

APLICAÇÃO DO PÓ DA CASCA DE COCO VERDE NA REMOÇÃO DE CONTAMINANTES DA ÁGUA PRODUZIDA: UM ESTUDO DE CASO

Miquéias Mateus Ferreira Leite¹

Vanessa Limeira Azevedo Gomes²

Engenharia de Petróleo



ISSN IMPRESSO 1980-1777

ISSN ELETRÔNICO 2316-3135

RESUMO

Ao produzir e tratar o petróleo, resíduos poluentes são gerados como a água produzida. A água produzida é proveniente do processamento primário de petróleo e contém óleo, sólidos grossos, metais pesados e alta salinidade, se tornando uma das principais fontes de poluição por ter um difícil descarte. Por isso, é necessário realizar um tratamento adequado para remover esses contaminantes. Uma das opções se dá por meio da adsorção, utilizando bioadsorventes. Assim, este trabalho teve como objetivo, por meio de um estudo de caso, avaliar o potencial do pó da casca de coco verde na remoção de contaminantes da água produzida dos dados das propriedades físico-químicas. A partir da preparação e caracterização da biomassa, casca de coco verde, foi feita uma análise comparativa com o bagaço da cana-de-açúcar, a fim de apresentar a eficiência de ambas. Como resultados da pesquisa, observa-se que o pó da casca de coco verde apresenta características que facilita o processo de adsorção do óleo assim como o bagaço da cana-de-açúcar.

PALAVRAS-CHAVE

Água Produzida. Bioadsorventes. Coco Verde. Metais Pesados.

ABSTRACT

When producing and treating oil, polluting waste is generated like produced water. Produced water comes from primary petroleum processing and contains oil, coarse solids, heavy metals and high salinity, making it one of the main sources of pollution due to its difficult disposal. Therefore, it is necessary to carry out a proper treatment to remove these contaminants. One of the options is through adsorption using bioadsorbents. Thus, this work, through a case study, aimed to evaluate the potential of green coconut shell powder in the removal of contaminants from produced water from the data of physicochemical properties. From the preparation and characterization of the biomass, green coconut husk, a comparative analysis was made with sugarcane bagasse, in order to present the efficiency of both. As a result of the research, it is observed that the green coconut shell powder presents characteristics that facilitate the oil adsorption process, as well as sugarcane bagasse.

KEYWORDS

Produced water. Bioadsorbents. Green coconut. Heavy metals

1 INTRODUÇÃO

O petróleo, conforme a teoria da origem orgânica, é formado pela decomposição de grandes quantidades de material vegetal e animal que, sob ação da pressão e calor gera misturas de compostos constituídos majoritariamente por moléculas de carbono e hidrogênio – os hidrocarbonetos. No processo de produção, o petróleo raramente é produzido de forma homogênea. Sendo de maneira comum a produção simultânea de óleo, gás, água e contaminantes. Essa mistura é transferida até uma planta de processo primário de petróleo (PPP), localizada no campo terrestre ou marítimo, sendo realizados ali os processos de separação dos componentes por meio de um conjunto de equipamentos e de operações unitárias (RAMALHO, 2009).

O processamento primário de petróleo (PPP) é normalmente realizado no próprio campo produtor e tem como finalidade a separação das três fases (óleo, água e gás), sendo a etapa de separação da água a mais complicada e importante do processo. O PPP tem a função de colocar o óleo dentro das especificações de BSW (*Basic Sediments and Water* – Água e Sedimentos Básicos) exigidas pelo refino como: a) um mínimo de componentes mais leves (os gases); b) quantidade de sais abaixo de 300 miligramas por litro (300 mg/L) de óleo; c) quantidade de água e sedimentos abaixo de 1% (do volume do óleo) (CUNHA, 2007).

Geralmente o petróleo é produzido em concomitância com a água. Muitas vezes esta apresenta uma alta salinidade, gás, sedimentos e outros contaminantes os quais devem ser separados, visto que em contato com o óleo resultam nas formações das emulsões (HILARIO, 2012).

Dentre os resíduos derivados da extração do petróleo, a água produzida, composta de diversos compostos químicos nocivos ao meio ambiente, destacando também sua alta salinidade, por ter uma tóxica e complexa composição é necessário que seja feita a escolha dos processos de tratamento e no seu respectivo descarte (SOUZA et al., 2017).

Nesse contexto, a utilização de bioadsorventes, como casca de coco, bagaço de cana-de-açúcar, casca de arroz, madeira, casca de laranja, entre outros, têm sido pesquisadas para aplicação no tratamento da água produzida, por meio do processo de adsorção.

Assim, este trabalho, por meio de um estudo de caso, avaliou o potencial do pó da casca de coco verde na remoção de contaminantes da água produzida. Para isso, um levantamento dos principais bioadsorventes aplicados na remoção de contaminantes da água produzida foi realizado, foi feita a comparação por meio dos dados das propriedades físico-químicas da casca de coco verde com as do bagaço de cana-de-açúcar.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 BIOMASSA

De acordo com a Agência Nacional de Energia Elétrica - ANEEL (2008), a biomassa é todo recurso renovável oriundo de matéria orgânica, podendo ter origem animal ou vegetal, que pode ser utilizada na produção de energia, sendo considerada uma das principais alternativas para a diversificação da matriz energética e a consequente redução da dependência de combustíveis fósseis.

Pesquisas vêm sendo desenvolvidas constantemente com a finalidade de reduzir o custo e aumentar a eficiência no processo de adsorção, utilizando biomassas. A biomassa escolhida no projeto é a casca de coco verde. Algumas pesquisas são apresentadas.

Silva e colaboradores (2012) utilizaram o pó da casca do coco estudados em água fria e quente, solução de albumina e de NaOH na remoção de metais tóxicos, como, Cu^{2+} , Cd^{2+} , Ni^{2+} , Pb^{2+} e Zn^{2+} . Analisando assim seus parâmetros físico-químicos, tais como, pH, condutividade elétrica, cor e Demanda Química de Oxigênio (DQO) nas "águas de lavagens", oriundas dos tratamentos efetuados no pó da casca do coco verde. Os resultados dos experimentos indicaram que os tratamentos físico-químicos em NaOH e albumina, apresentaram melhor eficiência na capacidade de adsorção para todos os metais estudados e ainda concluiu que é mais adequado lavar o pó da casca do coco verde apenas com água, pois utiliza-se menor volume de água na lavagem do material, menos cor é liberada e o valor da DQO é menor.

No estudo feito por Souza e colaboradores (2012) foi verificada a adsorção feita por resíduos de laranja modificadas quimicamente. As modificações químicas foram comprovadas após o uso da espectroscopia na região do infravermelho. O tratamento químico proporcionou uma melhora nas propriedades adsorventes, tendo maior destaque a modificação apenas com NaOH. Foi possível verificar que, além de aumentar as propriedades adsorventes, o sistema tornou-se mais espontâneo energeticamente após o tratamento químico.

Castro e colaboradores (2018) avaliaram o potencial do pó da casca do coco verde na biossorção de íons metálicos (Pb^{2+} e Ni^{2+}) presentes em sistemas públicos de abastecimento de água. Eles utilizaram um método para otimizar o processo de biossorção por meio das isotermas de *Freundlich* e *Langmuir* para avaliar as características físicas e químicas do material de adsorção. Ao final do experimento, concluíram que a fibra de coco pode ser aplicada em condições experimentais na remoção de metais potencialmente tóxicos da água de abastecimento e o modelo de *Freundlich* apresentou melhor ajuste aos dados experimentais, concluindo que a adsorção foi caracterizada como física. O método de biossorção por meio da fibra do coco verde é uma tecnologia eficiente, corrobora as estratégias de sustentabilidade ambiental e econômica, uma vez que é um material renovável, de baixo custo e com abundância nacional.

2.2 ESTUDO DAS BIOMASSAS

A biomassa é um material constituído principalmente de substâncias de origem orgânica, ou seja, de animais e vegetais. A energia é obtida por meio da combustão da lenha, bagaço de cana-de-açúcar, resíduos florestais, resíduos agrícolas, casca de arroz, excrementos de animais, entre outras matérias orgânicas (CERQUERIA, 2016).

Várias pesquisas estão sendo desenvolvidas a fim de reduzir custo e aumentar a eficiência no processo de adsorção, utilizando biomassas, visto que muitos adsorventes têm um alto custo quando se trata da utilização em grande escala. Os materiais que promovem a biossorção são chamados de biossorventes, dentre eles o mesocarpo do coco e bagaço da cana representam uma alternativa para o tratamento de efluentes, tendo como foco principal saber suas características e aplicabilidade (MONTEIRO et al., 2007).

As propriedades químicas e estruturais dos adsorventes e bioadsorventes são de fundamental importância nas suas características adsorvativas. Por isso, é necessário um estudo detalhado para identificar essas propriedades. Entre algumas técnicas utilizadas estão: Análise granulométrica; Teor de Cinza ou matéria mineral; Teor de umidade; Teor de carbono fixo; Análise química elementar; Difração de raios X (DRX).

Santos e colaboradores (2003) constatou a capacidade de adsorção de biomassas na remoção de contaminantes em efluentes, utilizando gasolina em água para se fazer os testes, observou então o quanto de soluto uma determinada biomassa pode reter. Verificou-se que o valor encontrado para a capacidade de adsorção do mesocarpo do coco na forma *in natura* e com pré-tratamento ácido está em torno de 12mL/g.

Pesquisas relacionadas à utilização do mesocarpo do coco verde como bioadsorvente na remoção de corantes de efluentes têxteis, demonstraram, que essa biomassa é capaz de remover em torno de 88% de corante numa concentração de 70mg/L, em 120 minutos e com um custo muito baixo, uma vez que é um resíduo abundante no litoral nordestino do Brasil (LEAL et al., 2003).

A fibra do coco apresenta uma morfologia porosa, facilitando desta forma a remoção dos metais em efluentes, devido à sua superfície irregular, permitindo a adsorção dos metais nos interstícios presentes no material (SILVA, 2013).

Alguns outros autores desenvolveram pesquisas sobre tipos de biomassas, visando mostrar a ampla aplicação na remoção de metais pesados em efluentes, possibilitando, assim, a comparação dos resultados obtidos. É possível observar cada tipo de biomassa e abordar parâmetros como: disponibilidade, custo e rendimento, conforme Tabela 1.

Tabela 1 – Biomassa vegetal utilizada na bioissorção de metais pesados

Bioadsorvente	Metais Pesados	Análise	Autores
Bagaço de cana e serragem	Cd	Apresentaram baixo custo e bom rendimento. Remoção superior a 60%;	Albertini, Carmo e Prado (2007)
Fibra de coco	Cr, As, Ni	Baixo custo e reutilizável. A remoção superior a 90%;	Wu <i>et al.</i> (2012)
Fibra de coco	Pb	Economicamente viável.	Monteiro <i>et al.</i> (2007)
Palha de arroz	Cr	Remoção superior a 90%. Economicamente viável;	Kieling <i>et al.</i> (2009)
Palha de arroz	Ni, Zn, Cd, Mn, Co, Cu, Hg, Pb	Reutilizável. Melhor capacidade de tratamento químico de resíduos. Ambientalmente aplicável.	Krishnani <i>et al.</i> , (2008)
Casca de laranja	Cr	Remoção superior a 80%;	Souza <i>et al.</i> (2012)
Bagaço de caju	Zn, Cd, Pb, Ni, Cu	Ambientalmente aplicável.	Moreira <i>et al.</i> (2009)
Alga marinha	Cd, Zn, Cu, Pb	Biomassa reutilizados; Baixo custo.	Romera <i>et al.</i> (2007)
Folha de bananeira	Ni, Cr, Co	Ni e Co remoção superior a 60%; Baixo custo e possível reuso.	Babarinde <i>et al.</i> (2012)

Fonte: Adaptado de Kramer e colaboradores (2015).

3 METODOLOGIA

A metodologia aplicada neste trabalho refere-se a um estudo de caso, onde foi realizada a revisão bibliográfica, utilizando o acervo da biblioteca da instituição, dissertações, livros e artigos sobre os assuntos: água produzida, metais pesados, biomassa, adsorção e bioadsorventes. As principais bases de dados foram de revistas de acesso gratuito e privado, tais como: Periódicos Capes, *Scielo*, *Onepetro* e *Science direct*. Após essa etapa, a preparação e caracterização comparativa da biomassa, casca de coco verde, foi feita.

3.1 PREPARAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO COMPARATIVA DA BIOMASSA

A preparação e caracterização da biomassa ocorreu em duas etapas: (a) Testes experimentais, utilizando a casca de coco verde, onde foi realizado um pré-tratamento para remoção de contaminantes advindos das amostras de casca de coco verde e (b) Análise comparativa da casca de coco verde com o bagaço de cana-de-açúcar.

Os cocos verdes utilizados no trabalho foram fornecidos por meio da agricultura familiar do município de Capela, no estado de Alagoas, conforme Figura 2. Além disso, as características estruturais e químicas das biomassas são de fundamental importância no processo de adsorção. Assim, o pré-tratamento da casca de coco verde deu-se por meio das etapas descritas nos métodos de caracterização físico-química dos trabalhos apresentados por Brandão (2006), Santos e colaboradores (2003) e Silva (2018).

Figura 2 – Casca de Coco Verde Coletada



Fonte: Dados dos Autores (2021).

Para evitar a contaminação do bioadsorvente estudado foi realizado um pré-tratamento das amostras da casca de coco verde. As etapas foram divididas em: 1) Lavagem – a biomassa foi lavada com água, e ao final enxaguada com água destilada para remoção dos materiais indesejáveis que poderiam interferir nos resultados. 2) Secagem – Após a lavagem, a biomassa foi seca à temperatura ambiente (24°C) por 24h e, posteriormente, em um forno a 60°C, por aproximadamente

40 horas. 3) Moagem – Depois de seco, a biomassa foi moída em um liquidificador, até a obtenção do pó da casca de coco. 4) Amostragem – As características físicas e químicas das biomassas foram determinadas por meio de ensaios com pequenas amostras do pó da casca de coco verde. A caracterização foi realizada apenas de forma comparativa.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 ESTUDOS DE CASO SOBRE CASCA DE COCO VERDE

Conforme objetivos propostos, alguns estudos de casos sobre o coco verde aplicado na remoção de contaminantes da água produzida são apresentados.

Lima e colaboradores (2013) estudaram a influência do método de preparo da casca do coco verde como biossorvente para aplicação na remoção de metais em soluções aquosas com o objetivo de avaliar a influência de diversos tratamentos físico-químicos realizados na preparação do pó da casca do coco verde empregado como adsorvente na remoção de metais tóxicos, além de verificar a qualidade das soluções resultantes dos tratamentos empregados. Os resultados indicaram que os tratamentos físico-químicos T4 e T3 (tratados com NaOH e albumina, respectivamente) obtiveram bons resultados na capacidade de adsorção para todos os metais estudados, porém suas “águas de lavagens” apresentaram características físico-químicas, parâmetro DQO, em maior desacordo com a legislação pertinente no estado do Ceará (PORTARIA DA SEMACE N° 154/2002) em relação ao descarte deles, classificados como efluentes industriais.

Assim, é mais adequado lavar o pó da casca de coco verde apenas com água (T1), pois utiliza-se menor volume de água na lavagem do material, menos cor é liberada e o valor da DQO é menor, além disso, não há diferença significativa na capacidade de adsorção dos metais quando se utiliza o adsorvente submetido ao tratamento T1 em relação aos outros tratamentos.

Santos (2017) teve como objetivo apresentar e discutir o estudo do aproveitamento das fibras do resíduo do coco nucifera no desenvolvimento de um solvente a ser utilizado em derramamento de petróleo em ambiente marinho. A metodologia utilizada nesta pesquisa consistiu no tratamento prévio das fibras de coco nucifera por meio dos processos de dilaceração, pré-secagem, moagem e secagem em temperatura ambiente com o auxílio de moinho de facas. As amostras de petróleo utilizadas foram de dois tipos, denominadas A01 e A02, sendo então pré-aquecidas em estufa até atingir a temperatura de 40°C para tornar em condições de análise.

Por fim, os testes de sorção foram realizados em temperatura ambiente com a finalidade de simular uma situação de derramamento real, os tempos de reação selecionados foram de 30min, 45min, 60min, 120min e 240min com objetivo de identificar o momento de maior absorção de óleo pela fibra. Após todos esses processos experimentais, concluiu-se que as fibras de Coco nucifera apresentaram

bons resultados para serem utilizadas como material sorvente em derramamento de petróleo e nas condições experimentais, uma grama de fibras de coco nucifera pode sorver cerca de 26g de óleo leve ou 19g de óleo médio. As fibras tiveram maior afinidade com a amostra construída por óleo leve, com elevado ponto de fluidez e menor densidade.

Nascimento (2018) fez um estudo com a utilização da fibra do coco como adsorvente para o cobre, essa pesquisa aprofundou os estudos da utilização do pó da fibra do coco natural e ativado como adsorvente na remoção de cobre de efluentes aquosos. A metodologia deste trabalho foi do tipo experimental com caráter qualitativo e quantitativo. Os reagentes utilizados foram NaOH (0,1M), CuSO_4 ($1,0 \text{ g.L}^{-1}$), Solução Tampão (CH_3BO_3 , CH_3COOH , CH_3PO_4 , NaClO_4 , NaOH,) (PH= 5,6) e Vermelho de Alizarina ($0,32 \text{ g.L}^{-1}$).

A obtenção do material se deu pela coleta do coco, separação do mesocarpo, lavagem, secagem e moagem, posteriormente foi feita a preparação do material adsorvente, preparação das soluções, a caracterização do material adsorvente, banho finito e por fim as análises de determinações das concentrações finais. De acordo com os experimentos, Nascimento (2018) concluiu que a Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV) mostrou que no geral o material é extremamente poroso e irregular e que após ativação com NaOH sofre modificações na sua composição elementar.

A caracterização por Difração de Raio-X indicou o pico correspondente da celulose onde, no espectro do MC a intensidade é de aproximadamente 4000 u.a e do MCA de 6800 u.a. O Limite de Quantificação (LQ) e de Detecção (LD) encontrados foram de 32 mg.L^{-1} e $9,6 \text{ mg.L}^{-1}$, respectivamente. As capacidades máximas de adsorção encontradas foram de $105,4 \text{ mg.g}^{-1}$ (MC) e 108 mg.g^{-1} , (MCA). Com porcentagens estimadas de 52,7% (MC), 54% (MCA). Os resultados desses experimentos são promissores e comprovam que a aplicação das fibras de coco como bioadsorvente de íons cobre possuem capacidade de adsorção, podendo ser utilizado para fins ambientais e provavelmente com outros metais.

Com os resultados obtidos pode-se compreender que o pó da casca de coco verde tratado com $\text{NaOH} 0,1 \text{ Mol.L}^{-1} / 3 \text{ h}$ apresenta características favoráveis ao seu uso como material absorvedor dos íons tóxicos: Pb^{+2} , Ni^{+2} , Cd^{+2} , Zn^{+2} e Cu^{+2} em soluções aquosas. E que a aplicação das fibras de coco como bioadsorvente de íons cobre possuem capacidade de adsorção, podendo ser utilizado para fins ambientais e provavelmente com outros metais.

Assim sendo, é possível concluir que o pó da casca de coco verde, após tratamento, pode ser aplicado como bioadsorvente na remoção de óleo e metais da água.

4.2 ANÁLISE COMPARATIVA DAS BIOMASSAS

O seguinte tópico apresenta análises comparativas de diferentes tipos de biomassa, sendo elas denominadas de: Biomassa 1 – Fibras de Coco Verde (FCV) – e Biomassa 2 – Bagaço da Cana-de-Açúcar (BCA). Análise essa, que foi obtida através de pesquisas bibliográficas e apresentado suas melhores características.

4.3.1 Biomassa 1: Fibras de Coco Verde (FCV)

Pesquisas relacionadas à utilização do mesocarpo do coco verde como bio-adsorvente na remoção de corantes de efluentes têxteis, demonstraram, que essa biomassa é capaz de remover em torno de 88% de corante com uma concentração de 70mg/L, em 120 minutos e com um custo muito baixo, uma vez que é um resíduo abundante no litoral nordestino do Brasil (LEAL et al., 2003). De acordo com essa afirmação, outros estudos foram feitos para avaliar a eficiência da biomassa em estudo, onde estão descritos a seguir.

Caldas (2011) teve como objetivo apresentar e discutir o estudo do aproveitamento das fibras do resíduo do coco nucífera no desenvolvimento de um solvente a ser utilizado em derramamento de petróleo em ambiente marinho. A metodologia utilizada nesta pesquisa consistiu no tratamento prévio das fibras de coco nucífera por meio dos processos de dilaceração, pré-secagem, moagem e secagem em temperatura ambiente com o auxílio de moinho de facas.

As amostras de petróleo utilizadas foram de dois tipos, denominadas A01 e A02, sendo então pré-aquecidas em estufa até atingir a temperatura de 40°C para tornar em condições de análise. Por fim, os testes de sorção foram realizados em temperatura ambiente com a finalidade de simular uma situação de derramamento real, os tempos de reação selecionados foram de 30min, 45min, 60min, 120min e 240min com objetivo de identificar o momento de maior sorção de óleo pela fibra.

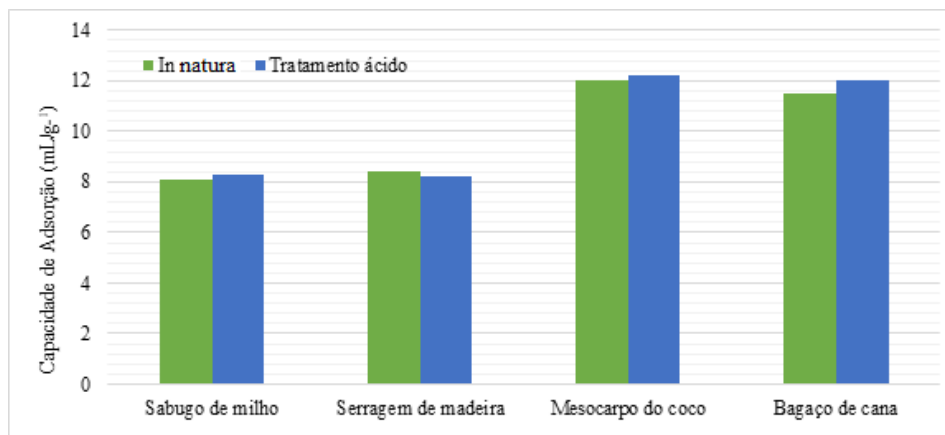
Após esses procedimentos experimentais, concluiu-se que as fibras de coco nucífera apresentaram bons resultados para serem utilizadas como material solvente em derramamento de petróleo e nas condições experimentais, uma grama de fibras de coco nucífera pode sorver cerca de 26g de óleo leve ou 19g de óleo médio. As fibras tiveram maior afinidade com a amostra construída por óleo leve, com elevado ponto de fluidez e menor densidade.

Santos e colaboradores (2007) estudou o desempenho de biomassas na adsorção de hidrocarbonetos leves em efluentes aquosos, buscando mostrar os valores calculados para a capacidade de adsorção, utilizando equações empíricas do modelo matemático nas biomassas estudadas.

As biomassas estudadas com e sem o pré-tratamento ácido, com os resultados obtidos e analisados nos testes cinéticos e de equilíbrio e pela aplicação do planejamento fatorial experimental, pode-se concluir que o mesocarpo do coco foi a biomassa que apresentou maior valor de capacidade de adsorção, ou seja, maior quantidade de compostos orgânicos (hidrocarbonetos leves) removidos da emulsão por grama de biomassa utilizada (SANTOS et al., 2007).

A Figura 4 apresenta a capacidade de adsorção para quatro tipos de biomassa: sa-bugo de milho, serragem de madeira, mesocarpo de coco e bagaço de cana-de-açúcar.

Figura 4 – Gráfico mostrando a capacidade de adsorção para cada biomassa na forma natural e com pré-tratamento



Fonte: Adaptado de Santos e colaboradores (2007).

4.3.2 Biomassa 2: Bagaço da Cana-de-Açúcar (BCA)

Outro resultado observado é que a cinética de adsorção da gasolina em bagaço de cana-de-açúcar à temperatura ambiente é muito rápida, com tempo de equilíbrio inferior a 5 minutos. O bagaço da cana é capaz de adsorver até 99% de gasolina e 90% de n-heptano contidos em solução, contendo aproximadamente 5% destes contaminantes. Mostrando, assim, o grande potencial dessa biomassa como bioadsorvente (BRANDÃO, 2006).

A cana-de-açúcar (*Saccharum officinarum* L.) é uma biomassa que pode ser transformada quase que totalmente em energia aproveitável por meio de processos industriais, que na sua maioria, já são dominados e conhecidos e apresentam alto índice de aproveitamento dos subprodutos e baixo impacto ambiental (NOVACANA, 2018).

Silva (2018) realizou um estudo da aplicação do bagaço de cana-de-açúcar para remoção de petróleo na água produzida. Neste trabalho, a biomassa foi caracterizada com a finalidade de verificar o seu potencial como bioadsorvente. Inicialmente, foi realizado um pré-tratamento da biomassa e uma caracterização físico-química. Em seguida, a biomassa foi ativada por meio de uma solução com 0,1 mol.L⁻¹ NaOH, 0,1 mol.L⁻¹ HCl e 1,2 mol.L⁻¹ Ácido cítrico. Os testes do teor de cinzas, umidade, matéria volátil e carbono fixo para o bagaço de cana, foram iguais a 7,92%; 2,39%; 69,85% e 19,85%, respectivamente, corroborando com os dados da literatura. A ativação química foi comprovada pelas análises de Difração de Raios-X (DRX) e Espectroscopia de Infravermelho (FTIR).

Por fim, foram realizados estudos de adsorção em uma coluna de leito fixo, utilizando solução sintética de água produzida como corrente de alimentação. Por meio deste estudo, foi possível verificar o percentual de adsorção da biomassa e traçar a curva de ruptura do sistema. Os resultados mostraram uma remoção de 83,4% dos contaminantes da solução sintética, além disso, verificou-se o ponto de ruptura igual

a 0,3 e tempo de ruptura em torno de 180 minutos para os parâmetros da coluna. Assim, pode-se concluir que há possibilidade da aplicação do bagaço de cana-de-açúcar na remoção dos contaminantes da água produzida pelo processo de adsorção.

Da Silva e colaboradores (2018) apresentou os resultados do teor de carbono fixo obtidos para casca da laranja e bagaço da cana-de-açúcar, conforme Tabela 2.

Tabela 2 – Características do BCA

Composição	Porcentagem
Carbono	39,7 – 40 %
Oxigênio	40 – 46 %
Hidrogênio	5,5 - 7,4 %
Nitrogênio e cinzas	0 - 0,3 %
Propriedades Físico-Químicas	
Umidade	50 %
Fibra	46 %
Impurezas minerais	4 %
Composição Média da Fibra do BCA	
Celulose	26,6 - 54,3 %
Hemicelulose	14,3 - 24,4 %
Lignina	22,7 - 29,7 %

Fonte: Adaptado de Silva (2018).

5 CONCLUSÕES

O presente trabalho permitiu a análise e avaliações de alternativas para diminuir a poluição causada pela indústria petrolífera, utilizando a AP para reinjeção nos poços. Sabe-se que a remoção de contaminantes da água produzida é essencial antes de realizar o descarte, por isso, é necessário de técnicas de remoção eficiente. Neste trabalho, foi possível estudar o pó da casca do coco verde e comparar com o bagaço da cana-de-açúcar, ambos como bioadsorventes. Por meio dos resultados, pode-se concluir que:

Para as biomassas estudadas com o sem o pré-tratamento ácido, pode-se concluir que o mesocarpo do coco foi a biomassa que apresentou maior valor de capacidade de adsorção, ou seja, maior quantidade de compostos orgânicos (HC leves).

O bagaço de cana sem pré-tratamento ácido apresentou valores elevados de capacidade de adsorção.

Não houve grande diferença na capacidade de adsorção com o pré-tratamento ácido, sendo interessante ser enfatizado pela redução de custos no processo.

Os ensaios de adsorção realizados com solução sintética, em contato com a coluna de leito fixo, utilizando o bagaço de cana-de-açúcar como filtro, mostrou-se excelente, apresentando remoção de 83,4% na primeira hora de fluxo.

Pode-se concluir que é necessário o desenvolvimento de métodos de tratamento com baixo custo e rápidos, que busquem minimizar os impactos ambientais que o efluente produzido em larga escala pode causar.

REFERÊNCIAS

- ANEEL – Agência Nacional de Energia Elétrica. **Atlas de Energia Elétrica do Brasil**. Brasília, 2008. Disponível em: http://www.aneel.gov.br/documents/656835/14876406/2008_AtlasEnergiaEletricaBrasil3ed/297ceb2e-16b7-514d-5f19-16cef60679fb. Acesso em: 6 ago. 2020.
- ALBERTINI, S.; CARMO, L. F.; FILHO, L.G. P. Utilização de serragem e bagaço de cana-de-açúcar para adsorção de cádmio. **Ciênc. Tecnol. Aliment.**, Campinas, v. 27, n. 1, p. 113-118, 2007. Doi: <http://dx.doi.org/10.1590/S0101-20612007000100020>
- BABARINDE, N. A. A.; OYEBAMIJI, J.; ADEGOKE, J.; MARAIZU, U.; OGUNBANWO, T. Kinetic, Equilibrium and thermodynamic studies of the biosorption of Ni(II), Cr(III) and Co(II) from aqueous solutions using banana (*Musa acuminata*) leaf. **International Journal of Physical Sciences**, v. 7, n. 9, p. 1376-1385, 2012. Doi: <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.401.8590&rep=rep1&type=pdf>
- BRANDÃO, P. C. **Avaliação do uso do bagaço de cana como adsorvente para a remoção de contaminantes, derivados do petróleo, de efluentes**. 2006. 147 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) – Universidade Federal de Uberlândia, Minas Gerais, 2006.
- CALDAS, A.S.; SANTOS, V.L.C.S. **Aproveitamento das fibras do resíduo do coco nucífera no desenvolvimento de um solvente a ser utilizado em derramamento de petróleo em ambiente marinho**. Dissertação (Mestrado em Geoquímica: Petróleo e Meio Ambiente) – Universidade Federal da Bahia, Salvador, 2011.
- CASTRO, B.; JERONIMO, G.J.; GONÇALVES, J.C.S.I.; LUZ, M.S.; CORREIO, D.C.F. Material biossorvente para a remoção de metais potencialmente tóxicos dos sistemas de abastecimento de água. Triangulo Mineiro. Universidade Federal de Santa Maria. **Ciência e Natura**, Santa Maria v. 42, e19, 2018.
- CERQUERIA, W. C. F. "Biomassa". **Brasil Escola**, 2016. Disponível em <http://brasilescola.uol.com.br/geografia/biomassa.htm>. Acesso em: 23 fev. 2021.
- CUNHA, R. E. P. **Modelagem matemática de separação gravitacional de emulsões de petróleo**. 2007. 148 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Processos) – Universidade Tiradentes, Aracajú, SE, 2007.

HILÁRIO, L.S. **Avaliação de desempenho de desemulsificantes comerciais na separação da água produzida do petróleo.** Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia de Petróleo) – Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2012.

KIELING, A. G.; MORAES, C. A. M.; BREHM, F. A. Utilização de cinza de casca de arroz na remoção de cromo hexavalente. **Estudos Tecnológicos**, v. 5, n. 3, p. 351-362, 2009. Disponível em: http://revistas.unisinos.br/index.php/estudos_tecnologicos/article/view/4985. Acesso em: 02 de outubro de 2020.

KRISHNANI, K. K.; MENG, X.; CHRISTODOULATOS, C.; BODDU, V. M. Biosorption mechanism of nine different heavymetals onto biomatrix from rice husk. **Journal of Hazardous Materials**, v. 153, n. 3, p. 1222-1234, 2008. Doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jhazmat.2007.09.113>

LEAL, C. C. A. *et al.* Avaliação das condições para remoção de cor em efluentes têxteis utilizando como adsorvente o mesocarpo do coco verde. Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, 22, 2003. **Anais[...]**, Santa Catarina, 2003.

MONTEIRO, R. A.; BONIOLO, M. R.; YAMAURA, M. **Uso das fibras de coco na biossorção de chumbo em águas residuárias industriais.** 2007. Disponível em: <http://www.ambiente-augm.ufscar.br/uploads/A2-060.pdf>. Acesso em: 5 mar. 2021.

NOVACANA. **A Cana-de-açúcar como fonte de energia elétrica.** 2013. Disponível em: <https://www.novacana.com/estudos/a-cana-de-acucar-como-fonte-de-energia-eletrica-241013>. Acesso em: 5 mar. 2021.

RAMALHO, J. B. V. S. **Efeito de bases desemulsificantes comerciais do tipo copolímero de poli (óxido de etileno-b-óxido de propileno) na desemulsificação de emulsões água-em-óleo de petróleo: elucidação do mecanismo de desemulsificação.** 2009. 120 f. Tese (Doutorado em Ciência e Tecnologia de Polímeros) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2009.

ROMERA, E.; GONZÁLEZ, F.; BALLESTER, A.; BLARQUEZ, M. L.; MUNOZ, J. A. Comparative study of biosorption of heavymetals using different types of algae. **Bioresource Technology**, v. 98, n. 17, p. 3344-3353, 2007. Doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.biortech.2006.09.026>

SANTOS, E. G.; ALSINA, O. L. S.; SILVA, F. L. H. Desempenho de Biomassas na Adsorção de Hidrocarbonetos Leves em Efluentes Aquosos. **Quim. Nova**, v. 30, n. 2, p. 327-331, 2007. Doi: <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-40422007000200017>

SANTOS, E. G.; ALSINA, O. L. S.; SILVA, F. L. H. Estudo da Adsorção de Contaminantes Orgânicos Provenientes da Água de Extração do Petróleo, Utilizando Biomassas como Adsorvente. Encontro Brasileiro de Adsorção – EBA, 4, 2003. **Anais[...]**, Rio de Janeiro, RJ, 2003. p. 198-205.

SILVA, R. **Aplicação do Bagaço de Cana-de-Açúcar para Remoção de Petróleo da Água Produzida**. 2018. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) – Centro Universitário Tiradentes, UNIT/AL, 2018.

SILVA, K. M. D.; REZENDE, L. C. S. H.; SILVA, C.A.; BERGAMASCO, R.; GONÇALVES, D. S. Caracterização físico-química da fibra de coco verde para a adsorção de metais pesados em efluente de indústria de tintas. **ENGEVISTA**, v. 15, n. 1. p. 43-50, 2013.

Disponível em:

<http://www.uff.br/engevista/seer/index.php/engevista/article/viewArticle/387>. Acesso em: 22 de outubro de 2020.

SILVA, M. S. P.; RAULINO, G. S. C.; VIDAL, C. B.; LIMA, A. C. A.; NASCIMENTO, R. F. **Influência do método de preparo da casca do coco verde como biossorvente para aplicação na remoção de metais em soluções aquosas**. Ceará. 2012.

Disponível em: http://revistadae.com.br/artigos/artigo_edicao_193_n_1498.pdf.

Acesso em: 7 ago. 2020.

SOUZA, A. J. M.; SILVA, C. I.; BISNETO, L. A. B.; SILVA, T. P.; CARVALHO, F. G.

Avaliação do potencial adsorvente da biomassa de coco verde quanto à redução da salinidade em água produzida. Natal. 2017. Disponível em: <https://cointer-pdvagro.com.br/wp-content/uploads/2018/02/AVALIA%C3%87%C3%83O-DO-POTENCIAL-ADSORVENTE-DA-BIOMASSA-DE-COCO-VERDE-QUANTO-%C3%80-REDU%C3%87%C3%83O-DA-SALINIDADE-EM-%C3%81GUA-PRODUZID-1.pdf>.

Acesso em: 7 ago. 2020.

SOUZA, J. V. T. M.; MASSOCATTO, C. L.; DINIZ, K. M.; TARLEY, C. R. T.; CAETANO, J. Adsorção de cromo (III) por resíduos de laranja in natura e quimicamente modificados. Seminário Ciências Exatas e Tecnológicas, 5. **Anais[...]**, v. 33, n. 1, 2012. Doi: <http://dx.doi.org/10.5433/1679-0375.2012v33n1p3>

WU, Y.; WEN, Y.; ZHOU, J.; CAO, J.; JIN, Y.; WU, Y. Comparative and competitive adsorption of Cr(VI), As(III), and Ni(II) onto coconut charcoal. **Environ Sci Pollut Res**, v. 20, n. 4, p. 2210-2219, 2012. Disponível em: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/22791350>. Acesso em: 22 de outubro de 2020.

Data do recebimento: 21 de maio de 2021

Data da avaliação: 9 de agosto de 2021

Data de aceite: 12 de setembro de 2021

1 Acadêmico do curso de Engenharia de Petróleo da Universidade Tiradentes – UNIT/AL.

E-mail: miqueias.mateus@souunit.com.br

2 Doutora; Professora dos Cursos das Engenharias da Universidade Tiradentes – UNIT/AL.

E-mail: vanessa.limeira@gmail.com