INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DA PARAÍBA – CAMPUS JOÃO PESSOA

UNIDADE ACADÊMICA I

CURSO SUPERIOR DE TECNOLOGIA EM GESTÃO AMBIENTAL

JULIANA GOMES E SOUSA MIGUEL

O USO DA FIBRA DE COCO COMO ADSORVENTE DE METAIS PESADOS: UMA REVISÃO.

JOÃO PESSOA

JULHO/2021

Juliana Gomes e Sousa Miguel

O USO DA FIBRA DE COCO COMO ADSORVENTE DE METAIS PESADOS: UMA REVISÃO.

Trabalho apresentado ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Paraíba (IFPB) – Campus João Pessoa, como requisito parcial para a conclusão do curso Superior de Tecnologia em Gestão Ambiental.

Orientador (a): Prof. Dr. Antonio Cícero de Sousa

JOÃO PESSOA

JULHO/2021

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
Biblioteca Nilo Peçanha do IFPB, *campus* João Pessoa

M636u Miguel, Juliana Gomes e Sousa.

O uso da fibra de coco como adsorvente de metais pesados: Uma revisão / Juliana Gomes e Sousa Miguel. – 2021.
58 f. : il.
TCC (Graduação – Tecnologia em Gestão Ambiental) – Instituto Federal de Educação da Paraíba / Unidade Acadêmica I, 2021.
Orientação: Profº Dr. Antonio Cícero de Sousa.

1.Gestão ambiental sustentável. 2. Fibra de coco. 3. Adsorção. 4. Metais pesados. I. Título.

CDU 502.14(043)

Lucrecia Camilo de Lima
Bibliotecária – CRB 15/132

DECISÃO 11/2021 - CCSTGA/UA1/UA/DDE/DG/JP/REITORIA/IFPB

JULIANA GOMES E SOUSA MIGUEL

O USO DA FIBRA DE COCO COMO ADSORVENTE DE METAIS PESADOS: UMA REVISÃO

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso Superior de Tecnologia em Gestão de Ambiental do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Paraíba como requisito parcial para obtenção do título de Tecnóloga em Gestão de Ambiental.

Aprovada em 22 de julho de 2021

Banca Examinadora

Prof. Dr. Antonio Cícero de Sousa (IFPB - JP) Orientador

Prof. Dr. Gesivaldo Jesus Alves de Figueiredo (IFPB - JP) Examinador

Prof. Me. Maria Deise das Dores Costa Duarte (IFPB - JP) Examinadora

(assinado eletronicamente)

JOÃO PESSOA

2021

Documento assinado eletronicamente por:

- **Gesivaldo Jesus Alves de Figueiredo, PROFESSOR ENS BASICO TECN TECNOLOGICO**, em 28/07/2021 15:54:13.
- **Maria Deise das Dores Costa Duarte, PROFESSOR ENS BASICO TECN TECNOLOGICO**, em 27/07/2021 18:26:16.
- **Antonio Cicero de Sousa, PROFESSOR ENS BASICO TECN TECNOLOGICO**, em 27/07/2021 12:15:41.

Este documento foi emitido pelo SUAP em 26/07/2021. Para comprovar sua autenticidade, faça a leitura do QRCode ao lado ou acesse https://suap.ifpb.edu.br/autenticar-documento/ e forneça os dados abaixo:

Código Verificador: 208669
Código de Autenticação: dd56dcf537

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, a minha família por todo o apoio e ao meu orientador por toda paciência e atenção durante esse processo. Agradeço também ao IFPB por todas as oportunidades e experiências que obtive ao longo do curso.

RESUMO

A produção mundial de coco cresceu significativamente nas últimas décadas, sendo assim sua produção gera uma grande quantidade de resíduos de difícil degradação, contribuindo para a proliferação de vetores transmissores de doenças, diminuindo a vida útil dos aterros. Outro problema é que com a expansão do setor industrial acompanhado pelo crescimento populacional, ocasionou o aumento da geração de efluentes, muitas vezes sendo lançados nos rios, intensificando a contaminação por metais pesados nos corpos hídricos. Frente a estas situações, a fibra de coco verde além de ser uma alternativa sustentável é eficaz na adsorção de metais pesados. Portanto, o objetivo deste trabalho foi realizar uma revisão da literatura sobre o uso da fibra de coco como adsorvente de metais pesados de forma alternativa ao carvão ativado enquanto estratégia de gestão ambiental sustentável. Pode-se dizer que a fibra de coco tem um grande potencial na adsorção de metais pesados, além de outros contaminantes. Em relação ao metal cobre e ao metal chumbo todos os resultados dos trabalhos presentes nesta revisão foram satisfatórios, com uma remoção desses metais pela fibra, acima de 95% na maioria dos casos apresentados neste trabalho. As vantagens da fibra de coco em relação ao carvão ativado, além da sua eficiência, se encontram principalmente em sua produção, por ser natural, não causa tantos impactos ao meio ambiente, não há poluição atmosférica, não há produção ilegal e seu desmatamento ocorre em menor escala, se comparado com a produção do carvão ativado, sendo um excelente substituto no processo de adsorção de metais pesados.

Palavras chaves: Fibra de Coco; Carvão Ativado; Adsorção; Metais Pesados;

ABSTRACT

The world production of coconut has grown significantly in recent decades, so its production generates a large amount of residues that are difficult to degrade, contributing to the proliferation of disease-transmitting vectors, reducing the useful life of landfills. Another problem is that with the expansion of the industrial sector accompanied by population growth, it caused an increase in the generation of effluents, often being discharged into rivers, intensifying the contamination by heavy metals in water bodies. Faced with these situations, green coconut fiber, in addition to being a sustainable alternative, is effective in the adsorption of heavy metals. Therefore, the objective of this work was to carry out a literature review on the use of coconut fiber as an adsorbent for heavy metals as an alternative to activated carbon as a sustainable environmental management strategy. It can be said that coconut fiber has a great potential in the adsorption of heavy metals, in addition to other contaminants. In relation to copper metal and lead metal, all the results of the works presented in this review were satisfactory, with a removal of these metals by the fiber, above 95% in most cases presented in this work. The advantages of coconut fiber over activated carbon, in addition to its efficiency, are mainly found in its production, as it is natural, it does not cause so many impacts on the environment, there is no air pollution, there is no illegal production and its deforestation occurs in smaller scale, if compared to the production of activated carbon, being an excellent substitute in the process of adsorption of heavy metals.

Keywords: Coconut Fiber. Activated Charcoal. Adsorption. Heavy Metals.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Estruturas do coco verde 9
Figura 2 - Produção em toneladas de Covo Verde 10
Figura 3 - Área Plantada – Coqueiros - Produto das lavouras – Total. 10
Figura 4 - Área Plantada de Coqueiros Por Região. 11
Figura 5 - Compras de coco verde por semana. 12
Figura 6 - Micrografias (MEV) da fibra de coco in natura (mesocarpo de Cocos nucifera L.), sendo (A) com ampliação de 40 vezes e (B) com ampliação de 2.000 vezes. 13
Figura 7 - Esquema da composição geral da fibra de coco 14
Figura 8 - Possíveis grupos funcionais do carbono ativado. 16
Figura 9 - Classes de enquadramento e respectivos usos e qualidade da água. 22
Figura 10 - Processo de adsorção 26

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Caraterização química da casca de coco verde. 14
Tabela 2 - Classificação dos Poros de um Carvão Ativado, segundo a IUPAC. 18
Tabela 3 - Classificação das águas doces. 22
Tabela 4 - Valores Máximos Permitidos – Cobre. 23
Tabela 5 - Valores Máximos Permitidos – Chumbo. 23
Tabela 6 - Padrões de lançamento de efluentes. 24
Tabela 7 - Padrão de potabilidade: valor máximo permitido para substâncias químicas que representam risco à saúde. 24
Tabela 8 - Métodos de tratamentos aplicados para remoção de íons metálicos. 25
Tabela 9 - Fatores para se Obter um Resultado Eficiente Na Adsorção. 28
Tabela 10 - Problemas Relacionados a Produção do Coco verde e do Carvão Vegetal. 31
Tabela 11 - Resumo de todos os resultados da comparação da fibra de coco X carvão ativado. 34
Tabela 12 - Forma de Tratamento e soluções utilizadas. 35
Tabela 13 - Resultados dos estudos realizados na metodologia 1. 35
Tabela 14 - Resumo dos Resultados da metodologia 2. 36
Tabela 15 - Resumo dos resultados finais da metodologia 3. 37
Tabela 16 - Experimentos que apresentaram uma maior e uma menor remoção do cobre. 38
Tabela 17 - Resumo dos Melhores Resultados Obtidos da Metodologia 4. 39
Tabela 18 - Melhores resultados da metodologia 5. 40
Tabela 19 - Resumo dos resultados de todos os estudos sobre o cobre presentes neste trabalho. 40
Tabela 20 - Resumo dos resultados de todos os estudos realizados da metodologia 1. 41
Tabela 21 - Resultados da Metodologia 2. 42
Tabela 22 - Resumo dos resultados da metodologia 3. 42
Tabela 23 - Resumo dos Resultados Metodologia 4. 43
Tabela 24 - Comparação de todos os resultados do estudo de adsorção do cobre e chumbo. 45

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO 7
2. OBJETIVOS 8
2.1. OBJETIVO GERAL 8
2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS 8
3. REFERENCIAL TEÓRICO 9
3.1. COCO VERDE 9
3.2. CARVÃO ATIVADO 16
3.3. METAIS PESADOS 19
3.4. MONITORAMENTO DA QUALIDADE DAS ÁGUAS E DO TRATAMENTO 22
3.5. ADSORÇÃO 26
4. METODOLOGIA 29
5. RESULTADOS E DISCUSSÕES 30
5.1. COMPARAÇÃO DA EFICIÊNCIA DE ADSORÇÃO ENTRE A FIBRA DE COCO E O CARVÃO ATIVADO CONVENCIONAL 30
5.2. EFICIÊNCIA DE ADSORÇÃO DA FIBRA DE COCO – METAL CHUMBO E COBRE. 35
6. CONSIDERAÇÕES FINAIS 46
REFERÊNCIAS 47

1. INTRODUÇÃO

A produção mundial de coco cresceu significativamente, cerca de 10 milhões de toneladas, no período de 2000 a 2014. No Brasil este crescimento é bastante expressivo nos estados litorâneos, principalmente da região nordeste, que detém mais de 76% da produção nacional (EMBRAPA, 2014).

De acordo com os dados da Embrapa (2015), a maior parte do coco verde é composto de casca e endocarpo, aproximadamente 80%. Sua produção gera uma grande quantidade de resíduos, levando em consideração que cerca de 70% do lixo gerado nas praias brasileiras, é composto de cascas de coco verde, por exemplo. O destino final deste material são os aterros e vazadouros, apesar de ser orgânico é de difícil degradação e demora mais de oito anos para se decompor totalmente. Consequentemente, acaba ocorrendo a proliferação de vetores transmissores de doença, diminuindo a vida útil desses depósitos. Contudo, a fibra derivada do coco verde tem sido usada como material adsorvente para remoção de metais pesados de sistemas hídricos principalmente oriundos da contaminação por efluentes industriais e domésticos, que atualmente são um dos maiores responsáveis pela deterioração do ecossistema pelo acúmulo desses metais nos seus efluentes (SILVA et al., 2013).

A expansão do setor industrial acompanhado pelo crescimento populacional, acarretou no aumento da geração de efluentes, que, muitas vezes são lançados diretamente na natureza, mais precisamente nos rios, sem qualquer tipo de tratamento. Causando assim, o aumento da contaminação por metais pesados nos corpos hídricos. Tais contaminação tem se tornado um grande problema ambiental, uma vez que eles não podem ser degradados pelo meio ambiente, e dependendo das características físico-químicas, reagem de forma diferente sendo dispersos ou sedimentados, gerando um perigo potencial pelas características de biodisponibilidade que podem adquirir (JESUS e SANTOS, 2014).

Os metais pesados apresentam efeitos nocivos aos ecossistemas, são bioacumulativos e reativos, afetam a fertilidade do solo e principalmente os corpos hídricos (KELLY, 2018; VERAS, 2020) Independentemente de suas concentrações, podem comprometer a qualidade da água para o consumo humano, como também podem causar diversas alterações nas propriedades físico-químicas da água, ocasionando um desequilíbrio nos ecossistemas aquáticos (ANA, 2021)

Existem vários métodos para a remoção dos metais pesados presentes na água, como por exemplo, oxidação/redução, precipitação química, troca iônica, filtração, separação por

membranas e adsorção. A adsorção ultimamente vem sendo a técnica mais aplicada por possuir uma grande variedade de materiais adsorventes de alta eficiência e custos relativamente baixos. (HEMALATHA et al., 2011; SOUZA et al., 2012).

O acelerado desenvolvimento industrial acontecido nas últimas décadas e o notável aumento no consumo de toda sorte de recursos naturais tem provocado graves problemas ambientais. O novo desafio é tornar compatível o desenvolvimento industrial com a preservação da natureza. Portanto se faz necessário o desenvolvimento de novas ideias e processos de exploração dos recursos naturais, novas técnicas de tratamento e aproveitamento de resíduos (PINO e TOREM, 2011).

Frente aos problemas relacionados com os metais pesados nos recursos naturais e ao acúmulo de resíduos de coco verde, percebe-se a necessidade de diminuir estes impactos causados ao meio ambiente, começando por um tratamento efetivo dos efluentes antes de serem descartados. O uso do coco verde além de ser uma alternativa sustentável, a fibra é eficaz na adsorção de metais pesados e, além disso, possui baixo custo por ser produzido em grande quantidade no Brasil, podendo ser um ótimo substituto do carvão ativado que mesmo sendo efetivo na remoção de metais, causa impactos significativos ao meio ambiente.

2. OBJETIVOS

2.1. OBJETIVO GERAL

Realizar uma revisão da literatura sobre o uso da fibra de coco como adsorvente de metais pesados de forma alternativa ao carvão ativado enquanto estratégia de gestão ambiental sustentável.

2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Analisar a eficiência dos processos de adsorção empregando a fibra de coco;
- Analisar as vantagens do uso da fibra de coco como adsorvente de metais pesados e compará-la com o carvão ativado;
- Avaliar a eficiência de adsorção da fibra de coco frente aos metais pesados: cobre e chumbo.

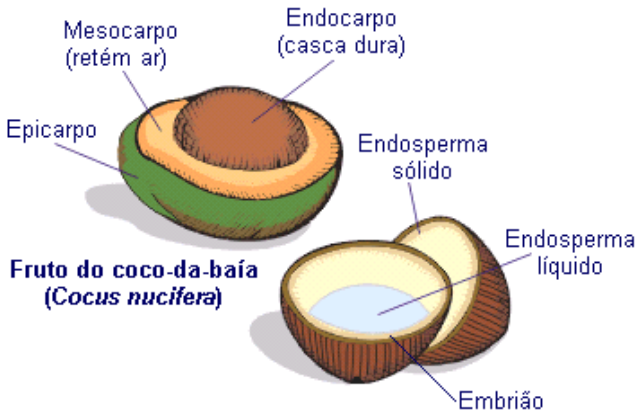
- Analisar a aplicação do uso da fibra de coco como adsorvente de cobre e chumbo no tratamento de água.

3. REFERENCIAL TEÓRICO

3.1. COCO VERDE

A espécie *Cocos nucifera L.* pertence à família *Arecaceae (Palmae*). Esta espécie é composta por algumas variedades, nas quais as mais importantes são *Cocos nucifera var. typica*, conhecida no Brasil como 'Gigante' e *Cocos nucifera var*. nana denominada 'Anã' e o hibrido, resultando do cruzamento entre essas espécies. O coco verde, fruto do coqueiro, possui as seguintes estruturas: epicarpo, mesocarpo, endocarpo, tegumento, albúmen sólido, albúmen Líquido e o embrião, como mostra a figura 1(INCAPER, 2013).

Figura 1 - Estruturas do coco verde



Fonte: Angiospermas - Características das Angiospermas | Educabras

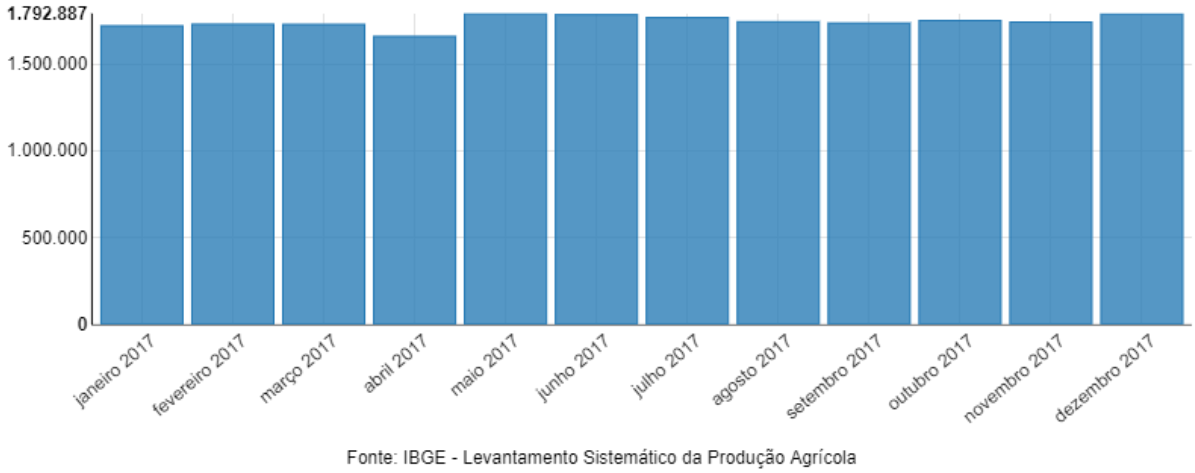
O coco verde é um recurso vegetal de suma importância para humanidade, pois a partir dele pode-se criar e desenvolver inúmeros produtos. Se destaca em muitos países por seus aspectos econômicos, sociais e ambientais (EMBRAPA, 2011).

A produção mundial de coco, estimada para 63,6 milhões de toneladas em 2020, continua bastante concentrada em três Países, Indonésia (30,1%), Filipinas (24,7%) e Índia (19,0%). O Brasil é o quinto maior produtor, com a participação de 4,5% do total mundial, após Sri Lanka, ao longo dessa última década (BRAINER et al., 2020).

No Brasil o cultivo de coqueirais já soma 290 mil hectares, distribuídos entre as variedades: gigante, anão e híbrido (cruzamento entre gigante e anão). E a produção caminha

para 3 milhões de toneladas (MOREIRA, 2011). O último levantamento da produção foi realizado no ano de 2017, com um total de 1.792.887 toneladas de coco verde (popularmente chamado de coco-da-baía), conforme mostra a figura 2.

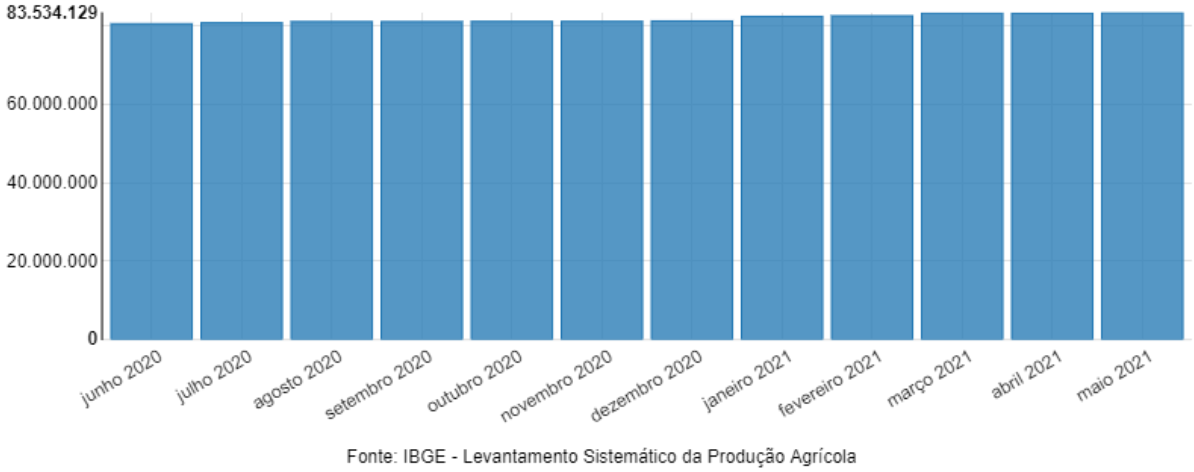
Figura 2 - Produção em toneladas de Covo Verde



Fonte: IBGE – Levantamento Sistemático da Produção Agrícola

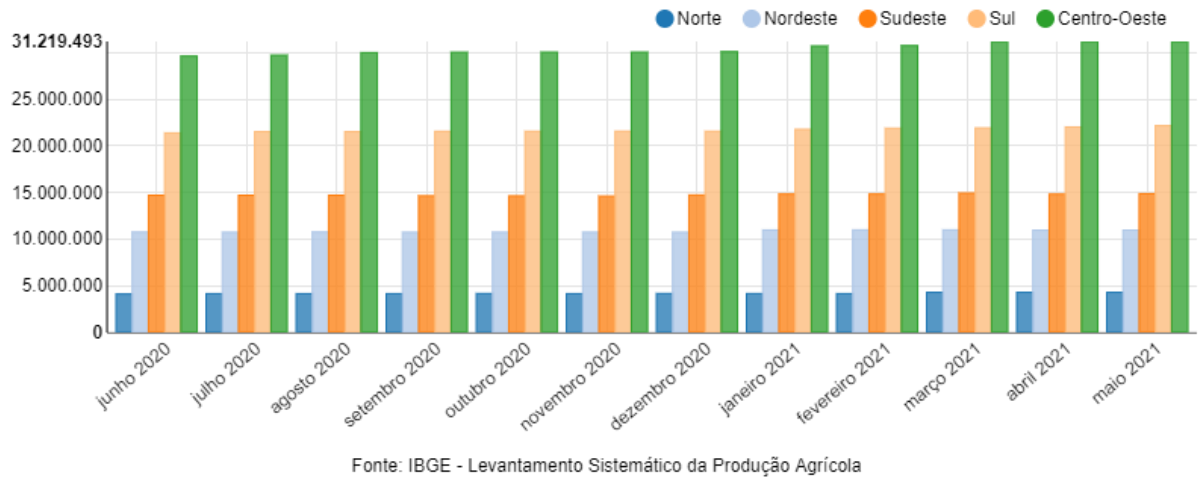
Nos últimos 12 meses a área plantada de coqueiros em hectares chegou a bater 83 milhões, mais precisamente (figura 3), sendo a região centro – oeste em primeiro lugar do Brasil (figura 4), segundo dados do IBGE (2021).

Figura 3 - Área Plantada – Coqueiros - Produto das lavouras – Total.



Fonte: IBGE – Levantamento Sistemático da Produção Agrícola

Figura 4 - Área Plantada de Coqueiros Por Região.



Fonte: IBGE – Levantamento Sistemático da Produção Agrícola

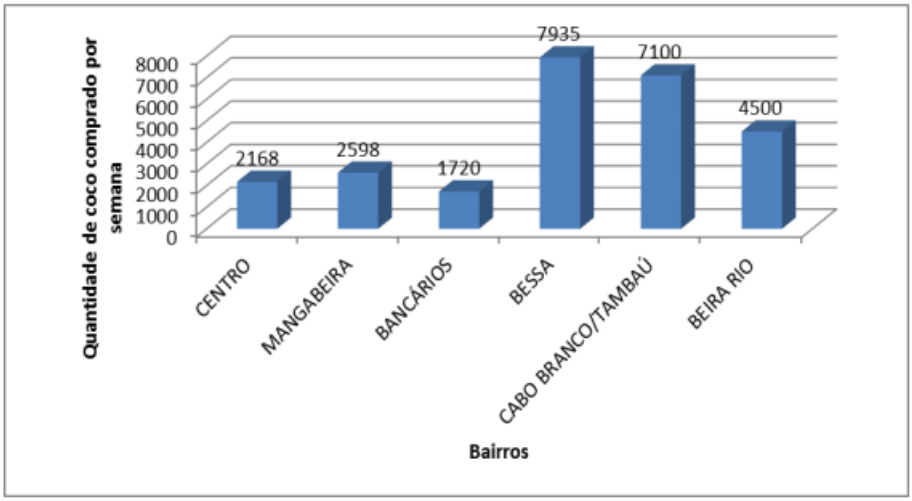
O coco verde é utilizado como biomassa no processo de biossorção, sendo assim é considerado um biossorvente que vem sendo bastante utilizado em tratamentos químicos por seu baixo custo. A camada do mesocarpo de cocos maduros e secos fornece uma fibra lenhosa e dura. Os cocos verdes são os que fornecem a melhor fibra celulósica (SENHORAS, 2003; BOLAÑOS, 2013).

3.1.1. COCO VERDE - RESÍDUOS GERADOS

O Brasil produz anualmente aproximadamente 800 milhões de cocos, gerando um grande problema ambiental no descarte do resíduo, pois 80 a 85% do peso bruto do coco verde é de casca, onde na maioria das vezes não há uma destinação correta para esses resíduos. O coco leva no mínimo oito anos para sua completa biodegradação, sendo assim este resíduo é um material de difícil decomposição (EMBRAPA, 2011).

Na cidade de João Pessoa – PB, o maior consumo de coco verde fica localizado em bairros na beira a mar, no bairro do Bessa e Cabo branco/Tambaú como mostra a figura 5. Isso se deve a grande concentração de quiosques e vendedores ambulantes de coco verde no calçadão da orla, assim como a necessidade de hidratação por meio dos banhistas, praticantes de esportes que circulam por essa área devido ao intenso calor, como também os turistas e moradores que vão apenas a passeio no local (SANTOS et al., 2016).

Figura 5 - Compras de coco verde por semana.



Fonte: SANTOS et al., 2016.

O peso médio do coco verde após o consumo da água é 1,5 Kg. Portanto, na cidade de João Pessoa são descartados cerca de 4000 cocos diariamente. Logo, há aproximadamente seis toneladas de resíduos diários com potencial para a reciclagem (SANTOS et al, 2016).

De acordo com Curia (2017), é de suma importância encontrar uma aplicação segura para o coco verde, conforme a política dos resíduos sólidos para a reutilização. A casca do coco verde pode ser reutilizada de diversas maneiras, desde como substratos para plantas, em artesanatos, como combustível para fogão a lenha e até mesmo nas indústrias há uma utilização ampla, como por exemplo na eliminação de metais pesados no tratamento de água. Encontrar formas que minimizem o impacto desses resíduos sólidos ao meio ambiente é um fator considerável tanto no âmbito econômico, quanto no social e ambiental. Sendo assim, pode-se considerar viável o reaproveitamento da casca do coco verde (BRASIL ESCOLA, 2021)

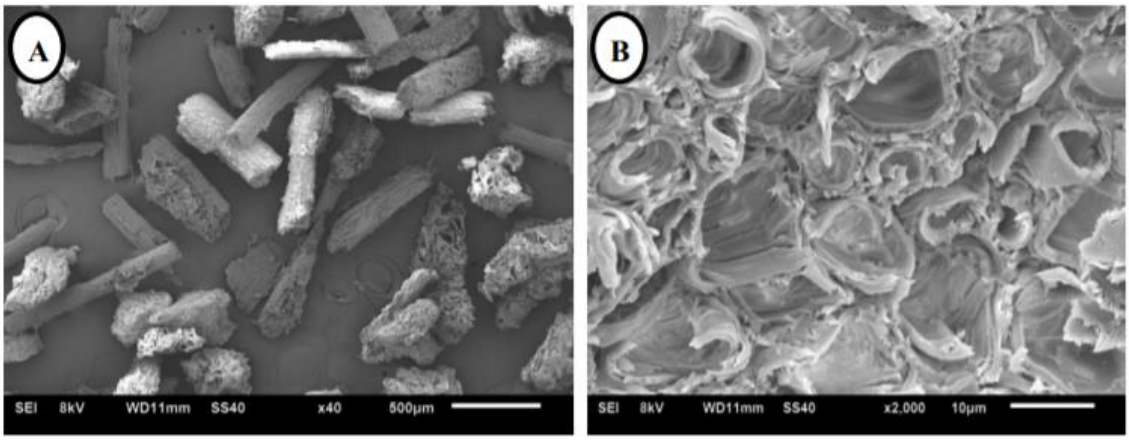
Atualmente, a maioria das cascas de coco, folhas e cachos do coqueiro são descartados como lixo (se tornando em um agente poluidor), ou até mesmo queimados (produzindo substâncias poluidoras ao meio ambiente) nas propriedades rurais produtoras de coco, nas ruas das grandes cidades e em lixões (SILVA e JERÔNIMO 2012).

Um destino alternativo para esse resíduo seria servir de matéria-prima na fabricação de diversos produtos industriais e artesanais ou ainda usado como insumo agrícola e até biomassa, gerando energia (SILVA, 2014). Sendo considerado matérias-primas, infinitas e renováveis, de alto valor para a agricultura, sem as desvantagens ecológicas apresentadas por outros produtos (SILVA e JERÔNIMO, 2012)

3.1.2. USO DA FIBRA DO COCO COMO ADSORVENTE

Devido a sua larga produção, principalmente em cidades litorâneas, e devido a sua composição o coco verde é um excelente material de estudo na adsorção. A fibra de coco in natura apresenta partículas mais compacta e outras mais porosas. Sendo a parte mais porosa a responsável pela retenção do composto contaminante para o interior do adsorvente. Como mostra as micrografias de MEV (Microscópio eletrônico de varredura) da fibra de coco *in natura* (figura 6) (CARDOSO, 2017).

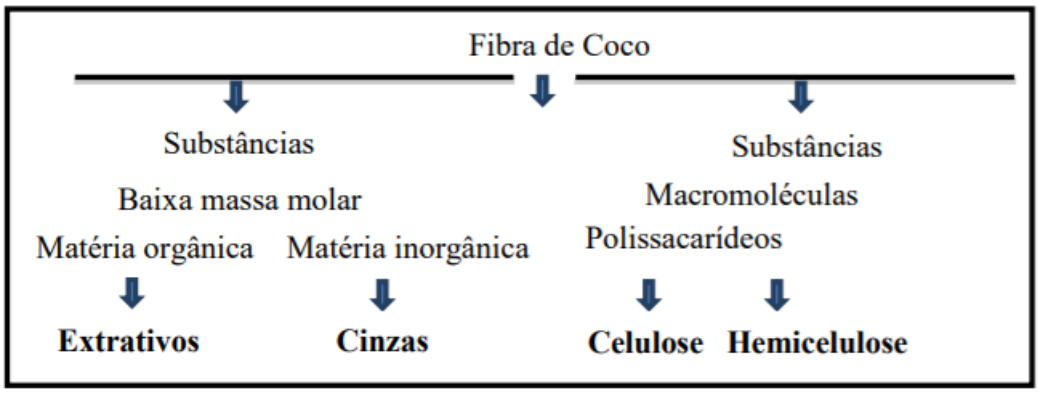
Figura 6 - Micrografias (MEV) da fibra de coco in natura (mesocarpo de Cocos nucifera L.), sendo (A) com ampliação de 40 vezes e (B) com ampliação de 2.000 vezes.



Fonte: CARDOSO, 2017.

As fibras naturais apresentam vários compostos químicos formados a base de hidrogênio (H), carbono (C) e oxigênio (O), além disso a fibra possui quantidades pequenas de sais inorgânicos, pectina, elementos nitrogenados e corantes naturais, denominadas de frações solúveis (SILVEIRA, 2008; FAGURY, 2005; LEÃO, 2012). A figura 7 apresenta um esquema da composição geral da fibra de coco, de acordo com Leão (2012) e na tabela 1 podemos observar as principais características químicas que compõem a fibra, de acordo com Pino (2005).

Figura 7 - Esquema da composição geral da fibra de coco



Fonte: LEÃO, 2012

Tabela 1 - Caraterização química da casca de coco verde.

Elemento	Concentração (g/Kg)	Concentração (mg/Kg)
N	6,52	-
P	1,42	-
K	11,5	-
Ca	6,8	-
Mg	1,79	-
Na	12,5	-
Fe	1,97	-
Cu	-	6,6
Zn	-	31,8
Mn	-	23,8
Matéria Orgânica	-	72,58

Fonte: produzido pelo autor, adaptado de PINO, 2005.

Segundo Catunda et al. (2016), a fibra de coco possui lignina, extrativos totais e o teor das cinzas. Sendo a lignina compondo a maior parte da fibra com cerca de 54%, este percentual elevado caracteriza como um material com alto teor lignocelulósico, o que lhe garante alta durabilidade. Cabral et al. (2017), também observaram uma alta concentração de lignina com 40,10% e a celulose com 24,70%. A fibra também apresenta em sua composição celulose ($C_6H_{10}O_5$) e hemicelulose ($C_5H_8O_4$) (BALAT, 2011).

Os primeiros testes com biossorção foram realizados em 1949 por Rothstein et al., usando biomassa viva, apresentaram evidências de que o urânio age sobre a superfície celular de leveduras (VOLESKY, 1990). E durante muito tempo as biomassas vivas, como fungos, algas, leveduras e bactérias vem sendo usada cientificamente por sua fácil manipulação.

Os produtos agrícolas vêm ganhando espaço por sua vasta quantidade de produtos disponíveis junto com a necessidade de dar um destino final sem causar muito impacto ao meio ambiente. Tais produtos considerados como biomassa morta, são utilizados por muitas pesquisas como biossorvente eficaz para a remoção de diferentes poluentes, saindo na frente das biomassas vivas por seu processo de adsorção ocorrer de forma mais fácil (EL-SAYED e ELSAYED, 2014; BARROS et al. 2017).

A Fibra de coco vem sendo usada em diversos trabalhos no processo de adsorção, muito utilizada também no tratamento de água: na remoção de metais pesados, de agrotóxicos, hidrocarbonetos derivados do petróleo, matéria orgânica e entre outros. Tanto é usada como material principal para o processo de adsorção, como também é usada para potencializar a capacidade de adsorção de outros materiais (VELOSO et al., 2013).

A fibra de coco pode ser utilizada na remoção do agrotóxico parationa metílica, visto que é um material com alta disponibilidade e com alta remoção apresentando cerca de 85% a 90%, dependendo do processo de tratamento da fibra e os demais fatores estudados (CARDOSO, 2017).

Silva et al. (2013), afirmam que a fibra de coco possui uma alta eficiência na adsorção de metais pesados, optando pelo tratamento ou não da mesma, todas as formas apresentaram uma remoção acima de 80%. A fibra tratada com albumina e NaOH, em relação a não tratada, obtiveram melhores resultados chegando a quase 100% de remoção. A alta eficiência na remoção dos dois materiais contaminantes é explicada na composição do pó da casca de coco verde, pois contém altos teores de lignina e celulose as quais possuem grupos hidroxila, metoxi e carboxílicos. Favorecendo na interação entre os materiais contaminantes, dos dois casos citados acima, e a superfície adsorvente.

Segundo Juviniano et al. (2020), A fibra de *Cocos nucifera L.* mostra potencial como biossorvente para o tratamento de efluentes oleosos. A sorção da *Cocos nucifera L.* para o diesel atingiu valores satisfatórios similares aos valores da Turfa Canadense (PeatSorb®), comercialmente utilizado pela Petrobras para remediar derramamentos com óleo.

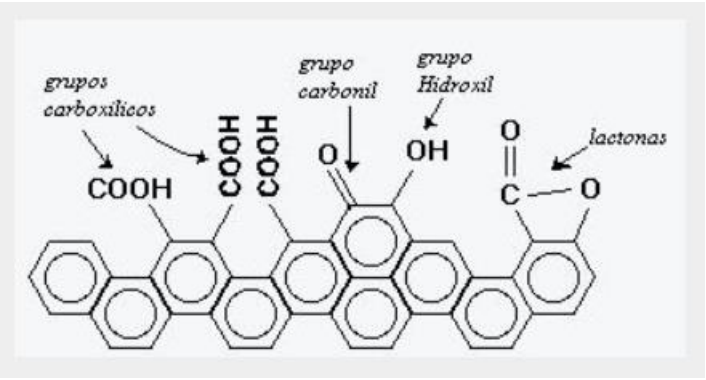
3.2. CARVÃO ATIVADO

A partir da queima controlada, 800°C a 1000°C, de certos tipos de madeira tem-se a obtenção do carvão ativado (FANGMEIER, 2012) essas madeiras devem possuir um alto teor de carbono como por exemplo, o carvão mineral, madeira de alta e baixa densidade, resíduos de petróleo, casca de coco, entre outros. Cada um desses exemplos citados irá produzir um carvão com características próprias e processos de adsorção diferentes devido as suas condições de ativação e a natureza dos agentes ativantes. A temperatura deve ser seguida à risca para evitar que o carvão perca a sua porosidade (TRATAMENTO DE ÁGUA, 2009).

"O interesse sobre o carvão ativado cresceu muito após a Primeira Guerra Mundial, onde o mesmo foi usado contra gases tóxicos. Até o final da guerra, pesquisadores desenvolveram importantes aplicações para o carvão ativo" (TRATAMENTO DE ÁGUA, 2009).

A estrutura do carvão ativado é constituída por camadas hexagonais formadas de carbono tetraédrico, interligadas pelos vértices dos átomos de carbono. Os grupos funcionais carbonilas, carboxila, hidroxila e enóis, influenciam nas propriedades de adsorção do carvão ativado. O oxigênio é o principal átomo que surge na rede de carbono, aparecendo junto dos grupos funcionais (figura 8), podendo também ser acomodada na forma simples, assim como o nitrogênio e o hidrogênio (UFSJ, 2008).

Figura 8 - Possíveis grupos funcionais do carbono ativado.



Fonte: https://ufsj.edu.br/dcnat/carvao_ativo.php

A eficiência do carvão ativado, como material adsorvente, está relacionada com a imensa área superficial, cerca de 1400 $m^2 g^{-1}$, constituída de poros grandes que permitem a passagem das moléculas do composto para o interior do material. O emprego desse material é bastante antigo, os egípcios usavam recipientes revestidos de carvão para estocar a água que bebiam. Apesar do carvão ativado comercial ser considerado um excelente adsorvente, o seu uso em

grande quantidade é, na maioria das vezes, inviável devido ao alto custo de produção e dificuldade de regeneração (BAIRD; VIMONSES et al., 2009; AHMAD, 2009; CANN, 2011; CARDOSO 2017).

3.2.1. O USO DO CARVÃO ATIVADO COMO ADSORVENTE

Segundo Florido (2011), qualquer material orgânico rico em carbono pode ser transformado em carvão ativado. Sua produção envolve, basicamente, dois processos consecutivos: decomposição térmica ou pirólise, que se refere a queima do material com oxigênio insuficiente para evitar uma combustão completa, sob temperaturas entre 500 e 800 ^{o}C. E a ativação do material carbonizado, que tem por finalidade o aumento do volume dos poros e da área superficial.

O tamanho e a distribuição dos poros têm o maior impacto sobre a eficácia da filtração com carvão ativado. A melhor filtração ocorre quando os poros de carbono são suficientemente grandes para permitir a adsorção dos contaminantes.

A International Union of Pure and Applied Chemistry – IUPAC (1982), estabeleceu a seguinte classificação quanto a forma:

- Poro aberto: corresponde a cavidades que se comunicam com a superfície externa.
- Poro fechado: corresponde a uma cavidade isolada.
- Poro transparente: quando atravessa a partícula ou quando existe comunicação entre os poros.

De acordo a IUPAC, os carvões ativados possuem poros com diâmetros classificados como macro, meso e microporos, como podemos observar na tabela 2. Os macroporos apresentam uma desvantagem por ser de baixa capacidade de adsorção, mas podem atuar como poros de transporte, levando as moléculas do adsorbato até os poros menores no interior do carvão. Por outro lado, os mesoporos servem de passagem para os microporos na adsorção. Por fim, os microporos contribuem aproximadamente com 95% do total da área superficial específica do carvão ativado, são de suma importância por possuir uma grande área superficial.

Tabela 2 - Classificação dos Poros de um Carvão Ativado, segundo a IUPAC.

Classificação	Diâmetro Médio dos Poros (nm)	Área Superficial Específica (m^2g^{-1})
Microporos	< 2	400 – 900
Mesoporos	2 - 50	20 -70
Macroporos	> 50	0,5 – 2

Fonte: tabela produzida pelo autor, adaptado de ZAMBRANA, 2013.

O tamanho dos poros varia conforme o tipo de carbono utilizado e do seu método de ativação. Portanto, o tamanho do poro do filtro irá determinar qual contaminante o carvão ativado vai atrair (ZAMBRANA, 2013).

Existem diversos tipos de carvão ativado, sendo o mais convencional os obtidos da madeira. Porém ao passar dos anos, com a necessidade de buscar fontes mais sustentáveis e meios mais viáveis e de baixo custo é possível observar outros materiais sendo usado na fabricação do carvão ativado, como por exemplo carvão ativado obtido através do coco, do pneu, caroço do açaí entre outros. Sendo aplicados em diversas atividades como no tratamento de água, tratamento atmosférico, resíduos industriais, tratamento de efluentes, indústrias farmacêuticas, entre outras (GONÇALVES, 2007; AUTA; HAMEED, 2011; WERLANG, 2013).

Segundo Sousa et al. (2018), em sua pesquisa o filtro com carvão ativado de coco atingiu valor de 97,71% de remoção de ferro total. Destacou-se também o carvão ativado de caroço de açaí atingiu resultado de 86,24%. Sendo o mais eficiente na remoção de ferro total, o carvão ativado produzido a partir de tiras de pneu com uma eficiência de 99,97% do ferro.

Mioranza (2015), apresentou um comparativo entre o carvão ativado da casca de coco e o carvão ativado betuminoso, ou hulha (tipo de carvão mineral) na remoção da gasolina sintética. Com o pH 6 a casca de coco apresentou uma remoção de 94,77% contra 91,04% do betuminoso. A partir destes resultados, o autor concluiu que o carvão proveniente da casca de coco é o melhor para ser empregado no processo de adsorção de gasolina sintética como contaminante em aquíferos.

Stoppep et al. (2019), conclui que o carvão da biomassa do coco verde se mostrou eficiente na remoção do corante azul de metileno de efluentes e pode ser reproduzido em escala industrial, pois apresenta um baixo tempo de saturação do adsorvente, principalmente para concentrações maiores. Analisando os resultados nota-se que para o carvão da biomassa de coco verde a capacidade de adsorção foi muito mais expressiva do que para o carvão ativado

granulado comercial. O carvão da biomassa de coco verde apresenta maior porosidade, fazendo com que sua eficiência como adsorvente seja maior (STOPPEP et al., 2019).

3.3. METAIS PESADOS

Os metais pesados são os elementos químicos que possuem densidade superior a 5,0 g cm^{-3} ou com número atômico maior que 20 e são tóxicos em baixas dosagens. Alguns metais são considerados essenciais para o crescimento de todo os tipos de organismos (desde as bactérias até os seres humanos, como também as plantas e nos recursos naturais), porém apenas em baixa concentrações. Altas concentrações podem danificar sistemas biológicos e contaminar os recursos naturais por serem potencialmente tóxicos (OLIVEIRA, 2018; ADECE, 2019). De acordo com Oliveira (2018), os metais são classificados em:

- Elementos essenciais: sódio, potássio, cálcio, ferro, zinco, cobre, níquel e magnésio;
- Micro contaminantes ambientais: arsênico, chumbo, cádmio, mercúrio, alumínio, titânio, estanho e tungstênio;
- Elementos essenciais e simultaneamente micro - contaminantes: cromo, zinco, ferro, cobalto, manganês e níquel.

Os metais estão presentes no meio ambiente de forma natural, geralmente encontrados em rochas e minerais, apesar do seu potencial poluente das fontes naturais, o grande problema das contaminações dos solos e águas ocorre como consequência das ações humanas. Além do seu estado natural, os metais também estão presentes em muitos compostos usados na indústria e na medicina. Portanto esta influência das atividades humanas interfere no ciclo bioquímico, alterando a forma e a intensidade do transporte ou a maneira como o metal está sendo originalmente (CORRÊA, 2014).

O aumento das atividades humanas associadas com a industrialização e atividades agrícolas, são os principais fatores que contribuem para a poluição em ambientes terrestres. Como por exemplo a metalurgia, mineração, queima de combustíveis, tratamento de resíduos, a aplicação de fertilizantes, irrigação com água residuária, e o crescimento populacional (DONG et al., 2010; KEHRIG & MALM, 2011; SOUZA et al., 2018).

Os metais pesados são altamente tóxicos, bioacumulativos e não biodegradáveis, sendo considerados os contaminantes mais prejudiciais (BURAKOV et al., 2018). Os metais pesados são perigosos na sua forma catiônicas ou ligados a cadeias carbônicas curtas e sua toxidade depende da forma química do elemento. A ação toxica desses metais vem da formação de

complexos com grupos funcionais das enzimas que controlam a velocidade de reações metabólicas importantes ao ser humano (BAIRD, 2002 *apud* RAULINO, 2011).

3.3.1. Cobre

O cobre é um metal de transição, pertencente ao grupo 11 da tabela periódica e pode sofrer vários tipos de reações químicas. Foi o primeiro metal a ser usado pelo homem substituindo a pedra em produtos como na confecção de armas, por exemplo. Hoje em dia é aplicável na fabricação de objetos e ferramentas, em tubos e principalmente em fios condutores de energia. O seu produto mais conhecido é o sulfato de cobre, sendo muito aplicado na agricultura e na jardinagem. Ao ser exposto a água ou ar, o cobre sofre oxidação apresentando uma coloração verde. Contudo possui uma boa resistência à corrosão, possui uma durabilidade alta e é maleável, o que difere de outros metais (RODRIGUES et al, 2012).

Acredita-se que a metalurgia do cobre tenha sido iniciada por volta de 3500 a.C no Egito. Em 1831, quando Faraday descobriu o gerador elétrico, o cobre tornou-se um metal fundamental para o desenvolvimento industrial e, desde então, sua produção expandiu de forma global. Atualmente é o metal mais utilizado em equipamentos e sistemas elétricos, tais como geradores, transformadores, fios, cabos condutores, conectores de aterramento, entre outros (RODRIGUES et. al., 2012).

Naturalmente, o cobre ocorre nas águas apresentando concentrações inferiores a 20 μg L^{-1}. Em concentrações elevadas, atribui sabor às águas e é prejudicial à saúde. Uma concentração de 20 mg L^{-1} de cobre ou um teor total de 100 mg L^{-1}por dia na água, por exemplo, produz intoxicações humanas causando lesões no fígado. Porém, em concentrações menores, como 2,5 mg L^{-1}, é o suficiente para mudar o sabor da água e torna-la desagradável ao paladar (CETESB, 2013).

O cobre está naturalmente presente na atmosfera por dispersão pelo vento e erupções vulcânicas, na natureza, é abundante na forma de sulfetos, arsenitos, cloretos e carbonatos. O cobre elementar não se degrada no ambiente. Algumas ações do homem causam impacto negativo ao meio ambiente, como por exemplo a mineração do cobre gera emissão de CO_2 na atmosfera causando diversos impactos. Seus efluentes e rejeitos provenientes da mineração também contaminam lençóis freáticos e o solo (CETESB, 2013).

3.3.2. Chumbo

O chumbo é um elemento químico pertencente ao grupo 14 da tabela periódica, sendo este um metal representativo, seu ponto de fusão é igual a 327°C; a partir de 550°C começa a produzir vapor, e encontra-se em ebulição a 1740°C (WHO, 1995; MUNHOZ, 2010; PANTALEÃO et al., 2012). Podendo apresentar formas como o chumbo metálico, um metal cinza-azulado extraído de minérios naturais da crosta terrestre, galena, cerusita ou anglesita, as suas principais características são: a capacidade de formar ligas metálicas, a resistência à corrosão, a maleabilidade e o baixo ponto de fusão. A origem do nome é anglo-saxônica, do latim "L. Plumbum", símbolo Pb (CHEMNETBASE, 2012; PANTALEÃO et al., 2012).

O metal chumbo foi descoberto pelo homem por volta 3500 a.C., de acordo com descobertas arqueológicas feitas no Egito. A peça de chumbo mais antiga que se conhece está no Museu Britânico e data de 3800 a.C. Há evidências de alguns povos que já produziam esse metal, como os chineses por volta de 3000 a.C., os fenícios em 2000 a.C., os encanamentos de chumbo que continha as insígnias de imperadores romanos, de 300 a.C, que ainda estão em serviço (ICZ – Instituto de Metal não Ferroso).

Segundo os dados da CETESB (2012), cerca de 40% do chumbo é usado como metal, 25% em ligas e 35% em compostos químicos. O chumbo está presente nos alimentos e nas bebidas, sendo estes por contaminação da embalagem, no tabaco e no ar. Está presente também na água devido às descargas de efluentes industriais, a exemplo dos efluentes das indústrias de baterias, o uso indevido de tintas, tubulações e acessórios a base de chumbo, também são utilizados em eletrodeposição e metalurgia. O Brasil não tem produção primária de chumbo metálico refinado, portanto toda a produção é obtida a partir de reciclagem de material usado. (DEPARTAMENTO NACIONAL DE PRODUÇÃO MINERAL, 2011).

Na saúde humana, a toxicidade do chumbo pode ser aguda e é caracterizada pela sede intensa, vômito, inflamação gastrointestinal e diarreia. A exposição ao chumbo e seus compostos pode causar um envenenamento crônico denominado saturnismo, ocasionada pelo acúmulo de chumbo no corpo afetando o sistema nervoso central. Também é responsável por uma série de outros sintomas, tais como: tontura, irritabilidade, dor de cabeça, perda de memória, quando os efeitos ocorrem no sistema nervoso central e deficiência dos músculos extensores, quando o efeito ocorre no sistema periférico. (CETESB, 2013).

3.4. MONITORAMENTO DA QUALIDADE DAS ÁGUAS E DO TRATAMENTO

Os recursos hídricos são utilizados por diversas finalidades, entre as quais se destacam o abastecimento humano e animal, a geração de energia, a irrigação, a navegação, a aquicultura e a harmonia paisagística. Nas últimas décadas a preocupação em função das ações indevidas e do uso irracional da água, que resulta em uma série de prejuízos à sociedade, veio se tornando cada vez maior. Por consequência disso, a Lei nº 9.433/97 instituiu, no Brasil, a Política Nacional de Recursos Hídricos, criando o Sistema Nacional de Gerenciamento dos Recursos – SINGREH, responsável pela administração das águas em nosso país (ANA, 2021).

O capítulo II art.4º da resolução CONAMA Nº 357, DE 17 DE MARÇO DE 2005, que se refere a classificação das águas doces (tabela 3), que vai desde a classe mais exigente, ou seja, a classe especial que necessita de uma qualidade da água excelente até a classe de usos menos exigentes, como a classe 4, conforme mostra a figura 9.

Figura 9 - Classes de enquadramento e respectivos usos e qualidade da água.

Fonte: Programa Nacional de Qualidade das Águas (2009).

Tabela 3 - Classificação das águas doces.

Classe	Águas destinadas a:
Especial	a) ao abastecimento para consumo humano, com desinfecção b) preservação do equilíbrio natural das comunidades aquáticas c) preservação dos ambientes aquáticos em unidades de conservação de proteção integral.
I	a) ao abastecimento para consumo humano, após tratamento simplificado; b) à proteção das comunidades aquáticas c) à recreação de contato primário, tais como natação, esqui aquático e mergulho d) à irrigação de hortaliças que são consumidas cruas e de frutas que se desenvolvam rentes ao solo e que sejam ingeridas cruas sem remoção de película

II	e) à proteção das comunidades aquáticas em Terras Indígenas. a) ao abastecimento para consumo humano, após tratamento convencional b) à proteção das comunidades aquáticas c) à recreação de contato primário, tais como natação, esqui aquático e mergulho d) à irrigação de hortaliças, plantas frutíferas e de parques, jardins, campos de esporte e lazer, com os quais o público possa vir a ter contato direto e) à aquicultura e à atividade de pesca
III	a) ao abastecimento para consumo humano, após tratamento convencional ou avançado b) à irrigação de culturas arbóreas, cerealíferas e forrageiras c) à pesca amadora d) à recreação de contato secundário e) à dessedentação de animais
IV	a) à navegação b) à harmonia paisagística

Fonte: Adaptado da resolução CONAMA Nº 357, DE 17 DE MARÇO DE 2005.

Os valores máximos de cobre e chumbo permitido de cada classificação dos corpos d'águas, de acordo com a resolução CONAMA Nº 357, de 17 de março DE 2005, encontram – se na tabela 4 e na tabela 5.

Tabela 4 - Valores Máximos Permitidos – Cobre.

Cobre - Valor Máximo Permitido		
Classe I	Classe II	Classe III
0,009 mg L^{-1}	0,009 mg L^{-1}	0,013 mg L^{-1}

Fonte: produzido pelo autor, adaptado de resolução CONAMA Nº 357, de 17 de março de 2005.

Tabela 5 - Valores Máximos Permitidos – Chumbo.

Chumbo - Valor Máximo Permitido		
Classe I	Classe II	Classe III
0,01 mg L^{-1}	0,01 mg L^{-1}	0,033 mg L^{-1}

Fonte: produzido pelo autor, adaptado de resolução CONAMA Nº 357, de 17 de março de 2005.

Das Condições e Padrões de Lançamento de Efluentes, de acordo com a resolução CONAMA Nº 430, de 13 de maio de 2011, Art. 16 -, diz que, os efluentes de qualquer fonte poluidora somente poderão ser lançados diretamente no corpo receptor desde que obedeçam às

condições e padrões previstos neste artigo, conforme mostra a tabela de Padrões de lançamento de efluentes (Tabela 6).

Tabela 6 - Padrões de lançamento de efluentes.

Parâmetros inorgânicos	Valores máximos
Arsênio	0,5 mg L^{-1}
Bário	5,0 mg L^{-1}
Cádmio	0,2 mg L^{-1}
Chumbo	0,5 mg L^{-1}
Cobre dissolvido	1,0 mg L^{-1}
Cromo hexavalente	0,1 mg L^{-1}
Cromo trivalente	1,0 mg L^{-1}
Níquel	2,0 mg L^{-1}
Nitrogênio amoniacal	20,0 mg L^{-1}
Zinco	5,0 mg L^{-1}

Fonte: tabela produzida pelo autor adaptado da resolução CONAMA Nº 430, de 13 de maio de 2011, Art. 16.

O valor máximo permitido para substâncias químicas que representam risco à saúde, de acordo com a portaria Nº 888 de 04 de maio de 2021 do Ministério da Saúde que se refere, a procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade encontram-se na tabela 7.

Tabela 7 - Padrão de potabilidade: valor máximo permitido para substâncias químicas que representam risco à saúde.

Parâmetro	Unidade	VMP*
Antimônio	mg L^{-1}	0,006
Arsênio	mg L^{-1}	0,01
Bário	mg L^{-1}	0,7
Cádmio	mg L^{-1}	0,003
Chumbo	mg L^{-1}	0,01
Cobre	mg L^{-1}	2
Cromo	mg L^{-1}	0,05
Fluoreto	mg L^{-1}	1,5
Mercúrio Total	mg L^{-1}	0,001
Níquel	mg L^{-1}	0,07
Nitrato (como N)**	mg L^{-1}	10
Nitrito (como N)**	mg L^{-1}	1

Selênio	mg L^{-1}	0,04
Urânio	mg L^{-1}	0,03

*Valor Máximo Permitido; ** A soma das razões das concentrações de nitrito e nitrato e seus respectivos VMPs, deve atender ao disposto no Art. 38. Fonte: tabela produzida pelo autor, adaptado da portaria gm/ms nº 888, de 4 de maio de 2021, do ministério da saúde.

Em uma estação de tratamento de água convencional para o devido tratamento da água é preciso passar por algumas etapas, sendo estas: coagulação, floculação, decantação, filtração, desinfecção, fluoretação e correção de pH. Os métodos de tratamento aplicados para a remoção de íons metálicos em águas residuárias incluem (tabela 8): precipitações químicas, recuperação eletrolítica, troca iônica, extração por solvente, coagulação/Flotação, separação por membrana e por adsorção (CATALFAMO et al., 2006; KURNIAWAN et al., 2006; COSTA, 2010).

Tabela 8 - Métodos de tratamentos aplicados para remoção de íons metálicos.

Métodos	Vantagens	Desvantagens
Precipitação química	Simples	Para concentrações altas
		Separação difícil
	Baixo custo	Não muito efetiva
		Produz lamas
Troca iônica	Efetivo	As resinas são de custo elevado
	Possível recuperação do íons metálico	Sensível a presença de partículas
Redução química	Mineralização	Requer agentes químicos
Osmose reversa	Efluente puro (para reciclagem)	Necessitam altas pressões
		Custo elevado
Adsorção com carvão ativado	Adsorvente convencional	Não é efetivo para alguns íons metálicos
Evaporação	Obtenção do efluente puro	Apresentam custo elevado
		Produz lamas

Fonte: tabela produzida pelo autor, adaptado de COSTA, 2010.

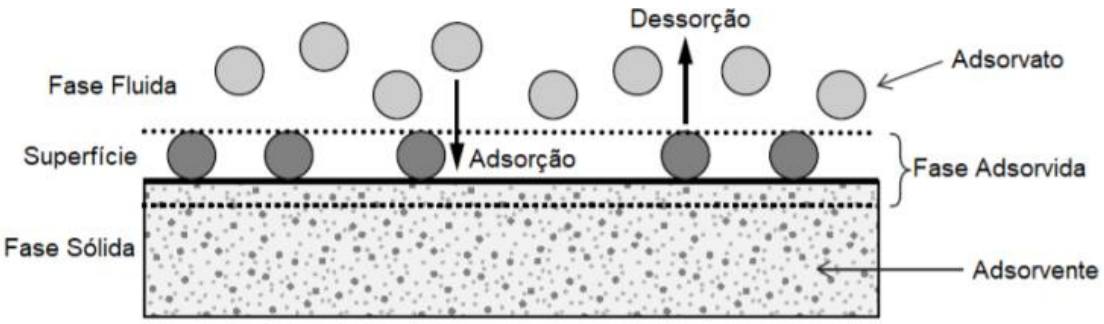
O desenvolvimento de novas tecnologias fez-se necessário devido à grande contaminação química nas águas, como por exemplo a contaminação de rios por metais tóxicos. Com a necessidade de solucionar este problema, removendo esses poluentes, a adsorção nas

últimas décadas veio se tornando importante e é um dos métodos mais populares quando se fala de processos de separação e purificação (NASCIMENTO et al., 2014).

3.5. ADSORÇÃO

A adsorção é um fenômeno de superfície, este processo ocorre quando as partículas gasosas ou líquidas ficam retidas na superfície de sólidos, sendo este um material com uma área superficial elevada. Há duas classificações existentes: adsorbato referente a fase líquida ou gasosa e adsorvente, sendo este referindo-se a fase sólida (SMEDT et al., 2015; CARDOSO, 2017). É um processo que possui a capacidade de concentrar qualquer espécie química em uma região interfacial que separa duas fases, como mostra a figura 10. Esta espécie pode ser: iônica ou não iônica, polar ou não polar, monoatômica ou poliatômica (BANDEIRA, 2007; ABREU, 2013). E processo inverso da adsorção é chamado de dessorção (BURAKOV et al., 2018; ANDRADE NETO, 2019).

Figura 10 - Processo de adsorção



Fonte: ANDRADE NETO, 2019; WORCH, 2012.

A adsorção é bastante utilizada em tratamento de água, principalmente na remoção de substâncias orgânicas e íons inorgânicos de água potável, águas residuais e águas subterrâneas. Geralmente, o carbono ativado é utilizado como adsorvente, mas também são utilizados óxidos e hidróxidos metálicos, zeólitas e argilas minerais (BURAKOV et al., 2018; CAROLIN et al., 2017; WORCH, 2012).

Segundo Letterman (1999), a adsorção de moléculas pode ser representada como uma reação química: $A + B \Longleftrightarrow A.B$

Onde: A é o adsorvato, B é o adsorvente e A.B é o composto adsorvido.

Os compostos permanecem adsorvidos na superfície do adsorvente pela ação e diversos tipos de forças químicas como: Ligação de hidrogênio, Interação Dipolo-Dipolo e Forças de Lodon ou Van der Waals (CARDOSO, 2017).

Existem dois tipos de adsorção, a saber, adsorção física (fisiossorção) e adsorção química (quimiossorção). Em alguns casos os dois tipos podem ocorrer simultaneamente. Na adsorção física, ocorre por uma diferença de energia e/ou forças de atração, o adsorvato é mantido na superfície do adsorvente por interação de Van der Waals. Por outro lado, a adsorção química corresponde uma interação por meio de ligações químicas, que acontece quando as moléculas do adsorvato são ligadas à superfície do adsorvente, ocorrendo alteração molecular das substâncias envolvidas no processo. Por envolver elétrons é considerada uma ligação química mais forte que a fisiossorção (WAKEMAN, 2006; BURROWS, 2007; TRAN, et al., 2015; CARDOSO 2017).

Biossorção

A biossorção é classificada como uma subcategoria da adsorção, utilizando como adsorvente um composto biológico tais como, utilização de resíduos agroindustriais ou também pelo emprego de micro-organismos vivos ou mortos, como bactérias, fungos ou leveduras. Os principais aspectos são o baixo custo, capacidade de regeneração dos adsorventes, alta eficiência e baixo custo visto que a obtenção na matéria prima vem de resíduos industriais (FERREIRA, 2014).

Em 1949, Ruchhoft realizou o primeiro estudo de biossorção, onde removeu o Pu-239 da água com lodo ativado. Porém apenas em 1986 esta técnica foi reconhecida pela Solvent engineering Extration and ion Exchange group of the society of chemical industry (Grupo de extração e troca iônica de engenharia de solventes da sociedade da indústria química) no Reino Unido, como uma tecnologia emergente, ou seja, são todas aquelas tecnologias que têm potencial disruptivo (VOLESKY, 1990; FERREIRA, 2014).

Segundo Nascimento et al. (2014), o processo de adsorção/biossorção depende de vários fatores para se obter um resultado eficiente, são eles: natureza do adsorvente, do adsorvato e das condições operacionais, detalhados na tabela 9.

Tabela 9 - Fatores para se Obter um Resultado Eficiente Na Adsorção.

Fatores	Adsorvente	Adsorvato
Natureza	Área Superficial Tamanho do Poro Densidade Grupos Funcionais Hidrofobicidade	Polaridade Tamanho da Molécula Solubilidade Acidez ou Basicidade
Condições Operacionais	Temperatura, pH e Natureza do Solvente	

Fonte: tabela produzida pelo autor, adaptado de NASCIMENTO et al., 2014.

Algumas alterações ocorrem nas análises devido a interferências como, a influência do tempo, onde mostram quando o equilíbrio é alcançado, acontecendo quando o adsorvente estiver atingido sua capacidade máxima de adsorção; do pH, no qual a interferência é dada pela concorrência por sítios ativos, que são os grupos funcionais estruturados na superfície do biossorvente, que a partir da sua carga proporcionam interações eletrostáticas. Essa relação deve ocorrer com cargas opostas, pois com cargas iguais ocorrem as repulsões eletrostáticas; E por fim a Influência da Área Superficial, em que a adsorção está relacionada a relação de contato entre superfícies (VAGHETTI, 2009; NASCIMENTO et al., 2014).

A processo biossorção pode ser considerado de baixo-custo se levar em consideração os seguintes fatores: abundância na natureza, menor ou nenhum tratamento, e sendo um desperdício material ou um subproduto de outras indústrias. O maior desafio sobre a técnica de biossorção, e saber qual o biossorvente mais adequado para cada tipo de metal tóxico presente, pois o meio de resíduos agroindustriais é bastante amplo e de baixo custo e deve-se levar em consideração apenas aqueles com capacidade de ligação a metais suficientemente elevado e que possuam uma maior seletividade para determinados metais. Também deve-se levar em consideração como melhorar o rendimento realizando uma combinação com outras técnicas físicas, químicas ou biológicas (EL-SAYED e ELSAYED, 2014).

Assim como demonstrado na figura 8, o processo de biossorção envolve uma fase sólida, chamada de sorvente (biossorvente) e uma fase líquida, chamada de solvente, que contém as espécies dissolvidas que serão adsorvidas (sorvato/íon metálico) pelo biossorvente, devido à grande afinidade do sorvente pelas espécies do sorvato. O sorvato é atraído pelo sítio ativo e capturado por diferentes mecanismos até atingir o equilíbrio (VOLESKY, 2003; FERREIRA, 2014).

4. METODOLOGIA

O trabalho desenvolvido é uma revisão sistemática, segue os preceitos de uma pesquisa exploratória, envolvendo levantamentos bibliográficos, que tiveram experiências práticas com o problema. Sendo o tipo de pesquisa quantitativa, com o auxílio de ferramentas estatísticas.

Na pesquisa bibliográfica foram consultadas, artigos, periódicos, monografias, dissertação e teses publicadas na internet que possibilitaram que este trabalho tomasse forma para ser fundamentado. As apresentações dos dados serão através de: gráficos, tabelas e imagens.

Para a comparação dos metais pesados, um total de 9 (nove) trabalhos utilizados nesta etapa da revisão. Sendo estes artigos publicados e monografias, a fim de se obter uma melhor comparação entre as metodologias utilizados e dos resultados obtidos. Na comparação entre a eficiência da fibra de coco e do carvão ativado, foram designados 10 (dez) trabalhos, sendo eles artigos ou monografias. Os trabalhos foram selecionados de acordo com a disponibilidade das literaturas voltados ao tema proposto.

As plataformas utilizadas para a obtenção dos trabalhos científicos foram o Google Acadêmico e Scielo, no qual os descritores usados foram: Tratamento de Água, Fibra de coco, Carvão Ativado, Metais Pesados, Cobre, Chumbo. Alguns dados estatísticos foram obtidos através de site de órgãos públicos, como o Conama, Embrapa, Inmetro, ANA. Outros dados, como as tabelas, foram desenvolvidos pelo autor por meio do software Excel 2016.

Critérios de inclusão foram os trabalhos que possuíram os descritores mencionados acima e que obtiveram uma boa discussão sobre o tema proposto, mostrando todos dados e resultados da pesquisa. Os trabalhos escolhidos foram publicados entre 2011 e 2021, porém com algumas ressalvas para trabalhos anteriores a 2011 que obtiveram resultados semelhantes aos do período atual e que muitas vezes foram usados como referência em diversos trabalhos. Para a avaliação dos resultados desta revisão, foram selecionados os estudos que obtiveram metodologia semelhantes, trabalhos que analisaram e avaliaram os mesmos parâmetros ou pelo menos um deles, como por exemplo: tratamento da fibra, granulometria, pH, estudo da variação da dose, estudo do tempo de equilíbrio. Os critérios de exclusão foram os trabalhos que não possuíam uma semelhança ao tema pesquisado e que não estão de acordo com os critérios de inclusão mencionados acima.

5. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Todos os resultados deste trabalho resultam das análises, das metodologias e resultados, dos trabalhos obtidos no levantamento bibliográfico, voltados ao tema proposto nesta revisão.

5.1. COMPARAÇÃO DA EFICIÊNCIA DE ADSORÇÃO ENTRE A FIBRA DE COCO E O CARVÃO ATIVADO CONVENCIONAL

Devido a sua larga produção, principalmente em cidades litorâneas, o coco verde é um excelente material de estudo. A fibra do coco verde na química é utilizada de diversas formas, sendo elas no tratamento de água na remoção de metais pesados, como biofilme, tratamento para retirar resíduos de óleos, entre outros.

As vantagens da fibra de coco em relação ao carvão ativado. Se encontra principalmente na sua produção, a fibra obtida através do coco verde, fruto do coqueiro (Cocos *nucifera*), uma planta natural. A sua plantação em si não causa impactos tão significativos ao meio ambiente em relação ao carvão ativado. Já a produção do carvão ativado, tem alto custo ambiental, pois é produzido a partir da mata nativa. Na caatinga, o mesmo vem sendo o principal responsável pelo desmatamento irregular na região, segundo o Comitê da Bacia Hidrográfica do Rio São Francisco (2016).

A queima da madeira na produção do carvão causa um impacto significativo ao meio ambiente, liberando os gases não condensáveis, são eles dióxido de carbono (CO_2), monóxido de carbono (CO), metano (CH_4) e etano (C_2H_6). Mesmo com as medidas para a redução da emissão de gases, a sua produção é prejudicial.

Portanto o uso da fibra de coco tem uma maior vantagem em relação ao carvão ativado, principalmente por não possuir um potencial de poluição tão alto comparado ao carvão ativado. A tabela abaixo (tabela 10), apresenta informações de forma resumida dos problemas relacionados as duas produções citadas.

Tabela 10 - Problemas Relacionados a Produção do Coco verde e do Carvão Vegetal.

Desvantagens da Produção e Problemas Relacionados		
	Coco Verde	Carvão Vegetal
Desmatamento	Sim	Sim
Poluição Atmosférica	Não	Sim
Produção Ilegal	Não	Sim
Acúmulo de Resíduos	Sim	Não

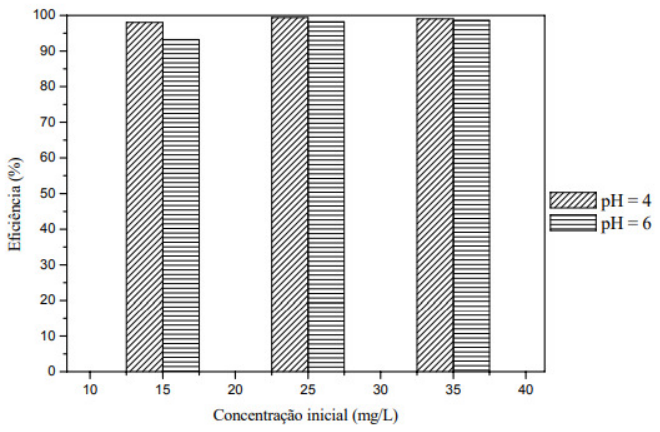
Fonte: próprio do autor, 2021.

Na adsorção, a fibra de coco também possui um bom desempenho em relação a alguns tipos de tratamentos. Assim como o carvão ativado que vem sendo o principal produto quando se fala de adsorção. Porém, devido ao impacto gerado ao meio ambiente se faz necessário procurar outros produtos que não degrade o meio ambiente. Sendo assim os biossorventes, como a fibra de coco, são os mais recomendados.

O carvão ativado, assim como a fibra de coco, possui uma boa eficiência na adsorção de metal. Sendo o carvão ativado o método convencional. Para comprovar tal afirmação, ao longo deste tópico (5.1) algumas referências foram destacadas demonstrando a eficiência dos dois materiais adsorventes, através dos dados obtidos a partir de resultados analíticos.

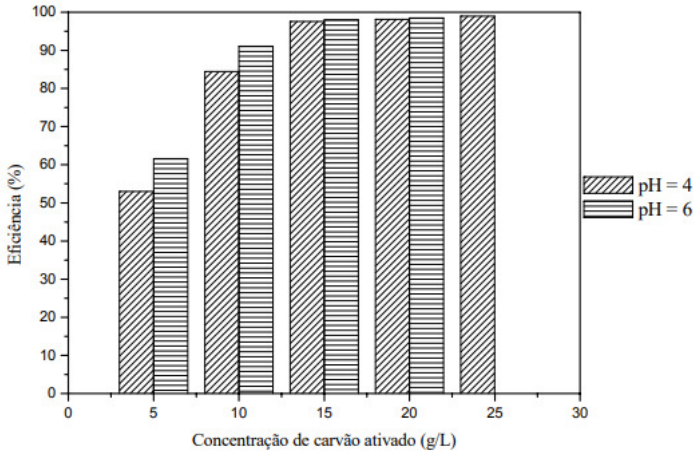
Segundo Alves (2007), a concentração inicial do chumbo e do cobre no efluente, apresentou uma influência significativa na capacidade de adsorção do carvão ativado, como mostra a figura 9 e 10. Independente do pH da solução, a capacidade de adsorção aumenta com a elevação da concentração inicial do metal. Ainda de acordo com a mesma metodologia, o pH escolhido neste estudo foi entre 4 e 6.

Figura 9 - Eficiência da remoção do chumbo em função da sua concentração inicial do efluente: carvão de g L^{-1}e temperatura de 25°C.



Fonte: ALVES, 2007.

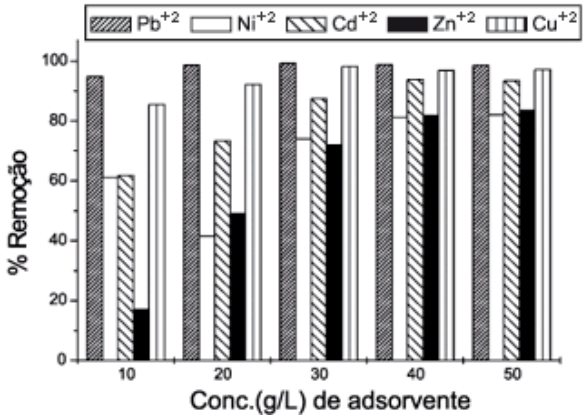
Figura 10 - Eficiência da remoção do cobre em função da sua concentração de carvão ativado: Cu de 25 mg L^{-1} e temperatura de 25°C.



Fonte: ALVES, 2007.

Para comprovar a eficiência da fibra de coco na remoção do chumbo, cádmio, cobre, níquel e zinco, a figura 11 mostra a percentagem de remoção em diferentes concentrações. Onde de acordo com Sousa et al. (2007), a dose de 40 g L^{-1} foi a que obteve um resultado melhor para o cádmio, níquel e zinco e para os metais chumbo e cobre a concentração de 30 g L^{-1} foi a mais eficiente. Sendo o pH 5 escolhido como o mais ideal neste estudo.

Figura 11- Eficiência da fibra de coco na remoção do chumbo, cádmio e cobre



Fonte: SOUSA et al., 2007.

De acordo com Ries (2019), os carvões ativados comerciais apresentaram um elevado desempenho na remoção do cromo hexavalente. Afirmação baseada em sua pesquisa onde o

Carvão Ativado em Pó e Carvão Ativado Granular com grãos menores, com concentração inicial de 2 mg L^{-1}, chegaram a remover 100% do cromo hexavalente em cerca de 100 e 120 minutos, respectivamente. Enquanto o Carvão Ativado Granular com grãos maiores levou cerca de 180 minutos para remover cerca 78,1%. Com base nos resultados podemos observar também que quanto maior a área superficial maior a adsorção do cromo.

Franguelli (2018), afirma que a fibra do coco tem potencial na remoção do cromo hexavalente. De acordo com seus resultados, as soluções de concentrações mais baixas, de 25 mg L^{-1} e de 50 mg/L, apresentaram uma eficiência de remoção de 99,2%, realizados até um intervalo de tempo de 180 minutos, sendo atingido um equilíbrio cinético em 90 minutos e 120 minutos de ensaio respectivamente.

Magalhães (2011), conclui em seu estudo que o pó da fibra de coco verde in natura apresentou o melhor resultado quando utilizado em uma dose de 100 g L^{-1}, com remoção de 90% do cromo VI. Sendo em forma de pó, reteve 96,4% de íons metálicos de cromo VI.

Pimentel (2018), em seu estudo utilizando o carvão ativado produzido a partir da fibra de coco, mostra que dentro os demais produzidos o carvão da fibra após 15 dias de exposição ao sol com a programação de forno com temperatura máxima de 900ºC, rampa de 10ºC/min e um tempo de ativação de 40 minutos, obteve um resultado de remoção de 99% do cromo, partindo de uma solução com concentração inicial de 50 ppm com pH de 5.

Santos (2014), estudou o carvão ativado na adsorção do Zn^{+2}, de acordo com seus resultados, o carvão ativado com granulometria de 3 a 10 mesh, foi possível identificar que o pH com melhor eficiência foi de 6,0, seguido do tempo de contato de 30 min. Com a concentração de 20 g L^{-1} obteve uma eficiência de remoção de 82% dos íons de Zn^{+2}.

Sousa et al. (2007), como mencionado anteriormente (com mais detalhes na figura 10) estudou uso da fibra de coco para remoção do metal zinco. E através dos seus resultados podemos destacar que a fibra de coco com granulometria de 60-99 mesh tratada com NaOH 1,0 mol L^{-1} obteve uma remoção de 95,4% de Zn^{+2} . Também foi constatado que 40 g L^{-1} do material é o suficiente para remoção máxima dos íons de Zn^{+2}, com remoção acima de 80% e com pH 5. Os resultados se assemelham ao de Santos (2014), comprovando que a fibra de coco possui a mesma eficiência que o carvão ativado na remoção do zinco.

Vocciante et al. (2014), utilizaram um carvão comercial (Carbochem TM-PS230) já ativado a partir de cascas de coco e fluxos de ar. Em relação ao potencial máximo de adsorção de cadmio, a amostra com melhor resultado foi a tratada apenas quimicamente com H_2O_2, obtendo 131 mg/g. Já Guerrero et al. (2008) obteve um potencial máximo de adsorção do

cádmio de 11 mg/g a partir do carvão ativado comercial F400, com área superficial de 1000 m^2 /g.

Sousa et al. (2007), realizaram o estudo e constatou-se que o tratamento da fibra com NaOH 1,0 mol L^{-1} resulta uma eficiência de 98,5 % na remoção do Cd^{+2}, com uma capacidade de remoção de 3,68mg/g no tempo de 3h. Com a fibra de coco na faixa de 60-199 mesh, tratada com NaOH 0,1 mol L^{-1} a concentração de adsorvente de 40 g L^{-1} foi o suficiente para um máximo de adsorção do Cd^{+2}, como podemos observar na figura 7 mencionada anteriormente.

Espinola et al. (1998), em sua pesquisa usando a fibra de coco verde para adsorver o cádmio, constatou-se que o equilíbrio ocorre em cerca de 1h com concentração de 10 ppm, a eficiência de remoção foi de 99%, com capacidade de remoção de 1,0 mg/g. Podemos destacar que mesmo sendo uma pesquisa com mais de 20 anos, os dados apresentados são semelhantes aos resultados da pesquisa do Sousa et al. (2007).

Portanto, tanto a fibra de coco quanto o carvão ativado, apresentam uma boa eficiência de remoção, com quase 100%. Comprovando que a fibra de coco pode ser tão eficiente quanto o carvão ativado, se passar por todo o preparo adequado. E por ser um material de fácil acesso e de menos impacto ao meio ambiente, se torna um material viável, de baixo custo e alta eficiência, sendo uma melhor escolha comparado ao carvão ativado comercial. A tabela abaixo (tabela 11) traz o resumo de todos os resultados da comparação entre a fibra de coco e o carvão ativado.

Tabela 11 - Resumo de todos os resultados da comparação da fibra de coco X carvão ativado.

Resultado Remoção % / Capacidade de adsorção (mg/g)		**Referência**
Fibra de Coco	Carvão Ativado	
-	> 95% (Cu^{+2} e Pb^{+2})	ALVES, 2007
> 95 % (Cu^{+2}, Pb^{+2}, Cd^{+2} e Ni^{+2}) e 80% (Zn^{+2})	-	SOUSA et al, 2007
-	100% (Cr VI)	RIES, 2019
99,2% (Cr VI)	-	FRANGUELLI, 2018
96,4%(Cr VI)	-	MAGALHÃES, 2011.
-	99%(Cr VI)	PIMENTEL, 2018.
-	82% (Zn^{+2})	SANTOS, 2014.
-	131 mg/g (Cd^{+2})*	VOCCIANTE et al., 2014.
-	11 mg/g (Cd^{+2})	CHÁVEZ-GUERRERO et al., 2008.
99% / 1,0 mg/g (Cd^{+2})		ESPINOLA et al., 1998

*carvão ativado produzido a partir do coco verde. Fonte: próprio do autor, 2021.

5.2. EFICIÊNCIA DE ADSORÇÃO DA FIBRA DE COCO – METAL CHUMBO E COBRE.

A eficiência da adsorção da fibra depende de alguns fatores, dentre eles, o tratamento da fibra, granulometria, pH, variação da dose e o tempo de equilíbrio. Estes citados são os principais fatores que influenciam bastante no resultado final da adsorção, podendo ser estudados separadamente, com estudos de variáveis ou com valores predeterminados.

5.2.1. Adsorção de Cobre

No estudo realizado por Sousa et al (2007), a fibra de coco passou por diversos tipos de tratamento sendo elas, HCl, HNO_3, H_3PO_4, NaOH, H_2O_2, ambas a 0,1 e 1,0 mol L^{-1}. Entretanto o tratamento que apresentou uma maior eficiência removendo 97,9% de Cu^{+2} foi o tratamento com NaOH 0,1 mol L^{-1}. Enquanto ao tempo de tratamento, não houve uma variação significante em relação aos demais tempos de tratamentos estudados. Detalhes sobre a forma de tratamento e soluções usadas encontram-se na tabela 12 e na tabela 13, o resumo dos resultados encontrados, denominado de *metodologia 1*.

Tabela 12 - Forma de Tratamento e soluções utilizadas.

Solução Estoque	Solução padrão	Tratamento
1000 mg L^{-1} de: $Cu(NO_3)_2.6H_2O$, $Zn(NO_3)_2.6H_2O$, $Cd(NO_3)_2.6H_2O$, $Pb(NO_3)_2$ e $Ni(NO_3)_2.6H_2O$ + água deionizada.	Solução padrão multielementar (100 mg/L em pH 5,0) para o estudo de adsorção em batelada.	Ácido clorídrico (HCl), ácido nítrico (HNO_3), ácido fosfórico (H_3PO_4), hidróxido de sódio (NaOH) e peróxido de hidrogênio (H_2O_2)

Fonte: próprio do autor, 2021.

Tabela 13 - Resultados dos estudos realizados na metodologia 1.

Metodologia 1				
	Tratamento	Granulometria (mesh)	Variação da dose (g L^{-1})	Tempo de Equilíbrio (min)
Resultado	NaOH 0,1mol L^{-1}	60-99 mesh	30 g L^{-1}	5 a 60 min
Remoção %	97,90%	> 95%	> 95%	>90%

Fonte: próprio do autor, 2021.

Para a granulometria, foi estudada uma faixa de tamanho de partículas de 0,246-0,043 mm (60-325 mesh). Os resultados obtidos mostraram que a faixa de 60-99 mesh foi o mais satisfatório, pois apresentou uma remoção de quase 100% de Cu^{+2}, como podemos observar na tabela 13.

Sousa et al. (2007), analisou a fibra com granulometria de 60-99 mesh através da técnica de microscopia eletrônica de varredura, o mesmo destacou que o material é extremamente poroso e apresenta uma superfície bastante irregular. O material bruto é constituído por uma superfície porosa com diâmetro dos poros variando de 40-60 µm. Observou também que, a superfície do material tratado é composta de poros com faixa de diâmetro menor que o material bruto, o que favorece a melhor retenção dos íons metálicos, ou seja, uma maior eficiência na remoção do cobre nessa granulometria.

Para estudo da variação da dose, foram realizados o estudo de dosagem com concentrações variando de 10, 20, 30, 40 e 50 g L^{-1} de adsorvente. Para o metal Cu^{+2}, a máxima capacidade de adsorção do adsorvente foi verificada com uma concentração de material 30 g L^{-1}. Já a cinética de adsorção foi estudada com uma solução multielementar. Constatou-se que o tempo de equilíbrio de adsorção é bastante rápido, ocorrendo dentro dos primeiros 5 min para todos os íons metálicos estudados. A faixa de tempo estudada foi de 0 a 120min, para o Cu^{+2} em até 60 min obteve-se constante apresentando uma remoção acima de 90%. (SOUSA et al., 2007).

No estudo realizado por Silva et al. (2014), analisando a tabela 14, denominada de *metodologia 2*. A fibra de coco foi tratada com solução de NaOH 0,1 mol L^{-1} e constatou-se que a porcentagem de adsorção é melhor quanto maior for o pH da solução. O estudo do pH foi feito através de uma variação de 1 a 4,5, obtendo uma melhor eficiência com o pH 4,5 e apresentando uma adsorção de 90%. Já no estudo da variação da dose, foram feitas solução de cobre 50, 100, 150, 200, 250 e 500 ppm com pH = 4,5. Foi constatado que a fibra da casca do coco verde apresentou maior capacidade de adsorção, acima de 90% de adsorção, em solução de 100ppm de Cu (II) e em pH= 4,5.

Tabela 14 - Resumo dos Resultados da metodologia 2.

Metodologia 2			
	Tratamento	Variação da concentração (ppm)	pH
Resultado	NaOH 0,1 mol L^{-1}	100 ppm	4,5
Remoção %	-	> 90%	90%

Fonte: próprio do autor, 2021.

O resultado do pH poderia ser explicado pela presença de maior número de sítios adsorventes na superfície da fibra nessa faixa de 4,5, o que aumentaria a tendência de interação com os íons de cobre (SILVA et al. 2014).

Segundo Silva et al. (2014), é importante controlar o pH, devido a competição que ocorre entre os íons do metal e os íons H+ presentes na solução pelos sítios da fibra, essa captura pode ser justificada devido a associação e dissociação de alguns grupos funcionais da fibra.

Espasandin et al. (2019), em sua pesquisa, focou na melhor forma de tratamento da fibra de coco para adsorver o cobre, os resultados finais dos estudos realizados encontram-se na tabela 15, denominada de *metodologia 3*.

Tabela 15 - Resumo dos resultados finais da metodologia 3.

Metodologia 3			
	Tratamento	Granulometria (mesh)	Tempo de Equilíbrio (horas)
Resultado	NaOH 0,1 mol L^{-1}	18 a 42 mesh	3h e 6h
Remoção %	> 96 %	-	> 96%

Fonte: próprio do autor, 2021.

.

De acordo com Espasandin et al. (2019), no estudo da granulometria, o melhor resultado obtido foi na faixa de 18 a 42 mesh. A superfície de contato entre o adsorvente e o adsorvato desempenha um importante papel no fenômeno da adsorção, assim como o tamanho da partícula adsorvente (RAO et al., 2002; ARRUDA, 2003; RAULINO, 2011).

Partículas menores apresentam maior adsorção de íons metálicos em um adsorvente sólido por apresentarem maior superfície de contato. Entretanto, as partículas maiores também apresentam um bom nível de adsorção, mas por apresentarem uma maior transferência de massa do que as partículas pequenas (TARLEY; ARRUDA, 2003; PINO, 2005; RAULINO, 2011).

A partir de um planejamento fatorial, através de realização de 8 experimentos, a tabela 16 mostra os 2 maiores e menores resultados de remoção do cobre em cada tratamento em que a fibra foi exposta. Levando em consideração todos os experimentos, o tratamento NaOH 0,1 mol L^{-1} apresentou a maior retenção dos íons cobre (II) em soluções aquosas. Obtendo um melhor resultado, sofrendo uma menor variação na porcentagem de remoção comparado com os demais tratamentos (ESPASANDIN et al., 2019).

Tabela 16 - Experimentos que apresentaram uma maior e uma menor remoção do cobre.

Tratamentos	Exp. Maior Remoção / (%)Cu^{+2}	Exp. Menor Remoção / (%)Cu^{+2}
H2O	1 (97,04 %) 3 (94,90 %)	2 (90,17 %) 8 (77,56 %)
NaOH 0,1 mol L^{-1}	3 (96,67 %) 5 (96,48 %)	1 (85,22 %) 4 (95,08 %)
HNO_3 0,1 mol L^{-1}	1(83,55%) 5(85,45 %)	3 (70,27 %) 2 (70,52 %)

Exp 1: [Cu2+]inicial: 100 (mg.L-1) Casca/ Volume (g/mL): 1 / 25 Tempo (h): 3; **Exp 2:** [Cu2+]inicial: 100 (mg.L-1) Casca/ Volume (g/mL): 1 / 50Temp o (h): 6; **Exp 3:** [Cu2+]inicial: 200 (mg.L-1) Casca/ Volume (g/mL): 1 / 25Tempo(h): 3; **Exp 4:** [Cu2+]inicial: 200 (mg.L-1) Casca/ Volume (g/mL): 1 / 50Tempo (h): 6; **Exp 5**: [Cu2+]inicial: 100 (mg.L-1) Casca/ Volume (g/mL): 1 / 25 Tempo (h): 6; **Exp 8 :** [Cu2+]inicial: 200 (mg.L-1) Casca/ Volume (g/mL): 1 / 50 Tempo (h): 3. Fonte: tabela produzida pelo autor, adaptado de Espasandin et al. (2019).

A explicação se deve porque quando a fibra da casca de coco verde é submetida ao tratamento com NaOH, os compostos fenólicos solúveis presentes na fibra são removidos, provavelmente são extraídos por hidrólise alcalina, deixando os sítios ativos mais disponíveis, melhorando, assim, a adsorção (SEGUNDO GURGEL, 2007 E SALVADOR; LAUS; FÁVERE, 2009; ESPASANDIN et al., 2019).

Para os três tipos de tratamento H_2O e NaOH 0,1 mol L^{-1} e HNO_3 1,0 mol L^{-1}, com o aumento da razão casca de coco/volume de solução e aumento da variável concentração de cobre (II)) ocorreu um aumento da capacidade de adsorção de íons cobre (II) para os pré-tratamentos estudados. Pode-se justificar os melhores resultados de adsorção no pré-tratamento realizados em água e em meio básico quando comparados com o pré-tratamento em meio ácido, pois através de análise Microscopia Eletrônica de Varredura pode-se observar que em meio ácido devido a sua desidratação, leva ao fechamento dos poros. Já em meio básico os poros se expandem, apresentando tamanhos maiores (ESPASANDIN et al., 2019).

Raulino (2011), através de uma determinação granulométrica, obteve um resultado de 85% do pó da casca de coco na faixa granulométrica de 10 a 60 mesh. Assim como em outros trabalhos mais antigos, Rosa et al (2001) encontrou um valor de 78% para a mesma faixa granulométrica citada acima. Pino (2005) no estudo da remoção de cromo (III) e o Sousa (2007) estudando o cobre, níquel, zinco cadmio e chumbo, não observaram um efeito significante na eficiência da remoção na faixa de 60 a 199 mesh, já em faixas menores de 200 mesh apresentou-se um pequeno decréscimo na adsorção desses metais.

De acordo com Raulino (2011), o melhor tratamento para a fibra de coco em relação a capacidade de adsorção foram os tratamentos com albumina, NaOH e água, que obtiveram

melhores resultados (capacidade de adsorção: 2,45; 2,47 e 2,45) na remoção dos íons metálicos, em relação ao tratamento com água quente (capacidade de adsorção: 2,31), que apresentou valores menores de remoção. Porém é importante destacar que a capacidade de adsorção para o cu^{+2} praticamente não sofreu influência pelos diversos tratamentos. A tabela abaixo (tabela 17), denominada de *metodologia 4*, mostra os melhores resultados obtidos.

Tabela 17 - Resumo dos Melhores Resultados Obtidos da Metodologia 4.

Metodologia 4			
	Tratamento	Granulometria (mesh)	pH
Resultado	NaOH 0,1 mol L^{-1}	10 a 60 mesh	6

Fonte: próprio do autor, 2021.

Diferente dos resultados do Silva et al., 2014, citado acima, Raulino (2011) encontrou um melhor resultado em seu teste com a fibra de coco submetida ao tratamento com NaOH com pH 6 e capacidade adsortiva de 17,08 $mg.g^{-1}$ valor superior em comparação ao pH inferior a 5. pH elevado podem levar a complexação e precipitação do cobre, enquanto o baixo pode reduzir a adsorção dos metais por meio da protonação do material (NAJA E VOLESKY, 2006; RAULINO, 2011).

Outra explicação se deve ao fato de que em meio ácido, ocorre repulsão eletrostática entre os íons metálicos e a superfície da biomassa, e o efeito competição é acentuado. No entanto, em meio alcalino, as hidroxilas aumentam o número de sítios de adsorção na superfície da fibra em função dos grupos R-COO, $R\text{-}CH_2O$ e RO- do material adsorvente, ocorrendo provável interação com o metal (SALVADOR et al.,2009; MUHAMAD et al., 2010; RAULINO, 2011).

Os resultados do pH mais antigos realizados por Salvador (2009), estão de acordo com os apresentados por Raulino (2011), onde mostram que a fibra de coco verde tratada com NaOH 0,1 mol L^{-1} é dependente do pH da solução e a adsorção máxima ocorreu em pH 6,0.

De acordo com Salvador (2009), o pó de casca de coco verde é um adsorvente eficaz e possui um bom potencial de adsorção de cobre (II). A eficiência do processo de remoção, para concentrações de 20 mg L^{-1}, foi de 96,1%, gerando uma solução final com concentração de 0,731 mg L^{-1}. O estudo cinético mostrou que o equilíbrio foi atingido em 9 horas e a capacidade máxima de adsorção (qm) observada para o adsorvente foi de 13,04 mg g^{-1}. A tabela abaixo (tabela 18), denominada de *metodologia 5* mostra os melhores resultados obtidos.

Tabela 18 - Melhores resultados da metodologia 5.

Metodologia 5			
	Tratamento	Variação da Concentração (mg L^{-1})	pH
Resultado	NaOH 0,1 mol L^{-1}	20 mg L^{-1}	6
Remoção %	-	96,10%	-

Fonte: próprio do autor, 2021.

Os resumos dos melhores resultados obtidos de cada estudo encontram-se na tabela 19 abaixo. Podemos observar que no estudo da granulometria houve uma semelhança nos resultados, a faixa granulométrica obtida apresentou valores aproximados. No estudo da variação da concentração, Silva et al. (2014) e Espasandin et al. (2019), chegaram a mesma conclusão de que 100 mg L^{-1} é o resultado mais eficiente para o cobre. Já o pH ideal, a maioria encontrou uma maior eficiência no pH entre 5 e 6, entretanto faz-se necessários a realização de mais testes de pH, pois poucos estudos foram feitos, muitos optaram por escolher valores fixos. Em todas as referências o pré-tratamento ideal é o NaOH 0,1 mol L^{-1}. O tempo de equilíbrio variou bastante em cada estudo, pois cada um analisou intervalos de tempos diferentes.

Tabela 19 - Resumo dos resultados de todos os estudos sobre o cobre presentes neste trabalho.

Pré -Tratamento	**Resultado (Granulometria / V. Dose/ V. concentração/ T. Equilíbrio/ pH)**	**Referência**
NaOH 0,1 mol L^{-1}	60-99 mesh; 30 g/L ;(-); 5 a 60 min; 5*	Sousa et al., 2007
NaOH 0,1 mol L^{-1}	(-);(-);100mg L^{-1};(-);(-) 4,5	Silva et al., 2014
NaOH 0,1 mol L^{-1}	18 a 42 mesh; 40g/L;100 mg L^{-1} ; 3h e 6h; (-)	Espasandin et al., 2019
NaOH 0,1 mol L^{-1}	10 a 60 mesh; (-);(-);(-); 5 e 6	Raulino, 2011
NaOH 0,1 mol L^{-2}	(-);(-)20mg L^{-1}; 9h; 6*	Salvador, 2009

(-) = sem dados informados; * = valor fixo. Fonte: próprio do autor, 2021.

5.2.2. Adsorção de Chumbo

Monteiro (2009), realizou estudo com a granulometria numa faixa fixa de 80 mesh, e o resultado encontrado com melhor eficiência do estudo do pH, numa faixa de 0 a 8, foi de 6, como podemos observar na tabela 20 (denominada de *metodologia 1*). Esse comportamento sugere a adsorção dos íons Pb^{+2} pelos grupos hidroxila (-OH) e carbonila (C=O) presentes na estrutura química da palha de coco. Em meio ácido, de pH baixo, os íons H+ competem com os íons Pb^{+2} pelos grupos hidroxila e carbonila, de forma que a adsorção é menor. Quanto maior o valor de pH menor a quantidade de íon H^{+} na solução, portanto menor competição com os íons Pb^{+2} pelo OH e C=O aumentando a adsorção dos mesmos.

Tabela 20 - Resumo dos resultados de todos os estudos realizados da metodologia 1.

Metodologia 1				
	Granulometria (mesh)	pH	Variação da dose (g L^{-1})	Tempo de Equilíbrio (min)
Resultado	80	6	16.7	40
Remoção%	-	-	> 90%	> 95%

Fonte: próprio do autor, 2021.

No estudo da variação da dose, o resultado obtido com melhor eficiência foi de 16.7 g L^{-1}, ou seja, 0.050 g de palha de coco em 0.003 L de solução. Isto mostra que quanto maior a dose de fibra de coco, maior a porcentagem de remoção dos íons Pb^{+2} até atingir um equilíbrio. O valor proporciona uma boa capacidade de adsorção, com uma porcentagem de remoção de aproximadamente 90% para solução de pH 5. Já no estudo sobre o tempo de equilíbrio variou-se o tempo de agitação entre 20 e 300 min. O resultado final mostrou que a cinética de adsorção é rápida. A partir de 40 minutos a porcentagem de remoção tornou-se constante, atingindo o equilíbrio, com remoção acima de 95% de Pb^{+2} (MONTEIRO, 2009).

De acordo com os resultados de Chaves et al. (2017), com granulometria de 18-42 mesh, a fibra de coco foi submetida a 3 tipos de tratamento, no qual todos obtiveram um resultado significativo. Entretanto o tratamento com NaOH a 0,1 mol L^{-1} obteve um percentual de remoção de 99,02% seguido da Água, com 98,11%, do HNO_3 1,0 mol L^{-1} com 97,86% e abaixo de 90% encontra-se o NaOH 1,0 mol L^{-1}com remoção de 89,16%. Em resumo, os resultados finais encontram-se na tabela 21, denominada de *Metodologia 2*.

Tabela 21 - Resultados da Metodologia 2.

Metodologia 2		
	Granulometria (mesh)	Tratamento
Resultado	18-42 mesh	NaOH 0,1 mol L^{-1}
Remoção%	-	99,02%

Fonte: próprio do autor, 2021.

Através desses resultados, Chaves et al. (2017) concluíram que a fibra de coco verde pré-tratada com NaOH 0,1 mol L^{-1}se mostrou uma alternativa possível para o tratamento de soluções contendo chumbo devido aos resultados promissores obtido.

Sousa et al. (2007), além do estudo sobre o cobre mencionado acima, também realizou estudos para avaliar a eficiência da remoção do chumbo usando a fibra de coco. Assim como o cobre, o chumbo também obteve uma maior eficiência no tratamento com NaOH 0,1 mol L^{-1}, apresentando uma remoção de 97,9%. A granulometria escolhida foi de 60-99 mesh, com remoção de quase 100% de Pb^{+2}. Já no estudo da variação da dose, a concentração que apresentou uma melhor eficiência foi de 30 g L^{-1}, com remoção de 95% de Pb^{+2}. Por fim, com a variação do tempo de 0 a 120min, o Pb^{+2} manteve-se constante até 60 min, depois caiu um pouco a porcentagem de remoção, porem permanecendo acima de 90%. Os resultados encontram-se resumidos na tabela 22, denominada de *metodologia 3*.

Tabela 22 - Resumo dos resultados da metodologia 3.

Metodologia 3				
	Tratamento	Granulometria (mesh)	Variação da dose (g L^{-1})	Tempo de Equilíbrio (min)
Resultado	NaOH 0,1 mol L^{-1}	60-99 mesh	30 g L^{-1}	5 a 60 min
Remoção %	97,90%	> 95%	> 95%	>90%

Fonte: próprio do autor, 2021.

Castro et al. (2020), realizou seus experimentos em batelada, analisando as seguintes variáveis: Tempo de contato (10, 25 e 40 minutes), pH (3, 4 e 5), concentração dos metais (10, 55 e 100 mg L^{-1}), concentração da biomassa (10, 25 e 40 g L^{-1}) e granulometria (45, 60 e 80 mesh). Em resumo, os resultados finais encontram-se na tabela 23, denominada de *Metodologia 4*.

Tabela 23 - Resumo dos Resultados Metodologia 4.

Metodologia 4					
	Granulometria	pH	Variação da Dose (g L^{-1})	Variação da Concentração (mg L^{-1})	Tempo de Contato (min)
Resultado	60 mesh	4	25 g L^{-1}	100 mg L^{-1}	25min
Remoção %	97,42%	97,34%	97,54%	96, 43%	97,83%

Fonte: próprio do autor, 2021.

Os resultados obtidos mostraram que a maior remoção do Pb^{+2} ocorreu na granulometria de 60 mesh com 97,42 %, nas demais granulometrias apresentaram um valor a baixo de 95%, sendo 80 mesh com 91 % e 45 mesh com 88,15%.

O tamanho de partícula do pó da fibra da casca de coco é um dos parâmetros investigados para ser aplicado na adsorção de íons metálicos, uma vez que a granulometria tem forte influência no número de sítios ativos de adsorção na superfície do material biossorvente. Além disso, diversos materiais apresentam melhor capacidade de adsorção quando possuem maiores superfícies de contato. Assim, a superfície de contato entre o material sorvente e a fase líquida (solvente) também desempenha um papel fundamental no processo de adsorção (TARLEY; ARRUDA, 2004; CASTRO et al., 2020).

Segundo Castro et al. (2020), o pH 4 é o ideal, com remoção de 97,34 % do Pb^{+2}. A explicação se deve ao fato de que, os íons Pb^{+2} em pH básico reagem ao excesso de íons OH^{-} e formam bases insolúveis que não são adsorvidas pela fibra de coco (FERREIRA et al., 2012).

O pH é um dos parâmetros mais importantes na biossorção de metais potencialmente tóxicos, uma vez que a especiação do metal na solução e a carga dos sítios ativos na superfície do material biossorvente podem variar dependendo do pH da solução (VOLESKY, 2004; CASTRO et al., 2020).

A dependência do pH das técnicas de adsorção de íons metálicos baseadas no uso de biomassa pode ser explicada através da associação e dissociação de alguns grupos funcionais encontrados nas matrizes utilizadas no tratamento. Um grande número de grupos funcionais (ácidos carboxílicos) apresenta cargas negativas e podem atrair íons de carga positiva por meio de interações eletrostáticas quando o valor do pH aumenta (CHUBAR; CARVALHO; NEIVA, 2004; CASTRO et al., 2020).

Como observamos na tabela dos resultados anteriormente (tabela 23), a concentração de material biossorvente de 25 g L^{-1} foi suficiente para permitir a remoção máxima de Pb^{+2}, com 97,54%. A concentração inicial de biomassa deve ser avaliada para auxiliar na determinação da quantidade mínima de material adsorvente necessária para possibilitar a remoção máxima de íons metálicos, uma vez que este item tem forte influência nos custos com tratamentos aplicados aos sistemas de abastecimento de água. (VOLESKY, 2004; CASTRO et al., 2020).

No estudo de variação da dose, Castro et al. (2020) explica que, houve uma alta proporção entre o número de sítios ativos na biomassa e os íons em baixas concentrações iniciais de Pb^{+2} na solução. A eficiência de remoção aumentou conforme a concentração inicial de íons também aumenta, pois, os sítios ativos na superfície do biossorvente não estão totalmente saturados. Com a concentração inicial de 100.06 mg L^{-1}, obteve uma remoção de 96, 43%. Este resultado evidencia que a concentração máxima de íons metálicos utilizada no experimento (100 mg L^{-1}) não saturou os sítios ativos da fibra de coco nas condições experimentais aqui aplicadas.

No estudo da variável de tempo de contato, observando os dados da tabela acima (tabela 23), os resultados mostraram que o tempo de 25 min obteve um melhor resultado com 97.83% de remoção do Pb^{+2}, seguido do tempo de 25min com remoção de 97,83%. Portanto, a eficiência de adsorção dependeu diretamente do tempo de agitação e indiretamente do tempo de contato para encontrar o equilíbrio. A concentração de adsorvato restante na solução diminuiu com o tempo até atingir um valor constante além do qual não houve mais remoção de adsorbato da solução. Deste ponto em diante, a quantidade de íons adsorvida pelo biossorvente estava em equilíbrio dinâmico com a quantidade dessorvida. O tempo necessário para atingir tal estado é conhecido como tempo de equilíbrio (MONTEIRO, 2009; BONIOLO; YAMAURA, 2012; CASTRO et al., 2020).

Em resumo, para uma melhor comparação dos resultados, a tabela abaixo (tabela 24) mostra todos os possíveis melhores resultados de adsorção do cobre e chumbo de todos os experimentos mencionados.

Tabela 24 - Comparação de todos os resultados do estudo de adsorção do cobre e chumbo.

Pré -Tratamento	Resultado (Granulometria / V. Dose/ V. concentração/ T. Equilíbrio/ pH)	Referência
—	80 mesh; 16,7 g L^{-1};(-); 40 min; 5 e 6	Monteiro, 2009
NaOH 0,1 mol L^{-1}	18 - 42 mesh; (-);	Chaves et al., 2017
NaOH 0,1 mol L^{-2}	60 -99 mesh; 30 g L^{-1}; (-); 5 a 60 min; 5*;	Sousa et al., 2007
-	60 mesh;25 g L^{-1}; 100 mg L^{-1}; 25min; 4	Castro et al, 2020

(-) = sem dados informados. * = valor fixo. Fonte: próprio do autor, 2021.

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

De acordo com os trabalhos expostos nessa pesquisa, pode-se dizer que a fibra de coco tem um grande potencial na adsorção de metais pesados, além de outros contaminantes. Contudo é de grande importância a realização de mais estudos, pois não há muitos dados voltados a essa temática. Assim como o carvão ativado, a fibra poderá apresentar uma menor eficiência com um determinado metal, como por exemplo, o metal zinco que obteve eficiência de remoção > 80%. Contudo, em relação ao metal cobre e ao metal chumbo os resultados foram satisfatórios, com uma remoção desses metais acima de 95% na maioria dos casos apresentados neste trabalho. Portanto, os melhores resultados de adsorção do metal cobre foram: NaOH 0,1 mol L^{-1} (tratamento da fibra), 60 - 99 mesh (granulometria), 30 g L^{-1} (variação da dose), 100 mg L^{-1} (variação da concentração), 5 ou 6 (pH), o tempo de equilíbrio fica em aberto, pois houve uma maior divergência entre os autores. Para o metal chumbo: NaOH 0,1 mol L^{-1} (tratamento da fibra), 60 – 99 mesh (granulometria), 25 a 30 /L (variação da dose), 100mg/L (variação da concentração), 5 ou 6 (pH), para o tempo de equilíbrio até 60 minutos mostrou-se ser o ideal.

Dentro dos princípios de um desenvolvimento sustentável, tem-se como regra que a química deve manter e melhorar a qualidade de vida. Muitos acreditam que a sustentabilidade vai contra ao crescimento econômico, pois são retirados do seu conforto prático e obrigados a adotar sistemas novos que agridam menos o meio ambiente. No entanto, todos os seres vivos necessitam dos recursos naturais para viver e destruindo-os trazem impactos significativos a longo e curto prazo, trazendo prejuízos não só ao meio ambiental, como também ao meio econômico e social. Portanto a gestão ambiental, busca trazer esta união de forma que nenhum dos envolvidos, empresa/industrias e o meio ambiente, saiam tão prejudicados. Buscando formas para minimizar os impactos ocasionados pelo homem ao meio ambiente e ao mesmo tempo trazendo soluções para o problema. Dessa maneira, de acordo com as pesquisas realizadas pelos autores propostos neste trabalho, a fibra de coco apresenta-se como uma alternativa sustentável, de baixo custo e fácil obtenção, podendo ser um ótimo substituto do carvão ativado, diminuindo os impactos ao meio ambiente, sendo um fator positivo economicamente. Assim, a adsorção de cobre e chumbo através da fibra de coco, torna-se uma excelente estratégia de gestão ambiental permitindo um processo viável na descontaminação dos corpos hídricos.

REFERÊNCIAS

ABREU, M. B. D. **Preparação De Carvão Ativado De Bagaço de Cana de açúcar E Sua Aplicação Na Adsorção De Cd (II) e Cu (II).** 2013. 53 f. TCC (Graduação no Curso Superior de Tecnologia em Processos Químicos) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR, Apucarana, 2013. Disponível em: http://repositorio.roca.utfpr.edu.br/jspui/bitstream/1/3404/1/AP_COPEQ_2012_2_02.pdf. Acesso em: 7 jun. 2021.

ADECE - AGÊNCIA DE DESENVOLVIMENTO DO ESTADO DO CEARÁ –. **Riscos de metais pesados no ambiente.** Fortaleza: Adece, 2019. 12 p. Disponível em: http://www.gpeas.ufc.br/cart/Metais%20pesados.pdf. Acesso em: 28 jun. 2021.

ALVES, A. C. M. **Avaliação do tratamento de efluentes líquidos contendo cobre e chumbo por adsorção em carvão ativado.** 2007. 69 f. Dissertação (Mestrado em Recursos Hídricos e Saneamento) - Universidade Federal de Alagoas , Maceió, 2007. Disponível em: https://ctec.ufal.br/posgraduacao/ppgrhs/sites/default/files/mestrado_allani_alves_2007.pdf. Acesso em: 4 jun. 2021.

ANA - AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUA. **Portal da Qualidade das Águas.** Brasília: ANA, 2021. Disponível em: http://pnqa.ana.gov.br/indicadores-indice-aguas.aspx. Acesso em: 1 jul. 2021.

AZEVEDO, B. S. M. **Utilização da fibra da casca de coco verde como suporte para a formação de biofilme visando o tratamento de efluentes.** 2008. 119 P. Dissertação (Mestrado em Tecnologia de Processos Químicos e Bioquímicos) - Escola de Química da Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2008. Disponível em: http://epqb.eq.ufrj.br/download/fibra-da-casca-de-coco-verde-para-biofilme-visando-o-tratamento-de-efluentes.pdf. Acesso em: 10 abr. 2021.

ANDRADE NETO, J. C. **Avaliação da adsorção de cromo em carboximeticelulose obtida a partir de palha de milho modificada e ativada com diferentes líquidos iônicos.** 2019. 203 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) - Centro Universitário FEI, São Bernardo do Campo, 2019 Disponível em: http://sofia.fei.edu.br:8080/pergamumweb/vinculos/000044/00004422.pdf. Acesso em: 6 jun. 2021.

BANDEIRA, L. F. M. **Remoção de metal pesado de efluentes aquosos através da combinação dos processos de osmose inversa e adsorção**. 2007. 147. Dissertação (Mestre em Ciências em Engenharia Química) - Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2007.

BARROS D. C.; CARVALHO, G.; RIBEIRO, M. A. Processo de biossorção para remoção de metais pesados por meio de resíduos agroindustriais: uma revisão. **Revista Biotecnologia e Ciência**, Goiás, v.6, n. 1, p. 01-15, 2017. Disponível em: https://www.revista.ueg.br/index.php/biociencia/article/view/6161. Acesso em: 20 jun. 2021.

BALAT, M. 2011. Production of bioethanol from lignocellulosic materials via the biochemical pathway: A review. Energy Conversion and Mangement, 52, 2, p. 858-875.

BURAKOV, A. E. et al. Adsorption of heavy metals on conventional and nanostructured materials for wastewater treatment purposes: A review. **Ecotoxicology and Environmental Safety**, v. 148, p. 702-712, 2018. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/321336126_Adsorption_of_heavy_metals_on_conventional_and_nanostructured_materials_for_wastewater_treatment_purposes_A_review. Acesso em: 06 jun. 2021.

BOLAÑOS, Rafael Eduardo Zaccour. **Comportamento Mecânico de um Solo Argiloso Reforçado com Fibras de Coco.** 2013. 143 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - PUC-Rio, Rio de Janeiro, 2013.

BRASIL ESCOLA. **Monografias Brasil Escola.** Goiânia: Rede OMNIA, 2021. Disponível em: https://monografias.brasilescola.uol.com.br/engenharia/caracterizacao-casca-coco-in-natura-como-adsorvente-na-retencao-cromo-vi.htm. Acesso em: 1 jul. 2021.

CABRAL, M. M. S.; ABUD, A. K. S.; ROCHA, M. S. R. S.; ALMEIDA, R. M. R. G.; GOMES, M. A.. Composição da fibra da casca de coco verde in natura e após pré-tratamentos químicos. **Engevista**. v19. 99. janeiro. 2017. DOI: 10.22409/engevista.v19i1.802. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/326798419_Composicao_da_fibra_da_casca_de_coco_verde_in_natura_e_apos_pre-tratamentos_quimicos. Acesso: 6 jun. 2021.

CASTRO, B. D. *et al*. Material Biossorvente Para Remoção De Metais Potencialmente Tóxicos Em Água De Abastecimento. **Ciência e Natura**, Santa Maria, v. 42, p. 1-19, 6 jun. 2020 DOI: https://doi.org/https://doi.org/10.5902/2179460X35057. Disponível em: https://periodicos.ufsm.br/cienciaenatura/article/view/35057. Acesso em: 18 mai. 2021.

CATUNDA et al. Potencial tecnológico da fibra de coco como matéria prima alternativa ao desenvolvimento de produtos sustentáveis. **Educação Ambiental em Ação**. [S.I.] v. XV, n. 57. Setembro. 2016. Disponível em: https://www.revistaea.org/artigo.php?idartigo=2454. Acesso em: 10 abr. 2021.

CARDOSO, J. M. **Avaliação da fibra de coco (mesocarpo do fruto de cocos nucifera l.) Como adsorvente para remoção do agrotóxico paration metílica de meio aquoso**. 2017. 82p. Dissertação (Mestrado em Química) - Universidade Federal de Goiás – Regional Catalão, Catalão, 2017. Disponível em: http://repositorio.bc.ufg.br/tede/handle/tede/7242. Acesso em: 10 abr. 2021.

CETESB – Companhia Ambiental do Estado de São Paulo. **Ficha de Informação Toxicológica**. São Paulo, 2013. Disponível em: https://cetesb.sp.gov.br/laboratorios/wp-content/uploads/sites/24/2013/11/Cobre.pdf. Acesso em: 11 jun. 2021.

CONAMA. Resolução nº 430, Condições e padrões de lançamento de efluentes. **Diário Oficial da União.** seção 92, Brasília , p. 1-9, 16 mai. 2011. Disponível em: http://www2.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=646. Acesso em: 6 jun. 2021.

CORRÊA, Jean Michel. **Metais pesados em água, sedimentos e peixes no rio maranguapinho, região metropolitana de fortaleza, ceará.** 2014. 140 f. Tese (Doutorado em Geologia) - Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2014. Disponível em:

http://www.repositorio.ufc.br/bitstream/riufc/17483/1/2014_tese_jmcorrea.pdf. Acesso em: 30 jun. 2021.

COSTA, Dilma Alves; MENDONÇA, Roberta Helena; JUNIOR, Mauro Meliga Wysard. Avaliação da remoção de cromo (III) por materiais compósitos porosos adsorventes de PE-g-MA, fibra de coco e quitosana, usando planejamento experimental. **Eng Sanit Ambient**, Rio de Janeiro, v. 22, n. 6, p. 1203-1213, nov/dez 2017.

COSTA M. G. **Avaliação da lama vermelha como adsorvente de níquel e cádmio em soluções aquosas.** Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) – Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2010. Disponível em: Microsoft Word - Disserta\347\343o Ma\355saSetembro 2010 Corre\347\365es Ma\355sa.docx) (ufpe.br). Acesso: 4 jun. 2021.

CURIA, A.C; MORAES, C. A. M; MODOLO; R. C. E. **Percepção da Responsabilidade Compartilhada do Varejista e do Consumidor Final do Resíduo do Coco Verde Pós-Consumo no Rio Grande do Sul.** 8° Fórum Internacional de Resíduos Sólidos Curitiba, Brasil, 2017. Disponível em: http://www.institutoventuri.org.br/ojs/index.php/firs/article/view/380 . Acesso em: 1 jul. 2021.

CBHSF - COMITÊ DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO SÃO FRANCISCO. **CBHSF.** Belo Horizonte - MG: CBHSF, 2016. Disponível em: https://cbhsaofrancisco.org.br/noticias/sustentabilidade_blog/os-impactos-ambientais-e-sociais-da-producao-de-carvao/. Acesso em: 30 abr. 2021.

CHÁVEZ-GUERRERO, L.; RANGEL-MÉNDEZ, R.; MUÑOZ-SANDOVAL, E.; CULLEN, D. A.; SMITH, D. J.; TERRONES, H.; TERRONES, M. Production and detailed characterization of bean husk-based carbon: Efficient cadmium (II) removal from aqueous solutions. **Water Research**, v.42, p.3473-3479, 2008.

CHAVES L.S. *et al*. Biossorção De Íons De Chumbo Pelo Pó Da Casca Do Coco Verde. *In:* CONGRESSO BRASILEIRO DE QUÍMICA, 57., 2017, Gramado. **Anais** [...]. Gramado: ABQ - Associação Brasileira de Química, 2017. Disponível em: http://www.abq.org.br/cbq/2017/trabalhos/5/10952-24501.html. Acesso em: 17 mai. 2021.

CHEMNETBASE. Periodic Table – Lead. Disponível em: Disponível em: http://www.chemnetbase.com/PeriodicTable/index.jsf. Acesso em: 11/06/2021.

DONG, X.; LI, C.; LI, J.; WANG, J.; LIU, S.; Ye, B. A novel approach for soil contamination assessment from heavy metal pollution: a linkage between discharge and adsorption. J Hazard Mater, v.175 p. 1022-1030, 2010.

EL-SAYED, H. E. M.; EL-SAYED, M. M. H.. Assessment of Food Processing and Pharmaceutical Industrial Wastes as Potential Biosorbents: A Review. **BioMed Research International**, vol. 2014, p. 24 , 2014.DOI: https://doi.org/10.1155/2014/146769. Disponível em: https://www.hindawi.com/journals/bmri/2014/146769/. Acesso em: 20 jun. 2021.

EMBRAPA - Empresa Brasileira De Pesquisa Agropecuária. **Embrapa - Portal Embrapa.** Brasília: Embrapa, 2021. Disponível em: https://sidra.ibge.gov.br/home/pms/brasil. Acesso em: 11 jun. 2021.

ESPASANDIM, João Victor Fernandes *et al*. Fatores que influenciam a capacidade de adsorção de cobre (ii) no pó da casca de coco verde. **Perspectivas da Ciência e Tecnologia,**, Rio de Janeiro, ed. 11, ano 2019, p. 155-169, 21 dez. 2019. Bimestral. Disponível em: https://revistascientificas.ifrj.edu.br/revista/index.php/revistapct/article/view/1352. Acesso em: 15 mai. 2021.

ESPÍNOLA, A. I.; ADAMIAN, R.; GOMES, L. M. B. Recuperação De Cádmio De Efluentes Industriais. *In:* Encontro Nacional De Tratamento De Minérios E Metalurgia Extrativa, 1998, Gramado. **Anais** [...]. Gramado: ENTMME, 1998. p. 115-121, disponível em: http://artigos.entmme.org/download/1998/volume_2/906%20-%20Aida%20Esp%C3%ADnola_Rupem%20Adamian_L%C3%B4la%20M.%20B.%20Gomes%20-%20RECUPERA%C3%87%C3%83O%20DE%20C%C3%81DMIO%20DE%20EFLUENTES%20INDUSTRIAIS.pdf. Acesso em: 12 jun. 2021.

FANGMEIER, Michele; HOEHNE, Lucélia. AVALIAÇÃO DE CARVÃO ATIVADO E DE SÍLICA COMO ADSORVENTES PARA AMOSTRAS COM CORANTES E COM SÓDIO. **Revista Destaques Acadêmicos**, [S.l.], v. 4, n. 4, dez. 2012. ISSN 2176-3070. Disponível em: <http://univates.br/revistas/index.php/destaques/article/view/242>. Acesso em: 27 jul. 2021.

FERREIRA, D.C ; DA SILVA, N.A ; LIMA, A.F ; BEGNINI, M.L. Biosorção de Chumbo e Niquel Pelas Fibras do Coco Nucifera L.. **FAZU em Revista**, Uberaba, n. 9, p. 64-68, 2012.

FERREIRA, R. V. D. P. **Aplicação de biossorventes no tratamento de rejeitos radiotivos líquidos.** 2014. 86 f. Tese (Doutorado em Ciências na Área de Tecnologia Nuclear – Aplicações) - Instituto De Pesquisas Energéticas E Nucleares, São Paulo, 2014. Disponível em: https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/85/85131/tde-03112014-143732/publico/2014FerreiraAplicacaoDe.pdf. Acesso em: 7 jun. 2021.

FLORIDO, P. L. **Tratamento de efluente de refinaria pelo processo combinado de adsorção em carvão ativado e biorreator com membranas.** 2011. 143 p. Tese (Doutorado em Engenharia Química) - Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2011.Disponivel em: http://objdig.ufrj.br/60/teses/coppe_d/PriscillaLopesFlorido.pdf. Acesso em: 18 abr. 2021.

FRANGUELLI, F. P. **Potencial e cinética de adsorção de cromo hexavalente por fibra de coco in natura (cocos nucifera).** 2018. 134 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) - Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2018. Disponível em: http://repositorio.unicamp.br/bitstream/REPOSIP/332393/1/Franguelli_FernandaPaiva_M.pdf. Acesso em: 24 abr. 2021.

GUERRERO C. L.; MÉNDEZ R. R.; SANDOVAL M. E., et al. **Production and detailed characterization of bean husk-based carbon: efficient cadmium (II) removal from**

aqueous solutions. Water Research. 2008 Jul; disponível em: https://europepmc.org/article/med/18514757. Acesso em: 11 jun. 2021.

INCAPER. **Documentos nº227**: O CULTIVO DO COQUEIRO-ANÃO-VERDE: tecnologias de produção. Vitória, 2013. Disponível em: BRT-cultivodocoqueiroanao-benassi.pdf (incaper.es.gov.br). Acesso em: 27 jul. 2021

JUVINIANO H. B. M.; ANJOS, R. B.; DANTAS, J. M. M.; OLIVEIRA, G. V. B.; SILVA, D. R. Avaliação do potencial de sorção da fibra de coco (cocos nucifera l.) para remoção de hidrocarbonetos em efluentes. In: CONGRESSO NACIONAL DA DIVERSIDADE DO SEMIÁRIDO. **Anais** [...]. Campina Grande: Realize Eventos Científicos e Editora Ltda, 2021. Disponível em: https://editorarealize.com.br/editora/anais/conadis/2018/TRABALHO_EV116_MD4_SA12_ID425_29082018153226.pdf. Acesso em: 10 abr. 2021.

JERONIMO, Carlos Enrique; SILVA, Graciana. Estudo De Alternativas Para O Aproveitamento De Resíduos Sólidos Da Industrialização Do Coco. **REMOA - Revista Monografias Ambientais**, [s. l.], ano 2012, v. 10, n. 10, p. 2193, 2012. DOI https://doi.org/10.5902/223613086935. Disponível em: https://periodicos.ufsm.br/index.php/remoa/article/view/6935. Acesso em: 26 jun. 2021.

KEHRIG, H.; MALM. O. Bioconcetração e biomagnificação de metilmercúrio na baísa de Guanabara, Rio de Janeiro. Quim. Nova, v. 3, p. 377-384, 2011.

LEÃO, R. M., 2012, Tratamento superficial de fibra de coco e aplicação em materiais compósitos como reforço do polipropileno. Tese de D.Sc., Departamento de Engenharia Mecânica, Faculdade de Tecnologia, Universidade de Brasília, Brasília, DF, Brasil

MAGALHÃES, V. H. P. D.; NEVES, M. A. F. E. S. Utilização do pericarpo de coco verde (Cocos Nucifera L. - Arecaceae) para a remoção de resíduos de íons cromo (Vi) Em Soluções Aquosas. **Perspectivas da Ciência e Tecnologia**, Rio de Janeiro, v. 3, n. 1, p. 1-7, 2011. DOI: https://doi.org/http://dx.doi.org/10.22407/1984-5693.2011.v3.n1-2. Disponível em: https://revistascientificas.ifrj.edu.br/revista/index.php/revistapct/article/view/185. Acesso em: 12 jun. 2021.

MARTINS, Carlos Roberto; JÚNIOR, Luciano Alves de Jesus. Evolução da produção de coco no Brasil e o comércio internacional - Panorama 2010. **Empraba,** Aracaju- SE, v. 1, p. 32, Junho 2011.

MINISTÉRIO DA SAÚDE. Portaria GM/MS nº 888, 4 de maio de 2021. Procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade. **Diário Oficial da União.** seção 92, Brasília , p. 127-136, 7 mai. 2011. Disponível em: https://www.in.gov.br/en/web/dou/-/portaria-gm/ms-n-888-de-4-de-maio-de-2021-318461562. Acesso em: 6 jun. 2021.

MIORANZA, D. T. **Remoção de gasolina sintética de corpos hídricos utilizando carvão ativado como adsorvente.** 2015. 79 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2015. Disponível em: https://repositorio.ufsc.br/xmlui/bitstream/handle/123456789/159431/337588.pdf?sequence=1&isAllowed=y. Acesso em: 21 abr. 2021.

MONTEIRO, R. A. **Avaliação do potencial de adsorção de u, Th, Pb, Zn e Ni pelas fibras de coco.** 2009. 78 f. Dissertação (Mestrado em Ciências na Área de Tecnologia Nuclear – Materiais) - Instituto De Pesquisas Energéticas e Nucleares, São Paulo, 2009. Disponível em: http://pelicano.ipen.br/PosG30/TextoCompleto/Raquel%20Almeida%20Monteiro_M.pdf. Acesso em: 4 jun. 2021.

MUNHOZ, Patrícia Marques. **Monitoramento ambiental em região contaminada por chumbo**. 2010. 92 p. Tese (Doutorado em Clínica Veterinária) –Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Medicina Veterinária e Zootecnia, São Paulo.

OLIVEIRA, E. M. D. S. **Avaliação de metais (Al, As, B, Ba, Bi, Ca, Cd, Co, Cr,Cu, Fe,K, Mg, Mn, Mo, Na, Ni, P, Pb, Sb, Sc, Se, Sn ,Sr, V, Zn) em Liposarcus pardalis (Bodó) E Prochilodus Cearensis (Curimatã). .** 2018. 49 f. TCC (Bacharelado em Química com habilitação em Química Industrial) - Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2018. Disponível em: http://www.repositorio.ufc.br/bitstream/riufc/38987/3/2018_tcc_emsoliveira.pdf. Acesso em: 28 jun. 2021.

OLIVEIRA, Jessica Christine Gonçalves de. **PROCESSOS DE VALORIZAÇÃO DOS RESÍDUOS DO COCO**, f. 109, p. 1-83. Dissertação (Mestrado em Tecnologia De Processos Químicos E Bioquímicos) - Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2017.

PANTALEÃO, S. Q.; CHASIN, A. A. M.. O Chumbo Como Agente Contaminante Do Meio Ambiente. **Revista Acadêmica Oswaldo Cruz**, São Paulo, p. 1-12, 2012. Disponível em: https://oswaldocruz.br/revista_academica/content/pdf/Simone%20Queiroz%20Pantale%C3%A3o.pdf. Acesso em: 11 jun. 2021.

PIMENTEL, R. L. G. **Adsorção de cromo vi utilizando carvão ativado produzido do mesocarpo do coco verde.** 2018. 43 f. TCC (Bacharel em Engenharia Química) - Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa - PB, 2018. Disponível em: https://repositorio.ufpb.br/jspui/bitstream/123456789/13263/1/RLGP12112018.pdf. Acesso em: 24 abr. 2021.

PINO, Gabriela Huamán; TOREM, Mauricio Leonardo. Aspectos Fundamentais da Biossorção de Metais não Ferrosos - Estudo de Caso . **Tecnol. Metal. Mater. Min.**, São Paulo, v. 8, n. 1, p. 57-63, Março 2011.

PINO, G. A. H. **Biossorção de metais pesados utilizando pó da casca de coco verde (cocos nucifera.** 2005. 103 f. Tese (Doutorado em Engenharia Metalúrgica) - PUC-Rio, Rio de Janeiro, 2005. Disponível em: https://www.maxwell.vrac.puc-rio.br/colecao.php?strSecao=resultado&nrSeq=7596@1#. Acesso em: 28 mai. 2021.

RAULINO, G. S. C. **Sistema piloto de adsorção de íons de metais em coluna (leito fixo) utilizando como adsorvente o pó da casca de coco verde**. 2011. 110 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil: Saneamento Ambiental) - Centro de Tecnologia, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2011. Disponível em: http://www.repositorio.ufc.br/handle/riufc/16771. Acesso em: 16 mai. 2021.

RIES, Lúcia Allebrandt da Silva; SILVEIRA, Joyce Helena da. Remoção de Cr (VI) por adsorção empregando carvão ativado comercial e carvão vegetal produzido a partir da casca de arroz. **Brazilian Journal of Development**, Curitiba: Instituto de Educação e Pós-Graduação em Negócios, ano 2019, n. 6, p. 6477-6494, Bimestral. Disponível em: https://redib.org/Record/oai_articulo2005406-remo%C3%A7%C3%A3o-de-crvi-por-adsor%C3%A7%C3%A3o-empregando-carv%C3%A3o-ativado-comercial-e-carv%C3%A3o-vegetal-produzido-a-partir-da-casca-de-arroz--removal-crvi-adsorption-commercial-activated-carbon-vegetal-carbon-from-rice-husk. Acesso em: 24 abr. 2021.

RODRIGUES, Mônica Aparecida; SILVA, Priscila Pereira; GUERRA, Wendell. Cobre. **Química Nova Na Escola,** São Paulo: Sociedade Brasileira de Química, ed. 43, ano 2012, n. 2, 15 abr. 2012. Bimestral. Disponível em: http://qnesc.sbq.org.br/online/qnesc34_3/10-EQ-37-10.pdf. Acesso em: 24 mar. 2021.

SALES, Jair Paulino de; TEIXEIRA, Raimundo Nonato Pereira; SABIÁ, Rodolfo José. Utilização de carvões ativados por processos de ativação química para remoção de cádmio em meio aquoso: uma revisão sistemática. **Cadernos de Cultura e Ciência**, Crato: URCA, ed. 16, ano 2017, n. 2, p. 1-11, 19 nov. 2017. Semestral. Disponível em: http://periodicos.urca.br/ojs/index.php/cadernos/article/viewFile/1546/pdf. Acesso em: 11 jun. 2021.

SALVADOR, Graziela. **Estudo Da Adsorção De Cobre (II) Usando Como Adsorvente Pó Da Casca De Coco Verde Ativada Com Hidróxido De Sódio**. Florianópolis: UFSC, 2009. 33p (Relatório de estagio, QMC 5512). Disponível em: Estudo da adsorção de cobre (II) usando como adsorvente pó da casca de coco verde ativada com hidróxido de sódio (ufsc.br). Acesso em: 31 mai. 2021.

SANTOS, Sharline Florentino de Melo; ALBUQUERQUE, Jaqueline Gondim de; FEITOSA, Natane Tavares; BARROS, José Marcelo Honório Ferreira. Levantamento de dados da geração de resíduos de coco verde na cidade de João Pessoa. In: Congresso Nacional de Pesquisa e ensino em Ciências**,** Campina Grande. **Anais** [...]. Campina Grande 2016. Disponível em: http://editorarealize.com.br/editora/anais/conapesc/2016/TRABALHO_EV058_MD4_SA79_ID201_05052016210102.pdf. Acesso em: 26 jun. 2021.

SILVA, K. M. D. D. *et al*. Caracterização físico-química da fibra de coco verde para a adsorção de metais pesados em efluente de indústria de tintas. **ENGEVISTA**, São Paulo, v. 15, n. 1, p. 1-50, 16 nov. 2012 DOI: https://doi.org/https://doi.org/10.22409/engevista.v15i1.387. Disponível em: https://periodicos.uff.br/engevista/article/view/8925. Acesso em: 30 jun. 2021.

SILVA, J. F. ; MIRANDA JUNIOR, P. A Adsorção de Cobre(II) com uso da casca do coco verde (cocos Nucifera) como Adsorvente.In: Congresso Brasileiro De Química , 54. 2014, Rio Grande do Norte. **Anais** [...].Rio Grande do Norte. Disponível em: http://www.abq.org.br/cbq/2014/trabalhos/13/5179-13535.html. Acesso em: 10 mar. 2021

SILVA et al. Influência do método de preparo da casca do coco verde como biossorvente para aplicação na remoção de metais em soluções aquosas. **Revista DAE**. nº193,p. 66-73, set. 2014. http://doi.editoracubo.com.br/10.4322/dae.2014.114 - serve na comparação dos metais.

Disponível em: http://revistadae.com.br/artigos/artigo_edicao_193_n_1498.pdf. Acesso em: 20 mar. 2021.

SOUSA, D. F. L. D.; REIS JUNIOR, J. C. F. D.; RODRIGUES, C. A. N. Tratamento de água para consumo humano, utilizando filtro composto de carvão ativado produzido a partir de endocarpo de coco, borracha de pneu e caroços de açaí. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GESTÃO AMBIENTAL, IX., 2018, São Bernardo do Campo/SP. **Anais** [...]. São Bernardo do Campo: ConGea, 2018. Disponível em: http://www.ibeas.org.br/congresso/Trabalhos2018/IX-019.pdf. Acesso em: 10 abr. 2021.

SOUSA, F. W. *et al*. Uso Da Casca De Coco Verde Como Adsorbente Na Remoção De Metais Tóxicos. **Quim. Nova**, São Paulo, v. 30, n. 5, p. 1153-1157, 2007. DOI: https://doi.org/https://doi.org/10.1590/S0100-40422007000500019. Disponível em: https://www.scielo.br/j/qn/a/fR4RvL9tdvxNjzbSVxXR3Vn/?lang=pt#. Acesso em: 20 mai. 2021.

SOUZA, Ana Kely Rufino; MORASSUTI, Claudio Yamamoto; DEUS, Warley Batista de. Poluição do Ambiente Por Metais Pesados e Utilização de Vegetais como Bioindicadores. **Acta Biomedica Brasiliensia**, Mato Grosso do Sul , v. 9, n. 3, p. 95-106, Dezembro 2018. Disponível em: http://epqb.eq.ufrj.br/download/fibra-da-casca-de-coco-verde-para-biofilme-visando-o-tratamento-de-efluentes.pdf . Acesso em: 10 mar. 2021.

SMEDT, C, DE; SPANOGHE, P.; BISWAS, S.; LEUS, K.; VAN DER VOORT, P. Comparison of different solid adsorbents for the removal of mobile pesticides from aqueous solutions. **Adsorption**, vol. 21, p. 243 - 254, 2015. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/274894441_Comparison_of_different_solid_adsorbents_for_the_removal_of_mobile_pesticides_from_aqueous_solutions. Acesso em: 10 abr. 2021.

STOPPE, A. C. R.; FAIAD, J. C.; CUNHA, L. M. C; VIEIRA NETO, J.L et al. Remoção do corante azul de metileno no tratamento de efluentes por adsorção em carvão de coco verde e carvão ativado. In: XXXIX Congresso Brasileiro De Sistemas Particulados ENEMP 2019, 2019, Belém. **Anais** [...]. Campinas, Galoá, 2019. Disponível em: <https://proceedings.science/enemp-2019/papers/remocao-do-corante-azul-de-metileno-no-tratamento-de-efluentes-por-adsorcao-em-carvao-de-coco-verde-e-carvao-ativado-> Acesso em: 21 abr. 2021.

TRATAMENTO DE ÁGUA. **Portal Tratamento de Água.** São Paulo: Tratamento de Água, 2009. Disponível em: https://tratamentodeagua.com.br/artigo/uso-eficiente-do-carvao-ativado-como-meio-filtrante-em-processos-industriais/. Acesso em: 21 abr. 2021.

UPAC - INTERNATIONAL UNION OF PURE AND APPLIED CHEMISTRY. **IUPAC.** North Carolina: IUPAC, [s.d]. Disponível em: https://iupac.org/. Acesso em: 24 abr. 2021.

UFSJ . **Universidade Federal de São João del-Rei.** Minas Gerais : UFSJ, 2008. Disponível em: https://ufsj.edu.br/dcnat/carvao_ativo.php. Acesso em: 14 mai. 2021.

VELOSO, Y. M. da S.; SOUZA, I. E. S.; DOS SANTOS, J. V.; LEITE, M. Reutilização da fibra da casca do coco verde para a produção de matéria prima industrial. **Caderno de**

Graduação - Ciências Exatas e Tecnológicas - UNIT - SERGIPE, *[S. l.]*, v. 1, n. 3, p. 91–98, 2013. Disponível em: https://periodicos.set.edu.br/cadernoexatas/article/view/579. Acesso em: 8 jul. 2021.

VERAS, A. C. M. **Análise da contaminação por metais pesados na água e em sedimentos na bacia hidrográfica do rio doce.** 2020. 151 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Planejamento Energético, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2020. Disponível em: ppe.ufrj.br/images/AnaCarla-_Mestrado.pdf. Acesso em: 1 jul. 2021.

VOCCIANTE, M.; TROFA, M.; RODRÍGUEZ-ESTUPIÑÁN, P.; GIRALDO, L.; D'AURIA, T.; MORENO-PIRAJÁN, J. C.; ERTO, A. A rigorous procedure for the design of adsorption units for the removal of cadmium and nickel from process wastewaters. Journal Cleaner Production, v.77, p.35- 46, 2014.

WORCH, E. **Adsorption Technology in Water Treatment: Fundamentals, Processes, and Modeling**. Boston: Walter de Gruyter GmbH, 2012. Disponível em: https://www.degruyter.com/document/doi/10.1515/9783110240238/html. Acesso em: 06 jun. 2021.

ZAMBRANA, C. O. **Regeneração de carvão atiado utilizado para adsorção de pesticida por meio de processos oxidativos avançados.** 2013. 92 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Pãulo, 2013.

WERLANG, E. B. *et al*. Produção de carvão ativado a partir de resíduos vegetais. **Jovens Pesquisadores**, Santa Cruz do Sul, v. 3, n. 1, p. 156-167, 2013. DOI: https://doi.org/ http://dx.doi.org/10.17058/rjp.v3i1.3600. Disponível em: https://online.unisc.br/seer/index.php/jovenspesquisadores/article/view/3600. Acesso em: 30 jun. 2021.

INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DA PARAÍBA
Campus João Pessoa
Av. Primeiro de Maio, 720 - Jaguaribe, CEP 58015-435, João Pessoa (PB)
CNPJ: 10.783.898/0002-56 - Telefone: (83) 3612.1200

Documento Digitalizado Restrito

TCC

Assunto: TCC
Assinado por: Juliana Miguel
Tipo do Documento: Ata
Situação: Finalizado
Nível de Acesso: Restrito
Hipótese Legal: Informação Pessoal (Art. 31 da Lei no 12.527/2011)
Tipo do Conferência: Cópia Simples

Documento assinado eletronicamente por:

- **Juliana Gomes e Sousa Miguel**, **ALUNO (20202620005) DE TECNOLOGIA EM GESTÃO AMBIENTAL - JOÃO PESSOA**, em 04/08/2021 13:59:08.

Este documento foi armazenado no SUAP em 04/08/2021. Para comprovar sua integridade, faça a leitura do QRCode ao lado ou acesse https://suap.ifpb.edu.br/verificar-documento-externo/ e forneça os dados abaixo:

Código Verificador: 293797
Código de Autenticação: 5c63a3a41a