

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS
CENTRO DE CIÊNCIAS DA NATUREZA

JOÃO PEDRO GOMES DOS SANTOS

**ESTUDO DO POTENCIAL ADSORVENTE DA FIBRA DE COCO (*Cocos nucifera*
L.) SOBRE OS METAIS: CHUMBO, NÍQUEL E ZINCO**

BURI/SP

2022

JOÃO PEDRO GOMES DOS SANTOS

**ESTUDO DO POTENCIAL ADSORVENTE DA FIBRA DE COCO (*Cocos nucifera*
L.) SOBRE OS METAIS: CHUMBO, NÍQUEL E ZINCO**

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado como exigência parcial para a
obtenção do grau de Bacharel em
Engenharia Ambiental na Universidade
Federal de São Carlos.

Orientadora: Prof. Dra. Andreia Pereira
Matos

BURI/SP

2022

FICHA CATALOGRÁFICA

Gomes dos Santos, João Pedro

Estudo do potencial adsorvente da fibra de coco (*Cocos nucifera* L.) sobre os metais: chumbo, níquel e zinco / João Pedro Gomes dos Santos -- 2022.
31f.

TCC (Graduação) - Universidade Federal de São Carlos, campus Lagoa do Sino, Buri

Orientador (a): Andreia Pereira Matos

Banca Examinadora: Beatriz Cruz Gonzalez, Gracielle Oliveira Sabbag Cunha

Bibliografia

1. Resíduos agroindustriais. 2. Metais Pesados. 3. Contaminantes. I. Gomes dos Santos, João Pedro. II. Título.

Ficha catalográfica desenvolvida pela Secretaria Geral de Informática (SIn)

DADOS FORNECIDOS PELO AUTOR

Bibliotecário responsável: Lissandra Pinhatelli de Britto - CRB/8 7539

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS
CENTRO DE CIÊNCIAS DA NATUREZA
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AMBIENTAL

Folha de Aprovação

Assinatura dos membros da comissão examinadora que avaliou e aprovou a Defesa de Trabalho de Conclusão de Curso do(a) candidato(a) João Pedro Gomes dos Santos, realizada em 05/08/2022:

Documento assinado digitalmente
 ANDREIA PEREIRA MATOS
Data: 25/08/2022 09:52:43-0300
Verifique em <https://verificador.itl.br>

Prof. ^a Dra. Andreia Pereira Matos – Orientador(a)
Centro de Ciências da Natureza – UFSCar – Campus Lagoa do Sino.

Documento assinado digitalmente
 BEATRIZ CRUZ GONZALEZ
Data: 25/08/2022 18:50:35-0300
Verifique em <https://verificador.itl.br>

Prof. ^a Dra. Beatriz Cruz Gonzalez
Centro de Ciências da Natureza – UFSCar – Campus Lagoa do Sino.



Prof. ^a Dra. Gracielle Oliveira Sabbag Cunha
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho de conclusão de curso a todos meus familiares, amigos e professores que me apoiaram durante minha trajetória acadêmica.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a meus pais, Zezé e Miro, que permitiram não só a realização da graduação, mas sim de inúmeras oportunidades e momentos que tive durante a minha vida. Sempre serei muito grato a vocês por tudo que me permitiram conquistar, a final de contas, as conquistas estão aí para serem compartilhadas com quem amamos.

Agradeço a minha família toda, em especial meu irmão, Matheus, minha madrinha e padrinho, Fátima e Duarte, meus primos Felipe, Fernando, aos meus tios, e com certeza a minha querida e eterna Vó Dora.

Agradeço a minha namorada, Maristela, por todo apoio, incentivo, cumplicidade durante todos os momentos.

Agradeço aos amigos que fiz na UFSCar, desde os momentos acadêmicos e principalmente os do dia a dia, a qual aprendi e amadureci imensamente. Denner, Kauê, Vinicius, Gabriel, Letícia, Layssa, Luis Henrique e Yuri.

Agradeço aos professores que tive durante estes anos, especialmente a minha professora orientadora Andreia que me auxiliou em diversos momentos.

RESUMO

Os resíduos agroindustriais, em decorrência do volume produzido e da disposição inadequada, são potenciais contaminantes do meio ambiente e de seus recursos naturais. No entanto, quando geridos de maneira eficaz são capazes de serem altamente aproveitados em diversas aplicações, maximizando o seu aproveitamento e economizando custos. Este é o caso do coco da baía, cujo 85% de seu peso é descartado, apesar de apresentar potencialidades de reutilização por conta de suas características físico químicas. Dentre suas aplicações, está a remoção de metais em meio aquoso por meio da adsorção. Desta maneira, este trabalho visou analisar a potencialidade (eficiência) deste resíduo em adsorver chumbo, níquel e zinco através de pesquisas já existentes, visto que são metais tóxicos bastante utilizados no setor industrial. Para isso, realizou-se uma pesquisa em sites acadêmicos sobre o assunto, e ordenou-se os estudos de acordo com os requisitos analisados. Sendo assim, verificou-se eventuais preparações da fibra de coco, pré-tratamentos e métodos de interação entre o adsorvente e o metal, além da capacidade da fibra de adsorver os metais de interesse. Por fim, constatou-se um elevado potencial adsorvente da fibra, contudo, devido a variedade de condições e métodos usados nos estudos analisados, não foi possível indicar a melhor metodologia aplicada. Entretanto, evidenciou-se a importância da destinação adequada do resíduo, por conta dos ganhos socioeconômicos e ambientais a partir da geração de valor agregado do resíduo e da relevância da aplicação, uma vez que contribui diretamente para a preservação e conservação do meio ambiente.

Palavras-chave: Resíduos agroindustriais, Adsorção, Metais Pesados, Contaminantes.

ABSTRACT

The agro-industrial waste, in result of produced volume and the inappropriate disposition, are potential environmental contaminants and its natural resources. Therefore, when efficiently managed are capable of being highly harnessed in multiple applications, maximizing your use and saving costs. This is the case of Brazilian tall coconut which 85% of its weight is dispensed, although presents potential of reuse because your physical chemicals characters. Between your applications there is metals removal in aqueous solution through adsorption. So, the present work purposed to analyze the potentialities of using this residue to lead, nickel and zinc adsorption through previous studies, since they are toxic metals very used in industrial sector. For this, research was carried out on academic websites on the subject, and the studies were ordered according to the analyzed requirements. Thus, possible preparations of coconut fiber, pre-treatments and methods of interaction between the adsorbent and the metal were verified, in addition to the fiber's ability to adsorb the metals of interest. Finally, there were possible to prove a high adsorbent potential of the fiber, however, due to the diversity of conditions and methods used in the analyzed studies, it was not possible to indicate the best methodology applied. However, the importance of proper disposal of the residue became evident, in behalf of the socioeconomic and environmental gains from the generation of added value of the residue and the relevance of the application, since it directly contributes to the preservation and conservation of the environment.

Key-words: Agro-industrial Waste; Adsorption; Heavy Metals; Contaminants.

LISTA DE TABELA

Tabela 1 – Relação da capacidade de adsorção da fibra de coco.....	24
--	----

LISTA DE ABREVIATURAS

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

PIB – Produto Interno Bruto

CEPEA – Centro de Estudos Avançados em Economia Aplicada

CNA – Confederação Nacional da Agricultura e Pecuária

ETENE – Escritório Técnico de Estudos Econômicos do Nordeste

UNICEF – Fundo das Nações Unidas para a Infância

OMS – Organização Mundial da Saúde

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	12
2. JUSTIFICATIVA.....	14
3. OBJETIVOS.....	15
3.1 GERAL	15
3.2 ESPECÍFICOS.....	15
4. METODOLOGIA DA PESQUISA.....	16
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO	16
5.1 LEVANTAMENTO E SINTETIZAÇÃO DOS ESTUDOS SELECIONADOS..	16
5.2 ANÁLISE DOS ESTUDOS PRIORIZADOS	17
6. CONCLUSÃO	25
REFERÊNCIAS	26

1. INTRODUÇÃO

A história do Brasil está intimamente relacionada ao desenvolvimento agropecuário, considerado sinônimo de prosperidade econômica desde o período colonial, com a produção principalmente de cana de açúcar (CARVALHO, 1992), até os tempos atuais com os cereais, leguminosas e oleaginosas (IBGE, 2019), por exemplo. Essa relação é corroborada pela participação do agronegócio no PIB nacional, responsável em média, por 24,3%, de 1996 até 2019, sendo o ramo agrícola exclusivamente encarregado por 18,1% (CEPEA e CNA, 2020). Segundo IBGE (2020) a produção de cereais, leguminosas e oleaginosas, somente no mês de dezembro de 2019, foi de 241 milhões de toneladas.

Ravindran et al. (2018) além de ressaltarem a relação entre aumento do resíduo agroindustrial com o crescimento do setor, indicam o enorme desafio de gestão ambiental decorrente a este panorama. Tanto que em 2012 estimou-se a geração mundial de 1,3 bilhões de toneladas, com expectativa de aumento com o passar dos anos (RAVINDRAN et al., 2018; PARITOSH et al., 2017). Aliado a isto, a inexistência de tratamento, ou inadequabilidade, e a disposição incorreta, tornam esse resíduo um alto risco ambiental, por possuir elevada capacidade de contaminação do solo, água e ar devido suas características físico, químicas e biológicas (FREITAS et al., 2021).

As biomassas representam parte desse material, as quais, segundo Pino (2005), são definidas como toda matéria orgânica oriunda de fonte animal, vegetal ou microbiana decorrente de processos naturais ou artificiais. A produção nacional de coco da baía (*Cocos nucifera L.*), avaliada pelo Escritório Técnico de Estudos Econômicos do Nordeste (ETENE) (2018), foi de 1,562 milhões de frutos em 2017, cujo, segundo Coelho et al. (2001), cerca de 85% do peso de cada unidade é descartada.

Majoritariamente, esse resíduo - casca do coco - é formado por celulose e lignina, aproximadamente 32 a 43% e 40 a 45% respectivamente, sendo caracterizada por ser uma biomassa lignocelulósica (SILVA et al., 2000). Essas fibras possuem aplicações econômicas, como artesanato e fonte energética (BRÍGIDA et al., 2010). No entanto a abundância, o baixo custo de aquisição e a propensão de maximizar o aproveitamento deste material, estimulou novas aplicações das fibras lignocelulósicas (TOMCZAK et al., 2007). As aplicações dependem de suas características químicas e físicas, uma vez que são

influenciados pelo ambiente de desenvolvimento agrícola e estágio de maturação (BRÍGIDA et al., 2010).

Dentre as aplicações da fibra de coco, destacam-se a utilização como: isolante elétrico (SATYANARAYANA et al., 1982), reforços para compósitos poliméricos (ISHIZAKI et al., 2006; WU, 2010), matéria prima para produção de compósitos biodegradáveis (RAMÍREZ et al. 2010) e bioetanol (SOARES et al., 2016), substrato agrícola (ROSA et al., 2001), e ainda biossorvente de metais em meio aquoso (RAULINO et al., 2014; SILVA et al., 2012).

Os metais estão entre os principais contaminantes dos recursos hídricos (VOCCIANTE et al., 2014), os quais estão intimamente associados ao desenvolvimento urbano e industrial (RAJESHKUMAR et al., 2018). Tamanha é a degradação deste recurso que, segundo Fundo das Nações Unidas para a Infância (UNICEF) e Organização Mundial da Saúde (OMS) (2019), cerca de 2,2 bilhões de pessoas em todo o mundo não possuem acesso a água potável gerenciada de maneira segura. Suas características bioacumulativas, não biodegradáveis e suas interações bioquímicas com os organismos, em certas concentrações, os tornam tóxicos aos seres vivos (RAJESHKUMAR et al., 2018).

Como forma de remediação destes poluentes, são utilizados sistemas de tratamentos complexos e onerosos, considerados, de certa maneira, insustentáveis (GHERNAOUT, GHERNAOUT e NACEUR, 2011). Os métodos de remoção de metais convencionais ratificam a inaplicabilidade em grande escala (SOUSA et al., 2010). Diante deste cenário, a adsorção se notabiliza como uma técnica, relativamente, simples, eficiente e aplicável (GUPTA e ALI, 2000). Embora o material adsorvente tradicionalmente aplicado seja o carvão ativado (SOUSA et al., 2010), a biomassa oriunda da atividade agrícola desponta-se pelo seu baixo custo e sua alta eficácia, ressaltando sobretudo a casca do coco (SOUSA et al., 2007).

Essa capacidade de adsorção das fibras do coco, se explica pela presença de grupos funcionais em sua estrutura físico-química (MONTEIRO, 2009), os quais, quando em contato com íons, ocorre uma interação passiva, retendo-os em sua superfície (PINO, 2005). Diversos estudos comprovam a capacidade da fibra de coco na remoção de metais em meio aquoso, entre eles o chumbo, níquel e zinco (SOUSA et al., 2007; SOUSA et al, 2010; RAULINO, 2014).

Esses três metais são utilizados amplamente nas indústrias, estando presentes desde de a indústria de base, como a metalúrgica e siderúrgica, até as de bens de consumo (BOSCH et al. 2015; CASTRO-GONZÁLEZ e MÉNDEZ-ARMENTA, 2008; SCHAUMLÖFFEL, 2012; PINO, 2005). De acordo com Bosch et al. (2015), o chumbo e o níquel são elementos classificados como tóxicos, por não serem essenciais ao metabolismo. Embora o zinco seja conhecido como micronutriente, segundo Braga et al. (2019), em concentrações excedentes as naturais, ele passa a ser danoso ao organismo.

O chumbo, por exemplo, ao entrar no organismo humano é capaz de provocar alterações neurológicas e hematológicas (CASTRO-GONZÁLEZ e MÉNDEZ-ARMENTA, 2008). O níquel, através da ingestão, gera danos ao sistema respiratório e excretor, por se aglomerar nas células pulmonares e renais (NABINGER, 2017). Por sua vez, o excesso de zinco provoca a diminuição da concentração de cobre, consequentemente origina anomalias cerebrais e hemorragias no intestino (BRAGA et al., 2019).

2. JUSTIFICATIVA

No ano de 1987 a Comissão Mundial sobre o Meio Ambiente e Desenvolvimento publicou um documento, denominado Nosso Futuro Comum, em que caracteriza o desenvolvimento sustentável. Ele é forjado na premissa da utilização dos recursos naturais de maneira a preservá-los, para que as futuras gerações possam ter o direito de usufruí-los. Este mesmo documento, diagnosticou a incompatibilidade do padrão de produção e consumo humano com a capacidade de renovação do meio ambiente. Apesar de ter passado mais de trinta anos, as mudanças no padrão ainda não são suficientes para o estabelecimento do equilíbrio ambiental.

Esse cenário de desequilíbrio é provocado, por exemplo, pelo gerenciamento incorreto de efluentes industriais e, também, de resíduos agropecuários. Efluentes industriais são, atualmente, um dos principais poluidores do recurso hídrico por apresentarem diversas substâncias químicas. Ao entrarem em contato com o meio natural alteram o equilíbrio ambiental, podendo ainda resultar na formação de outras substâncias nocivas.

Dentre os compostos presentes, notabiliza-se o chumbo, níquel e zinco devido a sua característica bioacumulativa e a sua toxicidade. A indústria os utiliza na composição de

diversos produtos presentes em nosso cotidiano, utilizados de formas constantes e recorrentes. Além de possíveis efluentes descartados sem tratamento prévio e emissão aérea sem remediação, o fato de consumi-los ocasiona inevitavelmente a dispersão destes metais para o meio ambiente. Sendo assim são poluentes perigosos a todos os seres vivos envolvidos, não só no ecossistema aquático, mas também a todos os integrantes da cadeia trófica.

A degradação hídrica pode, também, ser oriunda de resíduos agrícolas dispostos de modo inadequado, o que é preocupante pela quantidade exorbitante de resíduos produzidos anualmente. No caso do coco quando seus resíduos são destinados corretamente, à aterros sanitários, ocorre a redução de capacidade e a vida útil do mesmo. Além do mais, a casca do coco priva em volume a habilidade de receber dejetos restritos a esses locais, já escassos para a realidade brasileira. Mesmo assim quando descartado adequadamente, ocorre o desperdício do potencial intrínseco a este resíduo. Diante deste cenário, o reaproveitamento de resíduos agropecuários é fundamental para a proteção ambiental, e, não menos importante, para a incorporação em processos sustentáveis.

Portanto, o emprego da fibra de coco no processo de remoção do chumbo, níquel e zinco em meio aquoso é de enorme valia. Pois é fundamentado na valorização de um material, até então insignificante, a fim de incorporá-lo em um processo que tem finalidade de devolver ao planeta um recurso natural extremamente importante, com características próximas as naturais, assegurando, assim, o direito das futuras gerações.

3. OBJETIVOS

3.1 GERAL

O objetivo geral deste trabalho é analisar a potencialidade da fibra de coco em adsorver alguns metais pesados presentes em soluções aquosas.

3.2 ESPECÍFICOS

- Levantar referencial teórico geral sobre o assunto;
- Sintetizar trabalhos específicos sobre o tema;
- Analisar o potencial adsorvente da fibra de coco para chumbo, níquel e zinco;

- Determinar a capacidade da fibra de coco como adsorvente com base na literatura analisada.

4. METODOLOGIA DA PESQUISA

Inicialmente foi pesquisado em bases de dados sobre assuntos acadêmicos, como: Periódicos Capes, Scielo, Science Direct e Google Acadêmico, as seguintes palavras chave: resíduos agroindustriais, resíduos agrícolas, adsorção, fibra de coco, metais pesados, chumbo, níquel e zinco, nos idiomas português e inglês. A pesquisa foi restrita a publicações a partir de 1980.

Posteriormente, os estudos foram dispostos sistematicamente em tabelas de modo a facilitar a análise individual do assunto tratado. Com isso, foram priorizados os trabalhos relacionados a temática deste trabalho: a adsorção de chumbo, níquel e zinco utilizando fibra de coco.

Por fim, analisou-se minuciosamente e individualmente a adsorção destes metais pelas fibras de coco, demonstrando a caracterização da fibra *in natura*, pré-tratamentos empregados, metodologias utilizadas e eficiência na remoção dos metais.

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 LEVANTAMENTO E SINTETIZAÇÃO DOS ESTUDOS SELECIONADOS

Realizada a pesquisa inicial foram selecionados 39 estudos relacionados a temática geral deste trabalho. Ao organizá-los, verificou-se que 25 estudavam o processo de adsorção envolvendo pelo menos a fibra de coco como material adsorvente ou algum dos três metais, Pb, Ni e Zn, como adsorvato. Por fim restaram-se 8 estudos que abordavam simultaneamente o adsorvente requerido e pelo menos um dos metais de interesse. Dentre os 8 estudos priorizados 6 deles abordam a adsorção de Pb, 6 deles de Ni e 6 Zn, já que alguns estudos abordam mais de um metal ao mesmo tempo.

Interessante pontuar que os 17 estudos que não atenderam a simultaneidade dos requisitos demonstraram a possibilidade da utilização de diversos tipos de adsorventes provenientes do resíduo do coco para o tratamento de múltiplos contaminantes aquosos. Como por exemplo um constituiu o adsorvente a partir da mistura da fibra de coco com

óxido de Mg-Al (YUAN et al., 2021). Outro produziu carvão ativado a partir da fibra de coco (PHAN et al., 2006), um segundo usou linhita e fibra de carbono ativado à base de fibra de coco (SHERESTHA et al., 2013), e um terceiro desidratou e carbonizou a fibra (RAHIM et al., 2020).

Em relação aos contaminantes, não só metais como arsênio (YEO et al., 2021), cromo hexavalente (CHWASTOWSKI et al., 2017), mercúrio (JOHARI et al., 2016), e prata (STARÓN, CHWASTOWSKI e BANACH, 2017), como também corantes (PHAN et al., 2006) e ânions de nitrato, sulfato e fosfato (LIMA et al., 2012) podem ser adsorvidos.

5.2 ANÁLISE DOS ESTUDOS PRIORIZADOS

Sousa et al. (2007), a fim de avaliarem a capacidade de adsorção da fibra de coco, usaram o método denominado batelada, em que consiste manter a solução em agitação. No caso, o período de interação foi de 24 horas, contudo analisou-se a capacidade de adsorção após 3, 6, 12 e 24 horas. Ressalta-se a não especificação dos equipamentos utilizados durante a batelada. Sousa et. al (2007) adquiriram as cascas do coco da Embrapa Agroindústria Tropical – CE (EMBRAPA/CE).

O preparo das cascas realizado por Sousa et al. (2007), se deu pela utilização de um triturador de facas de corte e de martelos desintegradores, responsáveis por dilacerá-las, e pela prensa de rolo horizontal, para prensá-las. Além do processamento físico, o material adsorvente foi submetido a ativação por tratamentos químicos, em que soluções de HCl, HNO₃, H₃PO₄, NaOH e H₂O₂ com concentrações de 0,1 e 1,0 mol.L⁻¹ imergiram o adsorvente por 3, 6, 12 e 24 horas em temperatura ambiente. Como finalização do preparo, os adsorventes foram lavados com água destilada e com solução tampão, e posteriormente secos em temperatura ambiente. A solução tratada foi uma solução multielementar de Pb²⁺, Ni²⁺, Zn²⁺, Cd²⁺ e Cu²⁺, com concentração de 100 mg/L. Assim misturaram-se uma massa adequada, não especificada, de adsorvente *in natura* e tratado a 10 mL da solução multielementar em pH 5,0 e iniciaram a batelada.

Sousa et al. (2007) demonstraram a capacidade de adsorção por meio da diferença da concentração dos íons metálicos antes e após o procedimento, determinados por espectrofotometria de absorção atômica. A capacidade obtida relaciona a massa do respectivo metal adsorvida com o adsorvente em mg/g.

Por fim, Sousa et al. (2007) constataram que as fibras de coco possuem maior capacidade adsorptiva de Pb de 3,07 mg/g, respectivamente 99,5%, quando submetido ao pré-tratamento com NaOH a 0,1 mol.L⁻¹, sem interferência do tempo de batelada. Para Ni e Zn a maior capacidade foi obtida acerca do pré-tratamento também de NaOH, só que a 1,0 mol.L⁻¹, sendo respectivamente, 3,17 mg/g, 90,30%, e 2,50 mg/g, 95,45%, com interação de 3 horas.

Assim como Sousa et al. (2007), Pino (2005) utilizou as cascas de coco oriundas da EMBRAPA/CE, mas o seu processamento inicial foi diferente, realizando a dilaceração, secagem, moagem, classificação granulométrica e, novamente, lavagem e secagem. A repetição destes dois processos se justifica por resultar na redução da umidade inicial. Pino (2005) optou por utilizar somente o adsorvente *in natura*, conseqüentemente não houve pré-tratamento das fibras processadas. O procedimento de adsorção também foi por batelada, por meio de um *Shaker*, durante 2 horas com velocidade de 175 rpm a 27°C, utilizando 100 mL da solução desejada e 5,00 g/L de adsorvente com granulometria entre 200-297 µm.

De acordo com Pino (2005), a avaliação da capacidade de adsorção da fibra de coco foi feita através de soluções individualizadas de 20,00 mg/L para cada metal, Ni e Zn. Realizada a adsorção, a biomassa restante foi separada da solução sobrenadante por filtração, sendo realizada análise de absorção atômica por espectrofotometria para determinação da concentração de Ni e Zn restante.

Por fim Pino (2005) apresentou a capacidade de adsorção por mg/g através de um gráfico, não explicitando de modo escrito os valores obtidos. Sendo assim a capacidade máxima de adsorção aproximada da fibra de coco para Ni foi de 2,00 mg/g entre pH 8 e 9, e para Zn de 2,25 a 2,50 mg/g em pH 8.

Monteiro (2009), diferentemente dos anteriores, não utilizou as cascas do coco provenientes da EMBRAPA/CE. Ela própria retirou a camada fibrosa do coco (mesocarpo), picou, lavou e a secou em temperatura ambiente. Com as fibras obtidas, Monteiro (2009) as moeu e as separou granulometricamente. A autora realizou a adsorção dos metais por batelada durante 1 hora com agitação de 300 rpm, 50 mg do adsorvente e a 25 ± 3°C, com o auxílio de uma mesa agitadora. As soluções de Pb, Ni e Zn empregadas durante o estudo

foram previamente preparadas, as quais foram adicionadas em experimentos individuais 3 mL com concentração de 100 mg/L.

Após o procedimento de adsorção, Monteiro (2009) separou a solução sobrenadante por filtração. Deste modo, a determinação da capacidade de adsorção da fibra de coco se deu pela diferença entre as concentrações iniciais e finais de Pb, Ni e Zn obtidas por espectrometria de emissão com fonte de plasma.

Monteiro (2009) optou por exibir a capacidade de adsorção da fibra de coco por meio de um gráfico, semelhante ao de Pino (2005), porém a representou em porcentagem e não por mg/g. Como também não são explicitados de maneira escrita, a capacidade de adsorção é uma aproximação. Portanto para o Pb a fibra teve capacidade de adsorção de 97,00 a 99,00% entre pH 5 e 7, para o Ni de 47,00 a 50,00% em pH 7, e para o Zn de 60,00 a 65,00% entre pH 5 e 7. As capacidades de adsorção da fibra de coco em valores representados por porcentagens quando transformados para mg/g são: Pb entre 5,82 a 5,94 mg/g, Ni entre 2,82 a 3,00 mg/g e Zn entre 3,6 a 3,9 mg/g.

Ferreira et al. (2012), assim como Monteiro (2009), preparam a fibra de coco desde a aquisição do fruto, sendo assim após a retirada do mesocarpo do coco e a segregação em pedaços menores, eles secaram em estufa a 100°C durante 24 horas. Seguidamente moeram com um moinho de facas e classificaram granulometricamente, pois selecionaram apenas o material com granulometria aproximada de 200 µm. Ferreira et al. (2012) realizaram o pré-tratamento das fibras com a imersão em solução de NaOH a 0,1 mol.L⁻¹ durante 3 horas em temperatura ambiente, depois encaminharam para o processo de secagem igual ao realizado previamente.

A solução multielementar usada por Ferreira et al. (2012), de Pb e Ni, foi preparada e caracterizada por apresentar concentração de 70,00 e 90,00 mg/L respectivamente. O procedimento adotado foi o de batelada, usando agitador magnético, durante 8 horas a 800 rpm. Para avaliar a capacidade de adsorção da fibra de coco os autores escolheram modificar a concentração de adsorvente para análise de cada metal, apesar de estarem na mesma solução. Portanto em relação ao Pb adicionaram 17 g/L e para o Ni 40 g/L.

Finalizado o processo de adsorção, Ferreira et al. (2012) filtraram a mistura sólido-líquido, e determinaram as concentrações remanescentes de Pb e Ni por espectrofotometria de absorção atômica com chama GBC 932AA. Por fim a capacidade de adsorção das fibras

de coco em relação ao Pb foi de 98,79% em pH 5 e ao Ni foi de 94,97% em pH 3. Como Ferreira et al. (2012) não relataram o volume utilizado durante o processo de adsorção, impede de realizar a equivalência da capacidade de adsorção como foi executada no estudo de Monteiro (2009).

Conrad e Bruun Hansen (2007), ao contrário dos demais autores citados, não dilaceraram ou moeram as fibras de coco. Eles apenas cortaram as fibras em frações de 3 a 4 cm, as quais foram adquiridas mediante a empresa JB Plantfibre. Embora o eletrólito usado no pré-tratamento das fibras seja o mesmo para os metais analisados, Pb e Zn, Conrad e Bruun Hansen (2007) decidiram modificar a quantidade da fibra e o volume da solução. Deste modo para o processo de adsorção do Pb foram pré-tratados 0,33-0,34 g de fibra em 15 mL de NaNO_3 a $0,01 \text{ mol.L}^{-1}$, e para o Zn foram 1,00-1,01 g em 50 mL. Este pré-tratamento também se diferencia dos demais pois foi realizado em uma mesa agitadora a 110 rpm por 3 dias.

Conrad e Bruun Hansen (2007) só explicitaram que o procedimento de adsorção durou 24 horas, não detalharam as etapas e especificidades do processo. Contudo, infere-se que foi realizado batelada por conta dos equipamentos descritos ao longo do artigo. Eles informam que ao finalizarem o experimento centrifugaram a mistura eletrólito, fibras de coco e Pb durante 20 minutos a 12 000 g, e que para o Zn 25 mL do sobrenadante foi centrifugado analogamente. A determinação da concentração de Pb foi por espectroscopia de absorção atômica em forno de grafite, e de Zn por espectroscopia de absorção atômica.

Como resultado, Conrad e Bruun Hansen (2007) constataram adsorção máxima de 95,00 – 97,00% de Pb com pH entre 1 – 2,5 e concentração inicial de $3,10 \times 10^{-3} \text{ mmol.L}^{-1}$, e de 91,00 – 93,00% de Zn com pH 4,5 e concentração de $0,97 \times 10^{-3} \text{ mmol.L}^{-1}$.

Quek et al. (1998) utilizaram fibra de coco oriunda de uma empresa do Reino Unido não identificada. Primeiramente moeram a fibra com um processador, lavaram-na e a secaram em estufa por 24 horas a 105°C , logo em seguida as separaram granulometricamente.

A metodologia adsorção adotada por por Quek et al. (1998), foi a batelada por meio de um abanador orbital resfriado com velocidade de $150 \pm 5 \text{ rpm}$ por 24 horas a $25 \pm 5^\circ\text{C}$. O teste de adsorção utilizou 0,8 g de fibra de coco, granulometria não especificada, e 200 mL da solução a concentração de 50 mg/L, 100 mg/L e outra de 200 mg/L de Pb.

Finalizada a adsorção, as misturas foram filtradas por membranas de acetato celulose de 0,45 μm , e a concentração de Pb estabelecida por espectrometria de absorção com uma chama de ar acetileno e lâmpadas de cátodo oco de elemento.

Quek et al. (1998) apresentaram a capacidade das fibras de adsorção de Pb representada em porcentagem através de um gráfico. Desta maneira, a capacidade aproximada é de 97,00 – 99,00% em pH entre 3,5 e 5 para as soluções de 50 e 100 mg/L de Pb, e de 85,00 – 91,00% para a solução de 200 mg/L.

Os últimos dois estudos priorizados neste trabalho são de Sousa et al. (2010) e de Raulino et al. (2014). Diferentemente dos demais estudos discutidos, estes dois optaram por um método denominado de coluna de leito fixo para interação do adsorvente com o efluente. Ambos os autores utilizaram cascas de coco advindas da EMBRAPA/CE, porém Sousa et al. (2010) utilizaram uma solução de NaOH a 0,1 mol.L⁻¹ durante 3 horas para o pré-tratamento da fibra, e secou a 50°C selecionando apenas a granulometria desejada de 246 a 74 μm . Já Raulino et al. (2014) utilizaram as fibras com granulometria não especificada, e efetuaram alguns tipos de pré-tratamento com solução de NaOH a 0,1 mol.L⁻¹ e água encanada.

Sousa et al. (2010) montaram uma coluna de leito fixo de polietileno de 30 x 1,1 cm preenchida com 10 cm de altura de adsorvente, percolada com 150 mL de solução individualizada e multielementar a 100 mg/L de Pb, Ni e Zn mais Cu e Cd (II) a uma taxa de fluxo de 2 mL/min em pH 5 e a $28 \pm 2^\circ\text{C}$. Terminado o processo de adsorção foram analisados 10 mL por espectroscopia de absorção atômica em chama de ar-acetileno para a determinação das concentrações na solução remanescente. A capacidade de adsorção da fibra de coco para os metais de interesse foram: 54,62 mg/g para o Pb, 16,34 mg/L para o Ni e de 17,08 mg/g para o Zn quando analisados em soluções individualizadas. Já na solução multielementar a capacidade adsortiva foi de 17,90 mg/g para Pb, 3,12 mg/g para Ni e de 7,32 mg/g para o Zn.

Raulino et al. (2014) usaram uma coluna de policloreto de vinila (PVC) de 100 x 62 cm, a solução foi bombeada com taxa de fluxo de 200 mL/min a temperatura de $27 \pm 2^\circ\text{C}$. O pré-tratamento das fibras ocorreu de duas maneiras, no interior ou não da coluna. Relativo ao tratamento fora da coluna, ele aconteceu com a lavagem das fibras com água, agitação durante 1 hora delas com água na proporção 1:3, filtragem e secagem a

temperatura ambiente, e com a lavagem com solução de NaOH a $0,1 \text{ mol.L}^{-1}$ e agitação das fibras com a mesma solução e finalização análoga a anterior. Já o pré-tratamento no interior da coluna ocorreu com percolação de água e de NaOH a $0,1 \text{ mol.L}^{-1}$, sendo respectivamente adicionados 20 L a 402 g de fibra de coco, e de 11 L a 402 g de fibra, ambos com taxa de 150 mL/min.

Realizado o pré-tratamento tanto no interior como no exterior da coluna, foi percolada a solução multielementar de Ni, Zn e Cu com concentração de 200 mg/L a um pH não indicado. A diferença entre o procedimento para os diferentes pré-tratamentos está na quantidade de fibra utilizada, uma vez que para o tratamento no exterior utilizaram 480 g de adsorvente. Para determinação da concentração de metais remanescentes, e conseqüentemente determinação da capacidade de adsorção da fibra, foi usado espectrofotometria de absorção atômica. Por fim, Raulino et al. (2014) constataram que para o pré-tratamento com NaOH de modo interno a coluna, nas condições já descritas, apresentou maior capacidade de adsorção de Ni e Zn pelas fibras de coco, sendo os valores respectivos aproximados de 0,25 mmol/g equivalente a 14,67 mg/g, e de 0,18 mmol/g equivalente a 11,77 mg/g.

Dispostos todos os artigos priorizados, nota-se que existem diversos métodos e especificações utilizados para a determinar a capacidade de adsorção das fibras de coco sobre Pb, Ni e Zn. A escolha de cada processo e de parâmetros depende de fatores pessoais de cada pesquisador, envolvendo seu objetivo de pesquisa, e também, muitas vezes, adaptações decorrentes de limitações estruturais, de insumos e de equipamentos presentes nos laboratórios. Devido a essa diferença de parâmetros adotados pelos estudos percorridos, não é possível inferir qual o melhor método, ou realizar comparações diretas entre eles.

Contudo nota-se alta eficiência de adsorção para os três metais, visto a Tabela 1, apesar do Pb ter se destacado mais que o Ni e Zn, de acordo com Monteiro (2009), Ferreira et al. (2012), Conrad e Bruun Hansen (2007), Quek et al. (1998), Sousa et al. (2010) e Raulino et al. (2014). Uma vez que a capacidade de adsorção de Pb observada foi de 95,00 – 97,00%, enquanto para o Ni foi de 47,00 – 50,00% e um estudo de 94,97%, e para o Zn foi de 60,00 – 65,00% e um estudo de 91,93%. Em contra partida, Sousa et al. (2007) constatou maior capacidade de adsorção da fibra com o Ni, valor de 3,17 mg/g, enquanto para Pb e Zn o valor foi de 3,07 e 2,50 mg/g. Provavelmente a tendência de maior

capacidade de adsorção do Pb do que Ni e Zn está relacionada com a natureza do metal e o grau de afinidade com os grupos funcionais presentes na fibra de coco, responsáveis por reter o metal em sua superfície.

Ao analisar os estudos, constata-se a influência do pH na capacidade adsorptiva da fibra de coco. Dentre aqueles que explicitaram o pH durante o processo de adsorção somente Pino (2005) relatou em seu experimento maior capacidade de adsorção em pH alcalino, entre 8 e 9, os demais Sousa et al. (2007), Monteiro (2009), Ferreira et al. (2012), Conrad e Bruun Hansen (2007) e Quek et al. (1998) observaram maior eficiência de adsorção para os três metais em pH ácido e neutro, com valores entre 1 a 7.

Sousa et al. (2010) constataram outro parâmetro influente na capacidade de adsorção da fibra de coco: a composição do efluente tratado. Este foi o único estudo em que se avaliou a diferença na capacidade adsorptiva entre soluções multielementares e individualizadas. Claramente houve uma queda na capacidade de Pb, Ni e Zn ou utilizar a solução multielementar, tanto que comparativamente houve uma diminuição de 67,23% para Pb, 80,91% para Ni e 57,14% para Zn. É provável que a explicação esteja relacionada a competitividade dos metais sobre os grupos funcionais, contudo é preciso compreender melhor sobre essa dinâmica de competição para avaliar a eficiência da adsorção em efluentes reais com diferentes composições.

Por fim para a utilização das fibras como adsorventes de Pb, Ni e Zn em pequena e, principalmente larga escala, ainda é necessário a produção de mais trabalhos científicos que estudem o potencial adsorvente da fibra de coco e de suas especificidades. Como analisado, o potencial é grande, por apresentar porcentagens altas de adsorção, mas requer padronização nos parâmetros a fim de determinar qual é a metodologia com maior eficiência do processo.

Entretanto observa-se que a fibra de coco pode ser inserida em processos de remoção de contaminantes metálicos das mais diversas formas. Dependendo da realidade do local, do nível de contaminação e da remoção desejada, é possível adaptar as metodologias empregadas a fim de tornar esse adsorvente viável economicamente, socialmente e ambientalmente a cada situação, uma vez que é nítido o potencial adsorvente deste material.

Estudo	Métodos de adsorção	Tipo de solução	Metal	Pré-tratamento mol.L⁻¹	Concentração de adsorvente ou altura da coluna	Velocidade de agitação ou taxa de fluxo	Tempo de interação	pH	Capacidade de adsorção (mg/g / %)
---------------	----------------------------	------------------------	--------------	--	---	--	---------------------------	-----------	--

Tabela 1 – Relação da capacidade de adsorção da fibra de coco

Sousa et al. (2007)	Batelada	Multielementar	Pb	NaOH a 0,1			6		3,07 mg/g
			Ni	NaOH a 1,0	-	-	3	5	3,17 mg/g
			Zn	NaOH a 1,0					
Pino (2005)	Batelada	Individualizada	Ni		5 g/L	175 rpm	2	8 - 9	2,00 mg/g
			Zn	-				8	2,25 – 2,50 mg/g
Monteiro (2009)	Batelada	Individualizada	Pb					5 - 7	97,00 – 99,00 %
			Ni	-	16,67 g/L	300 rpm	1	5	47,00 – 50,00 %
			Zn						5 - 7
Ferreira et al. (2012)	Batelada	Multielementar	Pb	NaOH 0,1	17 g/L			5	98,79 %
			Ni	NaOH 0,1	40 g/L	800 rpm	8		3
Conrad e Bruun Hansen (2007)	Batelada	Individualizada	Pb					1 – 2,5	95,00 – 97,00 %
			Zn	NaNO ₃ 0,01	-	-	24		4,5
Queek et al. (1998)	Batelada	Individualizada	Pb	-	4,0 g/L	150 ± 5 rpm	24	3,5 – 5	97,00 – 99,00%
Sousa et al. (2010)	Coluna de leito fixo	Individualizada	Pb						54,62 e 17,90 mg/g
		e	Ni	NaOH 0,1	10 cm	2 mL/min	-	-	16,34 e 3,12 mg/g
		Multielementar	Zn						17,08 e 7,32 mg/g
Raulino et al. (2014)	Coluna de leito fixo	Multielementar	Ni						14,67 mg/g
			Zn	NaOH 0,1	24 g/L	200 mL/min	-	-	11,77 mg/g

Fonte: Autoria própria.

6. CONCLUSÃO

Visto o apresentado neste estudo, conclui-se que a fibra de coco possui um alto potencial adsorvente para Pb, Ni e Zn, uma vez que apresentou porcentagens acima de 90,00% em alguns dos trabalhos citados. Ainda é fundamental o desenvolvimento de outros estudos, tanto para avaliar a capacidade adsorvente da fibra e determinar qual melhor método a ser empregado, como para estabelecer a viabilidade econômica em diferentes escalas de tratamento de efluente.

Outro aspecto fundamental, é a necessidade de melhoria na destinação do resíduo do coco, e de outros resíduos agroindustriais. Ao destiná-los de maneira eficaz e inteligente é notável os benefícios socioeconômicos e ambientais. Desta forma, gera-se valor agregado a algo considerado irrelevante e pode-se concedê-los uma finalidade de extrema importância

para a preservação e conservação da natureza, visto o uso das fibras de coco para remoção de metais contaminantes em meios aquosos.

REFERÊNCIAS

BOSCH, A. C et al. Heavy metals in marine fish meat and consumer health: a review. **Journal Of The Science Of Food And Agriculture**, [S.L.], v. 96, n. 1, p. 32-48, 7 set. 2015. Wiley. <http://dx.doi.org/10.1002/jsfa.7360>.

BRAGA, E. S. et al. Zn, Co, Cr, As, and genotoxic effects in the ichthyofauna species from polluted and non-polluted/protected estuaries of the São Paulo coast, Brazil. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, [S.L.], v. 91, n. 4, p. 1-18, nov. 2019. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/0001-3765201920190066>.

BRÍGIDA, A.I.S. et al. Effect of chemical treatments on properties of green coconut fiber. **Carbohydrate Polymers**, [S.L.], v. 79, n. 4, p. 832-838, 17 mar. 2010. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.carbpol.2009.10.005>.

CARVALHO, J. C. M. **O desenvolvimento da agropecuária brasileira: da agricultura escravista ao sistema agroindustrial**. Brasília: Embrapa, 1992. 171 p.

CASTRO-GONZÁLEZ, M.I.; MÉNDEZ-ARMENTA, M. Heavy metals: implications associated to fish consumption. **Environmental Toxicology And Pharmacology**, [S.L.], v. 26, n. 3, p. 263-271, nov. 2008. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.etap.2008.06.001>.

CENTRO DE ESTUDOS AVANÇADOS EM ECONOMIA APLICADA (CEPEA); CONFEDERAÇÃO NACIONAL DA AGRICULTURA E PECUÁRIA (CNA). **PIB do agronegócio brasileiro de 1996 a 2018**. Piracicaba: Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz (ESALQ), 2020. Disponível em: <<https://www.cepea.esalq.usp.br/br/pib-do-agronegocio-brasileiro.aspx>>.

CHWASTOWSKI, J. et al. Adsorption of hexavalent chromium from aqueous solutions using Canadian peat and coconut fiber. **Journal of Molecular Liquids**, [S.L.], v. 248, p. 981-989, dez. 2017. Elsevier BV. <https://doi.org/10.1016/j.molliq.2017.10.152>

COELHO, M. A. Z. et al. **Aproveitamento de resíduos agroindustriais: produção de enzimas a partir da casca de coco verde**. Boletim do Centro de Pesquisa e Processamento de Alimentos, Curitiba, v. 19, n. 1, p. 33-42, jan./jun. 2001.

CONRAD, K.; BRUUN HANSEN, H. C. Sorption of zinc and lead on coir. **Bioresource Technology**, [S.L.], v. 98, n. 1, p. 89-97, jan. 2007. Elsevier BV. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2005.11.018>

ESCRITÓRIO TÉCNICO DE ESTUDOS ECONÔMICOS DO NORDESTE - ETENE. **Produção de coco: o Nordeste é destaque nacional**. Fortaleza: Banco do Nordeste, 2018. Disponível em: <https://www.bnb.gov.br/documents/80223/4296541/61_coco.pdf/c172dd8f-3044-f1db-5d0c-a94c5eb735e0>. Acesso em: 6 ago. 2020.

FERREIRA, D. C et al. Biosorção de chumbo e níquel pelas fibras do Cocos nucifera L. **FAZU em Revista** Uberaba, n. 9, p. 64-68, 2012.

FREITAS, L. C. et al. From waste to sustainable industry: how can agro-industrial wastes help in the development of new products?. **Resources, Conservation And Recycling**, [S.L.], v. 169, p. 105466, jun. 2021. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.resconrec.2021.105466>.

FUNDO DAS NAÇÕES UNIDAS PARA A INFÂNCIA (UNICEF); ORGANIZAÇÃO MUNDIAL DA SAÚDE (OMS). **Progress on household drinking water, sanitation and hygiene 2000-2017: special focus on inequalities**. Nova Iorque: Fundo das Nações Unidas para a Infância (UNICEF) e Organização Mundial da Saúde, 2019.

GHERNAOUT, D.; GHERNAOUT, B.; NACEUR, M. W. Embodying the chemical water treatment in the green chemistry—A review. **Desalination**, [S.L.], v. 271, n. 1-3, p. 1-10, abr. 2011. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.desal.2011.01.032>.

GUPTA, V. K.; ALI, I. Utilization of bagasse fly ash (a sugar industry waste) for the removal of copper and zinc from wastewater. **Separation And Purification Technology**, [S.L.], v. 18, n. 2, p. 131-140, mar. 2000. Elsevier BV. [http://dx.doi.org/10.1016/s1383-5866\(99\)00058-1](http://dx.doi.org/10.1016/s1383-5866(99)00058-1).

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Indicadores IBGE: levantamento sistemático da produção agrícola estatística da produção agrícola**. [S.L.]: IBGE, 2019.

Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). **Levantamento Sistemático da Produção Agrícola - LSPA: séries históricas**. Jun. 2020. Disponível em: <<https://www.ibge.gov.br/estatisticas/economicas/agricultura-e-pecuaria/9201-levantamento-sistemico-da-producao-agricola.html?=&t=series-historicas>>. Acesso em: 06 ago. 2020.

ISHIZAKI, M. H. et al. Caracterização mecânica e morfológica de compósitos de polipropileno e fibras de coco verde: influência do teor de fibra e das condições de mistura. **Polímeros**, [S.L.], v. 16, n. 3, p. 182-186, 2006. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s0104-14282006000300006>.

JOHARI, K. et al. Adsorption enhancement of elemental mercury by various surface modified coconut husk as eco-friendly low-cost adsorbents. **International Biodeterioration & Biodegradation**, [S.L.], v. 109, p. 45-52, abr. 2016. Elsevier BV. <https://doi.org/10.1016/j.ibiod.2016.01.004>

LIMA, A. C. A. et al. Modified coconut shell fibers: A green and economical sorbent for the removal of anions from aqueous solutions. **Chemical Engineering Journal**, [S.L.], v. 185-186, p. 274-284, mar. 2012. Elsevier BV. <https://doi.org/10.1016/j.cej.2012.01.037>

MONTEIRO, R. A. **Avaliação do potencial de adsorção de U, Th, Pb, Zn e Ni pelas fibras de coco**. 2009. 79 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Ciências na Área de Tecnologia Nuclear – Materiais, Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares, São Paulo, 2009.

NABINGER, D. D. **Exposição aguda e subcrônica ao níquel em peixe-zebra (Danio rerio): avaliação de parâmetros morfológicos e comportamentais**. 2017. 85 f. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação de Biologia Celular e Molecular, Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2017.

PARITOSH, K. et al. Food Waste to Energy: an overview of sustainable approaches for food waste management and nutrient recycling. **Biomed Research International**, [S.L.], v. 2017, p. 1-19, 2017. Hindawi Limited. <http://dx.doi.org/10.1155/2017/2370927>.

PHAN, N. H et al. Production of fibrous activated carbons from natural cellulose (jute, coconut) fibers for water treatment applications. **Carbon**, [S.L.], v. 44, n. 12, p. 2569-2577, out. 2006. Elsevier BV. <https://doi.org/10.1016/j.carbon.2006.05.048>.

PINO, G. A. H. **Biossorção de Metais Pesados Utilizando Pó da Casca de Coco Verde (*Cocos nucifera*)**. 2005. 113 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Metalúrgica e de Materiais, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2005.

QUEK, S. K. et al. Coir as a Biosorbent of Copper and Lead. **Process Safety and Environmental Protection**, v. 76, n. 1, p. 50-54, fev. 1998. Elsevier BV. <https://doi.org/10.1205/095758298529254>.

RAHIM, A. R. A. et al. Effective carbonaceous desiccated coconut waste adsorbent for application of heavy metal uptakes by adsorption: Equilibrium, kinetic and thermodynamics analysis. **Biomass and Bioenergy**, [S.L.], v. 142, p. 105805, nov. 2020. Elsevier BV. <https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2020.105805>.

RAJESHKUMAR, S. et al. Studies on seasonal pollution of heavy metals in water, sediment, fish and oyster from the Meiliang Bay of Taihu Lake in China. **Chemosphere**, [S.L.], v. 191, p. 626-638, jan. 2018. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.chemosphere.2017.10.078>.

RAMÍREZ, M. G. L. et al. Preparation and characterization of biodegradable composites based on Brazilian cassava starch, corn starch and green coconut fibers. **Matéria (Rio de Janeiro)**, [S.L.], v. 15, n. 2, p. 330-337, 2010. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s1517-70762010000200034>.

RAULINO, G. S. C. et al. Treatment influence on green coconut shells for removal of metal ions: pilot-scale fixed-bed column. **Environmental Technology**, [S.L.], v. 35, n. 14, p. 1711-1720, 27 fev. 2014. Informa UK Limited. <http://dx.doi.org/10.1080/09593330.2014.880747>.

RAVINDRAN, R. et al. A Review on Bioconversion of Agro-Industrial Wastes to Industrially Important Enzymes. **Bioengineering**, [S.L.], v. 5, n. 4, p. 93, 28 out. 2018. MDPI AG. <http://dx.doi.org/10.3390/bioengineering5040093>.

ROSA, M. F. et al. **Caracterização do pó da casca de coco verde usado como substrato agrícola**. Fortaleza: Embrapa Agroindústria Tropical, 2001. 6 p.

SATYANARAYANA, K. G. et al. Structure property studies of fibres from various parts of the coconut tree. **Journal Of Materials Science**, [S.L.], v. 17, n. 8, p. 2453-2462, ago. 1982. Springer Science and Business Media LLC. <http://dx.doi.org/10.1007/bf00543759>.

SCHAUMLÖFFEL, D. Nickel species: analysis and toxic effects. **Journal Of Trace Elements In Medicine And Biology**, [S.L.], v. 26, n. 1, p. 1-6, jan. 2012. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jtemb.2012.01.002>.

SHRESTHA, S. et al. Isotherm and thermodynamic studies of Zn (II) adsorption on lignite and coconut shell-based activated carbon fiber. **Chemosphere**, [S.L.], v. 92, n. 8, p. 1053-1061, ago. 2013. Elsevier BV. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2013.02.068>.

SILVA, G.G. et al. **Mechanical and thermal characterization of native Brazilian coir fiber**. [S.L.], v. 76, n. 7, pp. 1197-1206, 16 mar. 2000. J Applied Polymer Science.

SILVA, K. M. D. et al. Caracterização físico-química da fibra de coco verde para a adsorção de metais pesados em efluente de indústria de tintas. **Engevista**, [S.L.], v. 15, n. 1, p. 43, 16 nov. 2012. Pro Reitoria de Pesquisa, Pós Graduação e Inovação - UFF. <http://dx.doi.org/10.22409/engevista.v15i1.387>.

SOARES, J. et al. Green coconut mesocarp pretreated by an alkaline process as raw material for bioethanol production. **Bioresource Technology**, [S.L.], v. 216, p. 744-753, set. 2016. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.biortech.2016.05.105>.

SOUSA, F. W. et al. Green coconut shells applied as adsorbent for removal of toxic metal ions using fixed-bed column technology. **Journal Of Environmental Management**, [S.L.], v. 91, n. 8, p. 1634-1640, ago. 2010. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jenvman.2010.02.011>.

SOUSA, F. W. et al. Uso da casca de coco verde como adsorbente na remoção de metais tóxicos. **Química Nova**, [S.L.], v. 30, n. 5, p. 1153-1157, out. 2007. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s0100-40422007000500019>.

STARÓN, P.; CHWASTOWSKI, J.; BANACH, M. Sorption and desorption studies on silver ions from aqueous solution by coconut fiber. **Journal of Cleaner Production**, [S.L.], v. 149, p. 290-301, abr. 2017. Elsevier BV. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.02.116>

TOMCZAK, F. et al. Studies on lignocellulosic fibers of Brazil. Part II: morphology and properties of brazilian coconut fibers. **Composites Part A: Applied Science and Manufacturing**, [S.L.], v. 38, n. 7, p. 1710-1721, jul. 2007. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.compositesa.2007.02.004>.

VOCCIANTE, M. et al. A rigorous procedure for the design of adsorption units for the removal of cadmium and nickel from process wastewaters. **Journal Of Cleaner Production**, [S.L.], v. 77, p. 35-46, ago. 2014. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jclepro.2013.12.001>.

WU, C. S. Preparation and characterizations of polycaprolactone/green coconut fiber composites. **Journal Of Applied Polymer Science**, [S.L.], v. 115, n. 2, p. 948-956, 15 jan. 2010. Wiley. <http://dx.doi.org/10.1002/app.30955>.

YEO, K. F. H. et al. Arsenic Removal from Contaminated Water Using Natural Adsorbents: A Review. **Coatings**, [S.L.], v. 11, p. 1407, nov. 2021. MDPI. <https://doi.org/10.3390/coatings11111407>

YUAN, J. et al. Preparation and application of Mg–Al composite oxide/coconut shell carbon fiber for effective removal of phosphorus from domestic sewage. **Food and Bioproducts Processing**, [S.L.], v. 126, p. 293-304, mar. 2021. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.fbp.2021.01.004>.