric acid with nitric acid in a 3:1  
 109 ratio) on a hot plate at 100°C for 12 hours. The samples were allowed to stand at room temperature. Finally,  
 110 the samples were filtered and added to a 50 ml flask and the volume was made up to volume with 5% HNO<sub>3</sub>  
 111 solution.

112 After preparation, the samples were analyzed by the atomic emission spectrometry technique with the  
 113 inductively coupled plasma source method (ICP/OES), the respective elements in each sample: Al, As, B,  
 114 Ba, Be, Bi, Ca, Cd, Co, Cr, Cu, Fe, K, La, Li, Mg, Mn, Mo, Na, Ni, P, Pb, Sb, Sc, Se, Sn, Sr, Th, Ti, Tl, U,  
 115 V, W, Y, Zn and Zr. It is important and necessary to state that analytical grade reagents and solutions were  
 116 used in this study.

## 117 Results and discussion

118 Therefore, the sludges analyzed from the Caruaru laundry plants were titrated in the order: sludge 1 (S1),  
 119 sludge 2 (S2), sludge 3 (S3), and sludge 4 (S4). We can see in the figure 2 below the concentration of some  
 120 metals present in their composition. The results were compared with the criteria of Cetesb (1999), as it is  
 121 specific legislation for determining the rate and limits of application of metals in agricultural soils treated  
 122 with sludge. The results automatically comply with Conama 420/2009.

123

124

125

126

127

128

129

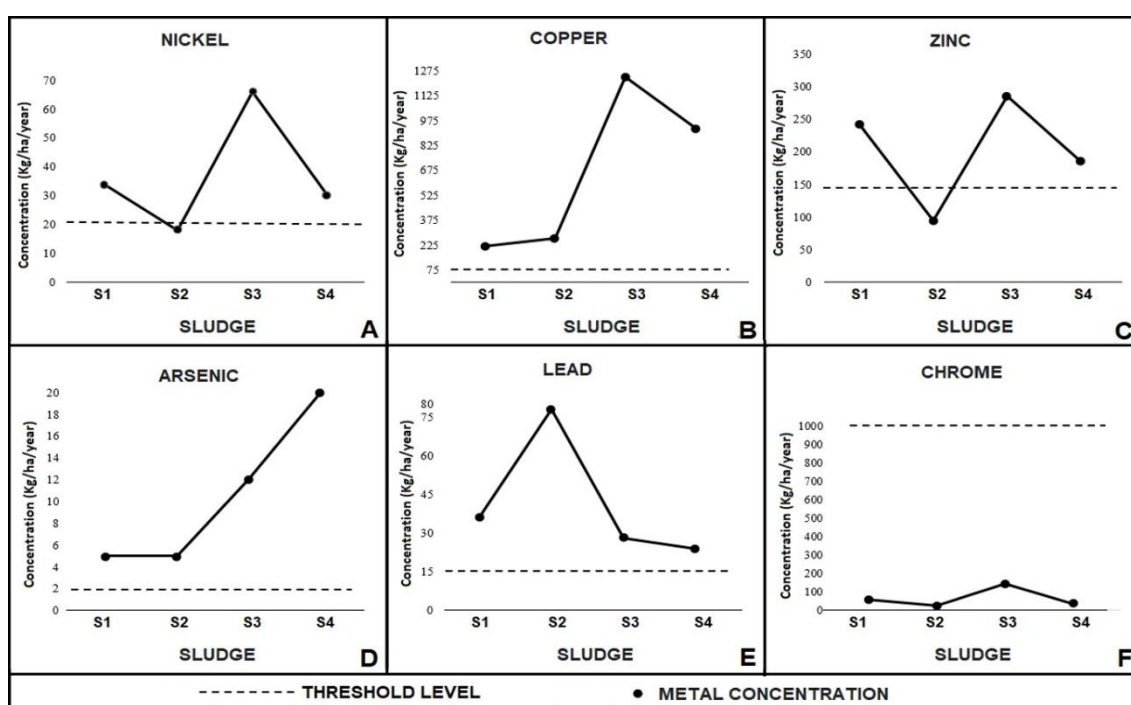
130

131

132

133

134



135

136

137 **Fig. 2** Comparison between micronutrient concentrations in sludge samples. Source: (Authors, 2023).

138 Some studies show the application of sludge from the treatment of domestic and industrial effluents as an  
 139 economic and environmentally viable solution (OLIVEIRA; FUJI; BEVILACQUA, 2021). According to  
 140 the study by Rosa (2004), a factor observed in textile sludge is the absence of pathogenic agents  
 141 (thermotolerant coliforms). The author explains that the organic matrix of urban sludge is much more  
 142 complex than textile sludge, stating that the absence of thermotolerant coliforms in textile sludge is related  
 143 to the high temperature and high pH of the effluent at the effluent treatment plant. Such factors establish  
 144 inappropriate conditions for the survival of pathogens and the presence of phenols certainly contributes to  
 145 the absence of pathogens.

146 According to Lima & Merçon (2011), some micronutrients are essential to life and their absence can  
 147 compromise the survival of plants and animals, copper (Cu), manganese (Mn), zinc (Zn), iron (Fe), and  
 148 molybdenum (Mo) but they must be consumed in the right amount, cobalt (Co) and nickel (Ni) are  
 149 beneficial but not essential and some are considered harmful, such as cadmium (Cd). Freire (2005) carried  
 150 out his study a bibliographic survey of some medicinal plants, the mechanisms of adaptation of some  
 151 species to some heavy metals.

152 According to studies developed by some researchers, it is possible to observe the chemical composition of  
 153 the sludge, and application of the same according to the parameters established by the legislation. In  
 154 addition to soil-plant adaptation, as we can see in Table 1.

155

**Table 1** Studies with the application of sludge as fertilizer.

Chemical characteristics (mg. kg <sup>-1</sup> )							
Cultures	As	Cu	Cr	Ni	Pb	Zn	References
Grassy ( <i>Cynodon sp</i> )	-	42,2	75,2	-	28,2	75,5	Santos, 2012
Yellow passion fruit ( <i>Passiflora edulis f.</i> <i>Flavicarpa</i> )	-	700	6	15	11	800	Prado & Natale, 2004
Tomato ( <i>Solanum</i> <i>lycopersicum</i> )	0,16	323	66	22	-	286	Narváez-Ortíz <i>et al.</i> , 2013
Cowpea ( <i>Vigna</i> <i>unguiculata L. Walp</i> )	3	110	28	17	18	121	Stanford <i>et al.</i> , 2020
Lettuce ( <i>Lactuca sativa</i> )	0,16	323	66	22	-	286	Narváez-Ortíz <i>et al.</i> , 2014
Corn ( <i>Zea mays</i> )	-	120	-	-	-	46	Da silva, 2005
Sorghum ( <i>Sorghum</i> <i>vulgare</i> )	-	13,63	-	-	-	160	Silva <i>et al.</i> , 2003

156

157 Based on Embrapa data (2006) Corn has a high sensitivity to zinc deficiency, medium to copper, iron, and  
 158 manganese, and low to boron and molybdenum. Sorghum requires several chemical elements considered  
 159 essential nutrients such as: N, P, K, Ca, Mg, S, B, Cu, Fe, Mn, Molybdenum and Zn (EMBRAPA, 2015).  
 160 Passion fruit requires some micronutrients, highlighting manganese, iron, zinc, boron, copper, chlorine, and  
 161 molybdenum (EMBRAPA, 2016).

162 According to IAC (RAIJ *et al.*, 1996), Zn and Cu are recommended for fertilization with micronutrients for  
 163 sugarcane. In a similar study, boron, copper, iron, manganese, molybdenum, and zinc are essential

164 micronutrients that influence growth processes, Synthesis and translocation of sugars in the watermelon  
165 plant, enabling higher yields and better quality fruits (EMBRAPA, 2007).

166 Narváez-Ortiz et al. 2013 developed a study with the application of raw industrial textile sludge in the  
167 substrate for tomato cultivation, no evidence was found of the transfer of heavy metals from the textile  
168 sludge to the fruit, concluding that there were no statistically different effects on fruit yield and mineral. A  
169 similar result was found by Narváez-Ortiz et al. 2014 no transfer of heavy metals was found by textile  
170 sludge to lettuce.

171 However, for Prado & Natale, 2004 the maximum dose of textile sludge applied in the formation of passion  
172 fruit seedlings provided adequate development and nutritional status, in addition to higher dry matter  
173 production is 10 t ha<sup>-1</sup>. Higher textile sludge doses decreased nutrient uptake, and dry matter production  
174 and resulted in plant death.

175 Stanford et al. 2020 highlights that textile sludge fertilizer can be a viable alternative for use in organic  
176 agriculture. Therefore, the microbial fertilizer applied to cowpea at different doses (fertilization treatments:  
177 microbial fertilization (t ha<sup>-1</sup>) at doses of (B 0.5), 100% (B 1.0) and 150% (B 1.5)), as a result is showed  
178 influences on plant characteristics and its effectiveness was similar to that of the conventional soluble  
179 fertilizer.

180 In the study carried out by Santos (2012), Tifton grass shows promise for the revegetation of contaminated  
181 areas, because it has a certain tolerance to heavy metals such as Cd and Zn. Concentrations of up to 5 t ha<sup>-1</sup>  
182 positively affected leaf and root anatomy, presenting adaptive modifications aiming to resist the  
183 micronutrients present in the textile sludge.

184 According to Assis et al. 2015, the majority of the Brazilian population has already made use of some  
185 medical plants. The same authors identified the Boldo (*Peumus boldus* Molina), Cidreira (*Melissa*  
186 *Officinalis* L.), and Cinnamon (*Cinnamomum Zeylanicum* B.) as the most consumed at the Ver-o-Peso fair,  
187 in the municipality of Belém (PA), analyzed the content of total metals such as Fe (195,5 ± 5,4 mg.Kg<sup>-1</sup>),  
188 Cu (12,8 ± 0,90 mg.Kg<sup>-1</sup>), Zn (17,6 ± 0,90 mg.Kg<sup>-1</sup>) and Mn (76,5 ± 3,20 mg.Kg<sup>-1</sup>), available in the form  
189 of decoction and infusion. The results showed their concentrations below the value established by the World  
190 Health Organization (WHO).

191 The use of sludge in agriculture serves as one of the main sludge disposal practices due to its fertilizing  
192 characteristics (SANTORO et al., 2017). In addition, the application rate can be based on the sludge's ability  
193 to neutralize soil acidity (CETESB, 1999). Textile sludge can be used as a soil corrective, according to the  
194 results obtained by Prado and Natale (2004) the residue proved to be able to correct soil acidity, in addition  
195 to providing N, P, K, Ca, Mg, S, Zn e Mn. According to da Silva. 2005 the textile sludge was efficient in  
196 correcting the acidity of Nitosol and Spodosol, as well as the highest production of dry matter was observed  
197 in Nitosol after the application of textile sludge.

198 According to some scholars, sludge has significant potential and efficiency for the application of industrial  
199 sludge as a fertilizer. To define the best alternative for sludge treatment, technical, environmental, economic,  
200 and social aspects must be taken into account (PRADO & NATALE, 2004; NARVÁEZ-ORTÍZ et al.,  
201 2013; STANFORD et al., 2020).

202 The reuse of sludge in crops enables the recovery of the residue, with the direct application or using it as  
203 raw material for the manufacture of products. We can see in table 2 the results obtained from the analysis  
204 of past metals present in the sludge from the treatment of effluents from the laundries under study, as well  
205 as the maximum parameters established by the legislation (CETESB, 1999). It is possible to observe the  
206 maximum reference rate for soils with low fertility (CABEZAS, 2011) and the organic matter data of each  
207 sample.

208

209 **Table 2** Analysis of metals in the sludge samples.

210



Chemical analysis	Maximum annual application rate (kg. ha <sup>-1</sup> . Ano <sup>-1</sup> )*	Sludge 1 (kg. ha <sup>-1</sup> )	Sludge 2 (kg. ha <sup>-1</sup> )	Sludge 3 (kg. ha <sup>-1</sup> )	Sludge 4 (kg. ha <sup>-1</sup> )
Arsenic	2.0	5	5	12	20
Nickel	21	34	18	66	30
Copper	75	220	266	1240	926
Lead	15	36	78	28	24
Zinc	140	242	94	286	186
Chrome	1000	56	24	142	32
O.M.	78.000**	49.3	66.9	58.4	35.7

211 Source: Unit conversion was performed based on information from the  
212 website:<<https://agronomiacomgismonti.blogspot.com/p/conversao-unidades.html>>.

213 \* According to CETESB, 1999 the maximum annual application rate of metals in agricultural soils treated  
214 with sludge.

215 \*\* Maximum limit of organic matter for soils (CABEZAS, 2011).

216 When we analyze the results obtained from the samples, S1 and S2 present values closer to the appropriate  
217 one for the application, that is, the concentration of some analyzed metals is within the maximum  
218 parameters established for the application.

219 Given the study carried out based on the analysis of micronutrientes present in the samples, it is possible to  
220 estimate that S1 and S2, because they have similar characteristics, can be applied for crops such as such as  
221 corn, sorghum, soy, and sugar cane, among others. S3 and S4 have a much higher concentration of some  
222 non-allowed metals, being recommended for use in reforestation. However, even if the concentration found  
223 does not meet the allowable concentration rate, these samples can also be applied in different proportions.

224 The application of textile sludge as a fertilizer is an alternative that can be applied to different crops such  
225 as sorghum, corn, soybeans, and sugarcane. Because crops require macro and micronutrients that can be  
226 present in the sludge. Based on the results, we can see in table 3 the expectation for the application of the  
227 sludges under study. It is worth mentioning that the soil must have almost no presence of metals. The  
228 estimated calculation was carried out based on the maximum limit of metals allowed by legislation  
229 (CETESB, 1999). And the recommended values of copper and zinc for each crop, also meet the minimum  
230 limits of the other metals under study.

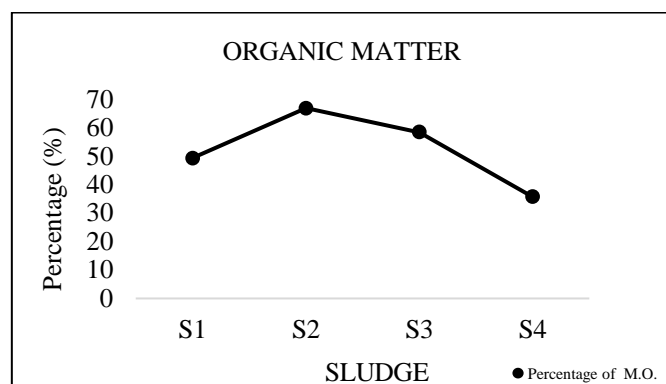
231 **Table 3** The maximum allowed for sludge application in corn, sorghum, sugarcane, and soybean crops.

Sludge	Corn <sup>1</sup> (ton.ha <sup>-1</sup> )	Sorghum <sup>2</sup> (ton.ha <sup>-1</sup> )	Sugar cane <sup>3</sup> (ton.ha <sup>-1</sup> )	Soy <sup>4</sup> (ton.ha <sup>-1</sup> )
S1	49.6	32.75	36.36	22.72
S2	127.65	27.06	30.07	18.79
S3	41.95	5.80	6.45	4.03
S4	64.52	7.77	8.64	5.4

232 Source: 1 FAVARIN; TEZOTTO; RAGASSI, (2008), 2 CFSEMG (1999), 3 ROSSETTO & DIAS (2005),  
233 4 PAS Campo (2005).

234 It is worth mentioning that in addition to the chemical characterization of the sludge, the study of the soil  
235 and culture must be carried out. Figure 3 shows a relevant percentage of organic matter for each sludge.

236 And from the results, it can be considered a better alternative environmentally suitable for an adequate  
 237 destination.



238

239 **Fig. 3** Concentration of organic matter in the sludge samples. Source: (Authors, 2023).

240 The use of sludge in agriculture serves as one of the main sludge disposal practices due to its fertilizing  
 241 characteristics (SANTORO et al., 2017). In addition, the application rate can be based on the sludge's ability  
 242 to neutralize soil acidity (CETESB, 1999). Textile sludge can be used as a soil corrective, according to the  
 243 results obtained by Prado and Natale (2004) the residue proved to be able to correct soil acidity, in addition  
 244 to providing N, P, K, Ca, Mg, S, Zn e Mn. According to da Silva. 2005 the textile sludge was efficient in  
 245 correcting the acidity of Nitosol and Spodosol, as well as the highest production of dry matter was observed  
 246 in Nitosol after the application of textile sludge.

247 According to some scholars, sludge has significant potential and efficiency for the application of industrial  
 248 sludge as a fertilizer. To define the best alternative for sludge treatment, technical, environmental,  
 249 economic, and social aspects must be taken into account (PRADO & NATALE, 2004; NARVÁEZ-ORTÍZ  
 250 et al., 2013; STANFORD et al., 2020).

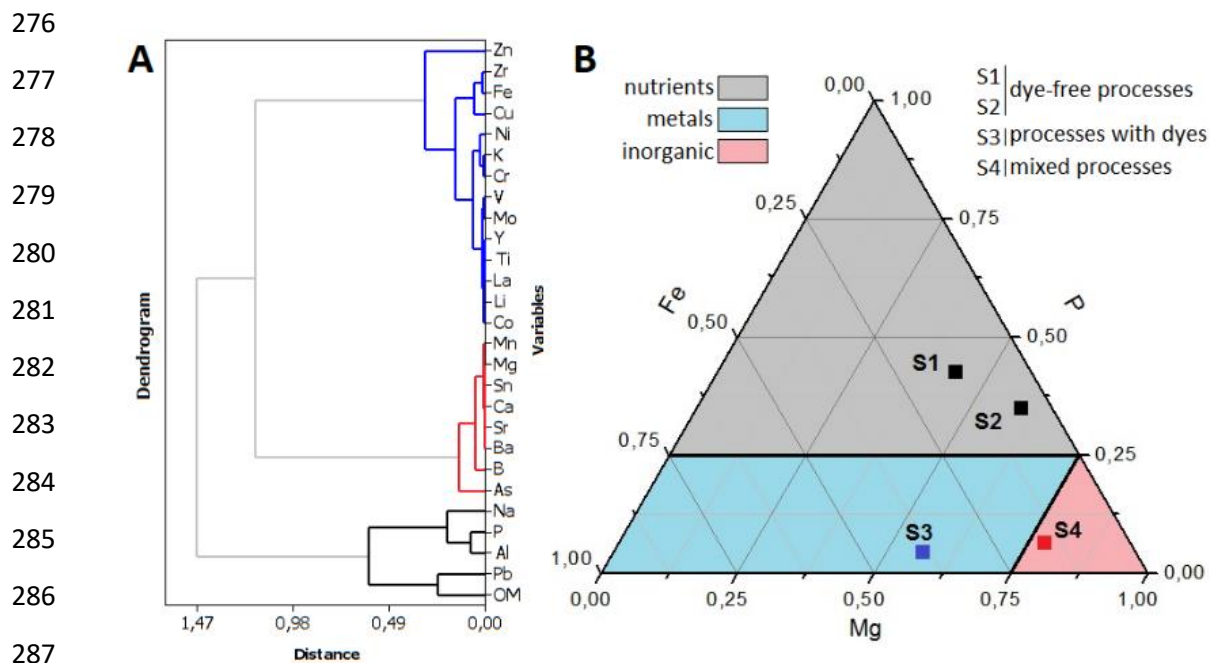
251 The statistical analysis of the data of this work was carried out using the Hierarchical Grouping method  
 252 shown in the Graph of Figure 4A. This analysis was carried out using the method of the average of the  
 253 Euclidean distance as a level of similarity to approach the intervals of the clusters. It is possible to observe  
 254 the separation into three clusters in this graph, the first of blue, containing most of the most of the highest  
 255 contents of the metals contained in the analyzed sludge, including copper, zinc and chromium, elements  
 256 still present in some dyes. Another group observed is in red color and contains predominantly the elements  
 257 magnesium, calcium, strontium and barium and represents a group of sludge from laundries that use many  
 258 processes of the productive cycle in the Textile Pole, indicating a very heterogeneous chemical composition  
 259 from a seasonal point of view. Finally, the last group, in the black color of the dendrogram, contains the  
 260 sludge with the highest load of organic matter, higher phosphorus content and absence of high  
 261 concentrations of heavy metals, since they were collected from laundries that do not use dye in their  
 262 products.

263 In view of these clustering results, it was possible to propose a ternary diagram of iron, phosphorus and  
 264 magnesium representing respectively the sludge with the highest content of heavy metals, nutrients and  
 265 inorganic elements (Figure 4B). In this context, the diagram represents the reduction of the dimensionality  
 266 of the sludge chemical analysis system, with the intention of helping as an indicator of its destination, such  
 267 as the dimensioning of micro or macronutrients that are associated with its composition. Despite the results  
 268 showing evident separations of the types of sludge under study, it is evident that it is necessary to increase  
 269 the analysis in more samples to increase the representativeness and reproducibility of the method. Although  
 270 it is an indication that shows applications of sludge generated with local application, reducing transport and  
 271 disposal costs, and enhancing an environmental management tool in an attempt to mitigate the impacts  
 272 arising from the textile industry in Pernambuco.

273

274

275



**Fig. 4 A)** Analysis of Hierarchical Groupings, **B)** Ternary Diagram. Source: (Authors, 2023).

## Conclusion

In view of the results presented, the textile sector is characterized by being a potential environmental polluter when there is irregular disposal and lack of reuse of its effluents and solid waste. Chemical characterization proved to be an important point in the selection of sludge and, consequently, its destination for specific cultures according to the need for micro and macronutrients. With the statistical delineation it was possible to add value to each sludge to be used as a fertilizer, since there is already a limitation of heavy metals, it can be secondarily characterized according to the many other accessory chemical elements. The absence of pathogens in textile sludge may be an indication of its immediate application as a fertilizer and agribusiness enhancer.

## Acknowledgements

I would like to thank the Federal Rural University of Pernambuco - UFRPE and the Foundation for the Support of Science and Technology of the State of Pernambuco - FACEPE.

## References

ABIT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA TEXTIL E DE CONFECÇÃO. Report, 2019. Disponível em: <http://www.abit.org.br/cont/perfil-do-setor>. Acesso em: 16 fevereiro, 2022.

Alovisi AMT, Rodrigues RB, Alovisi AA, Tebar MM, Villalba LA, Muglia GRP, Soares MSP, Tokura LK, Cassol CJ, Silva RS da, Tokura WI, Gning A, Kai PM (2021) Utilização do pó de rocha basáltica como alternativa de adubação da cultura da soja. Research, Society and Development. <http://dx.doi.org/10.33448/rsd-v10i6.15599>.

Anvani, F, Kheirhah M, Amraei R (2014) Treatment of synthetic textile wastewater by combination of coagulation/flocculation process and electron beam irradiation. Journal of community health research 31 – 38.

Araújo ASF, Monteiro RTR, Cardoso PF (2005) Composto de lodo têxtil em plântulas de soja e trigo. Pesquisa Agropecuária Brasileira 549-554. <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2005000600004>.

- 314 Araújo ASF, Monteiro RTR, Carvalho EMS (2007) Effect of composted textile sludge on growth,  
315 nodulation and nitrogen fixation of soybean and cowpea. *Bioresource Technology* 1028-1032.  
316 <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2006.04.028>
- 317 Araújo JGS (2020) Atividades antrópicas e a qualidade das águas do rio Ipojuca no município de Caruaru  
318 – PE: Documentário como proposta para o ensino das Ciências Ambientais.2020. Dissertação (mestrado),  
319 Universidade Federal de Pernambuco.
- 320 Assis AFS, Anastácio FMO, Silva MDB, Amarante CB, Neves PAPFG (2015) Determinação do teor de  
321 metais em chás de plantas medicinais. *Enciclopédia biosfera* 3397.
- 322 Bittencourt S, Aisse MM, Serrat BM (2017) Gestão do uso agrícola do lodo de esgoto: estudo de caso do  
323 estado do Paraná, Brasil. *Engenharia Sanitaria e Ambiental*. 1129-1139. <https://doi.org/10.1590/S1413-41522017156260>
- 325 BRASIL. Instituto Brasileiro de Geologia e Estatística Caruaru – IBGE (2020). Disponível em: <  
326 <https://www.ibge.gov.br/cidades-e-estados/pe/caruaru.html>>. Acessado em 26 de dezembro de 2022.
- 327 Bhatia D, Sharma NR, Singh J, Kanwar RS (2017) Biological methods for textile dye removal from  
328 wastewater: A review. *Critical Reviews in Environmental Science and Technology* 1836-1876, 2017.  
329 <https://doi.org/10.1080/10643389.2017.1393263>.
- 330 Cavalcanti AM, Santos GF (2021) A indústria têxtil no Brasil: uma análise da importância da  
331 competitividade frente ao contexto mundial, *Exacta Engenharia de Produção* 706-726.  
332 <https://doi.org/10.5585/exactaep.2021.17784>.
- 333 Cabezas WARL (2011) Matéria orgânica de solo: agente determinante da eficiência de fertilizantes  
334 nitrogenados. *Pesquisa & Tecnologia*.  
335 [http://www.infobibos.com/Artigos/2011\\_3/MateriaOrganica/index.htm](http://www.infobibos.com/Artigos/2011_3/MateriaOrganica/index.htm). Acessado em 26 de novembro de  
336 2022.
- 337 CETESB, Companhia de Saneamento Ambiental do Estado de São Paulo (1999) Critérios para aplicação  
338 de biossólidos em áreas agrícolas: critérios para projeto e operação, CETESB, São Paulo, 32p. Manual  
339 técnico, Norma P4.230.
- 340
- 341 Ribeiro AC, Guimaraes PTG, Alvarez VVH. (ed.) (1999). Recomendação para o uso de corretivos e  
342 fertilizantes em Minas Gerais: 5. aproximação. Comissão de Fertilidade do Solo do Estado de Minas Gerais  
343 - CFSEMG.
- 344 Cruz JC, Nascimento MA, Amaral HAV, Lima DSD, Teixeira APC, Lopes RP (2019) Synthesis and  
345 characterization of cobalt nanoparticles for application in the removal, *Journal of Environmental*  
346 *Management* 220-228. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2019.04.059>,
- 347 Da Silva HW, Andrigueti SC, Pradela VA, Donha AAA, Henrique GC, Dutra AO (2020) Efeito da  
348 adubação orgânica sob o perfilhamento de mudas pré-brotadas de cana-de-açúcar. *Brazilian Journal of*  
349 *Development*, 18897-18904. <https://doi.org/10.34117/bjdv6n4-164>.
- 350 Da Silva RCR (2005) Uso do lodo têxtil como fertilizante agrícola, Dissertação (Mestrado), Universidade  
351 Federal Rural de Pernambuco.
- 352 Medeiros RM, De Holanda RM, De França MV (2021) Caruaru – pe, seu conforto ou desconforto térmico  
353 em anos de el niño, la niña. *Revista Mirante* 1-15.
- 354 EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (2006) *Nutrição e Adubação do Milho*. p. 10.
- 355 EMBRAPA- Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (1993) *A cultura do tomateiro (para mesa) I*  
356 *Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Centro Nacional de Pesquisa de Hortaliças*. p. 88.
- 357 EMBRAPA- Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (2010) *Cultivo da Mangueira. Sistemas de*  
358 *Produção*, 2 - 2ª edição. p. 111.

- 359 EMBRAPA- Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (2015) Sorgo: o produtor pergunta, a Embrapa responde. p. 327.  
360
- 361 EMBRAPA- Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (2016) Maracujá: o produtor pergunta, a Embrapa responde. p. 341.  
362
- 363 EMBRAPA- Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (2006) A cultura da goiaba. – 2ª edição revista e ampliada. p. 180.  
364
- 365 EMBRAPA- Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (2007) A cultura da melancia: Embrapa Informação Tecnológica, p. 85.  
366
- 367 Favarin JL, Tezotto T, Ragassi CF (2008) Uso racional de micronutrientes na cultura de milho. Piracicaba: International Plant Nutrition Institute.  
368
- 369 Freire, MFI (2005) Metais pesados e plantas medicinais. Revista científica eletrônica de agronomia 1-14.
- 370 Garcia-Segura S, Ocon, JD, Chong MN (2018) Electrochemical oxidation remediation of real wastewater effluents — A review. Process Safety and Environmental Protection 113:48–67.  
371 <https://doi.org/10.1016/j.psep.2017.09.014>.  
372
- 373 HEYLMANN, Kelly Kathleen Almeida et al Heylmann KKA, Lopes BV, Afonso TF, Demarco CF, Cadaval Junior TR, Quadro MS, Andreazza R (2021) Produção, caracterização e aplicação de carvão ativado de caroço de pêssego no tratamento de efluente têxtil. Engenharia Sanitaria e Ambiental 26:485-494. <https://doi.org/10.1590/S1413-415220190226>.  
374  
375  
376
- 377 Kant, R (2012) Textile dyeing industry an environmental hazard. Natural Science 4:22–26.  
378 <https://doi.org/10.4236/ns.2012.41004>.
- 379 Khandare RV, Govindwar SP (2015) Phytoremediation of textile dyes and effluents: Current scenario and future prospects. Biotechnology Advances 33:1697-1714.  
380 <https://doi.org/10.1016/j.biotechadv.2015.09.003>.  
381
- 382
- 383
- 384 Lima, VF, Merçon F (2011) Metais pesados no ensino de química. Química nova na escola, 33(4), 199-385  
205.
- 386 Liu J, Zhuo Z, Xie W, Kuo J, Lu X, Buyukada M., Evrendilek F (2018) Efeitos da interação de cloro e fósforo em comportamentos termoquímicos de metais pesados durante a incineração de lodo de tingimento têxtil rico em enxofre. Chemical Engineering Journal 351: 897-911.  
387 <https://doi.org/10.1016/j.cej.2018.06.158>.  
388  
389
- 390 MARQUES, Marcus Vinicius Araújo et al. Marcus VAM , Chamhum-Silva LA, De Mato AT, Bomfim NF, Barros KK, Bastos RXX, Kato MT (2022) Nota Técnica 3 - Uso agrícola: Condições de aplicabilidade de efluente de estações de tratamento de esgoto. Cadernos Técnicos Engenharia Sanitária Ambiental 2:29-41. <https://doi.org/10.5327/276455760203003>.  
391  
392  
393
- 394 MARTINS, Jéssica Elen Costa Alexandre et al. Martins JECA, Abdala Neto EF, De Lima ACA, Ribeiro JP, Maia EFF, Do Nascimento RF (2017) Delineamento Box-Behnken para remoção de DQO de efluente têxtil utilizando eletrocoagulação com corrente contínua pulsada. Engenharia Sanitaria e Ambiental 22: 1055-1064. <https://doi.org/10.1590/S1413-4152201715074>.  
395  
396  
397
- 398 NARVAEZ-ORTIZ, Willian Alfredo et al. Efectividad del lodo textil en la producción y composición química del fruto de tomate. Revista mexicana de ciencias agrícolas, v. 4, n. 1, p. 129-141, 2013.  
399
- 400 Narváez-Ortiz WA, Benavides-Mendoza A, Robledo-Torres V, Mendoza-Villarreal R (2013) Efectividad del lodo textil en la producción y composición química del fruto de tomate. Revista mexicana de ciencias agrícolas, 4(1):129-141. Recuperado en 12 de enero de 2023, de [http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S2007-09342013000100010&lng=es&tlng=es](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-09342013000100010&lng=es&tlng=es).  
401  
402  
403  
404

- 405 Narváez-Ortíz, WA, Benavides-Mendoza A, Vázquez-Badillo ME, Cabrera-de la FM (2014) Effect of the  
406 application of raw sludge from the fabric industry into the productivity and chemical composition of lettuce  
407 (*Lactuca sativa*). *Revista internacional de contaminación ambiental*, 30(4): 379-391. Recuperado en 12 de  
408 enero de 2023, de [http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0188-  
409 49992014000400006&lng=es&tlng=en](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0188-49992014000400006&lng=es&tlng=en).
- 410 Oliveira JF, Fuji K, Bevilacqua PD (2021) Caracterização da exposição humana a lodo de esgoto sanitário  
411 na cadeia: tratamento, uso agrícola e consumo de hortaliças. *Engenharia Sanitária e Ambiental* 26:221-230.  
412 <https://doi.org/10.1590/S1413-415220190208>.
- 413 Campo P (2005) Manual de segurança e qualidade para a cultura da soja. Brasília, DF: Embrapa  
414 Transferência de Tecnologia.
- 415 Pizato E, Lopes AC, Rocha RDC, Barbosa AM, Da Cunha MAA (2017) Caracterização de efluente têxtil  
416 e avaliação da capacidade de remoção de cor utilizando o fungo *Lasiodiplodia theobromae* MMPI.  
417 *Engenharia Sanitária e Ambiental* 22: 1027-1035. <https://doi.org/10.1590/S1413-41522017121743>.
- 418 Portocarrero M, Rati F, Carneiro I, Werneck G, Santos I, Silva M., ... & de Oliveira MOM (2021) Gargalos  
419 nas cadeias de produção. Embrapa Agricultura Digital-Capítulo em livro científico.
- 420 Prado RM, Natale, W (2004) Efeitos da aplicação de lodo têxtil sobre o desenvolvimento, o estado  
421 nutricional e a produção de matéria seca de mudas de maracujazeiro, Congresso brasileiro de ciência e  
422 tecnologia em resíduos e desenvolvimento sustentável, Florianópolis.
- 423 Raj BV, Cantarella H, Quaggio JA, Furlani AMC (1997) Recomendações de adubação e calagem para o  
424 Estado de São Paulo 2a. ed. 100: 8-13. Campinas: Instituto Agrônomo/Fundação IAC.
- 425 ROSA EVC (2004) Reaproveitamento de lodo têxtil em solo florestal: Estudos dos aspectos físico-  
426 químicos, agrônômicos e ecotoxicológicos. Tese, Universidade Federal de Santa.
- 427 Rossetto R, Dias FLF (2005) DOS SOLOS, A FERTILIDADE. 2. NUTRIÇÃO E ADUBAÇÃO DA  
428 CANA-DE-AÇÚCAR: indagações e reflexões.
- 429
- 430 Salesa A, Benedicto JAP, Aranguren DC, López-Juliána PL, Estebanb LM, Sanz-Baldúzd LJ, Sáez-  
431 Hostaled JL, Ramise J, Olivarese D (2015) “Physico-mechanical properties of multi-recycled concrete  
432 from precast concrete industry”, *Journal of Cleaner Production* 1 41: 248-255.  
433 <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.09.058>.
- 434 Santoro A, Held A, Linsinger TP, Perez A, Ricci, M (2017) Comparison of total and aqua regia  
435 extractability of heavy metals in sewage sludge: The case study of a certified reference material. *TrAC*  
436 *Trends in Analytical Chemistry* 89: 34-40. <https://doi.org/10.1016/j.trac.2017.01.010>.
- 437 Santos AL (2012) Utilização do lodo têxtil no cultivo de tifton. Dissertação (Mestrado), Universidade  
438 Federal de Alfenas.
- 439 Silva, AL da, Cordeiro RS, Rocha, HCR (2022) Aplicability of Efficient Microorganisms (EM) in  
440 agriculture: literature review. *Research, Society and Development*, 11(1): 32311125054.  
441 <https://doi.org/10.33448/rsd-v11i1.25054>.
- 442 Silva EP, Mota S, Aquino BF (2003) Potencial de utilização do lodo de esgoto de indústria têxtil como  
443 fertilizante agrícola. *Engenharia Ambiental e Sanitária* 8: 69-76.
- 444 Silva JDJ, Ingunza MDPD, Albuquerque LF, Souza PABF, Medeiros LGGD (2021) Utilização de lodo  
445 tratado de indústria de produtos de limpeza em matrizes cimentícias. *Matéria* (Rio de Janeiro), 26.  
446 <https://doi.org/10.1590/S1517-707620210003.13040>.
- 447 STAMFORD, N. P.; SILVA, E.V.N.; OLIVEIRA, W.S.; MARTINS, M. S.; MORAES, A. S.; FREITAS,  
448 M. H.; BARROS, J. A. Characterization of jeans textile waste and interaction with microbial fertilizer and  
449 multivariate analysis to identify environmental effects. *Environmental Technology & Innovation*, v. 18, p.  
450 1-8, 2020.

- 451 Stamford NP, da Silva EVN, da Silva OW, dos Santos MM, Moraes AS, de Barros JA, De Freitas MI  
452 (2020) Benefícios da adubação microbiana na interação interespecífica com lodos têxteis em feijão-caupi  
453 em um Argissolo Brasileiro e na toxicidade de resíduos. *Tecnologia Ambiental e Inovação*, 18 :100756.  
454 <https://doi.org/10.1016/j.eti.2020.100756>.
- 455 SOUTO, L. S. et al. Níveis e formas de aplicação de lodo de esgoto na nutrição e crescimento inicial da  
456 mamoneira. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v. 9, p. 274-277, 2021.
- 457 Souto LS, Silva LMD, Lobo TF, Fernandes DM, Lacerda NBD (2021) Níveis e formas de aplicação de  
458 lodo de esgoto na nutrição e crescimento inicial da mamoneira. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola  
459 e Ambiental* 9: 274-277. <https://doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v9nsupp274-277>.
- 460 Yang H, Zhang J, Liu Y, Wang L, Bai L, Yang L, Wei D, Wang W, Niu Y, Chen H (2019) Remoção rápida  
461 de corante aniônico da água por nanopartículas magnéticas modificadas com poli (líquido iônico). *Journal  
462 of Molecular Liquids* 284: 383-392. <https://doi.org/10.1016/j.molliq.2019.04.029>.
- 463 Zhao, H., & Lin, B. (2020). Impact of foreign trade on energy efficiency in China's textile industry. *Journal  
464 of Cleaner Production*, 245, 118878. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.118878>.