

## ESTUDO DE RESÍDUOS DO AGRONEGÓCIO, POR ALUNOS DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA JÚNIOR DO IFES, PARA USO NO TRATAMENTO DE ÁGUA CONTAMINADA COM ÍNDIGO BLUE

### *STUDY OF AGRIBUSINESS WASTE, BY IFES JUNIOR SCIENTIFIC INITIATION STUDENTS, FOR USE IN THE TREATMENT OF WATER CONTAMINATED WITH BLUE INDIGO*

Allan de Oliveira Gasparoni Pinto<sup>1\*</sup>, Ana Carolina dos Santos Magalhães<sup>1</sup>, Yasmim Tesch Millen Nunes<sup>1</sup>, Valentine de Moura Ribeiro<sup>1</sup>, Livia da Silva Lourenço<sup>1</sup>, Amanda Feller Santos<sup>1</sup>, Rebeca Corrêa Avancini<sup>1</sup>, Vitória Passos e Souza<sup>1</sup>, Joselito Nardy Ribeiro<sup>2</sup>, Araceli Ribeiro<sup>1</sup>, e André Assis Pires<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Intituto Federal do Espírito Santo – Campus Vila Velha

<sup>2</sup>Universidade Federal do Espírito Santo – Campus Maruípe

\*allangasparoi975@gmail.com

ORCID – Joselito Nardy Ribeiro: <https://orcid.org/0000-0003-0285-2832>

ORCID – Araceli Ribeiro: <https://orcid.org/0000-0001-9223-6894>

ORCID – André Assis Pires: <https://orcid.org/0000-0002-0973-291>

**Resumo:** Corantes e pigmentos oriundos de tecidos, cosméticos, papel, etc., são responsáveis pela contaminação do meio ambiente aquático, o que impacta o meio ambiente e a saúde pública. Por outro lado, o agronegócio também gera resíduos que podem se acumular no meio ambiente, gerando diferentes tipos de transtornos. Sendo assim, a fim de promover uma integração entre agronegócio, meio ambiente e educação ambiental, este projeto teve como finalidade, demonstrar que o mesocarpo de coco verde (MCV) e a serragem de madeira (SM) podem ser empregados como filtros descontaminantes. Tais filtros, teriam como objetivo remover de amostras de água o poluente corante têxtil Índigo Blue (IB). Os materiais foram transformados em pó e devidamente armazenados. Posteriormente, foram construídos filtros, a fim de simular os que são empregados em Estações de Tratamento de Águas. Por esses filtros foram passadas soluções de IB. O melhor material, após análises físico-químicas e testes de coluna, foi o que apresentava a menor granulometria, em ambos os adsorventes. Os mesmos foram empregados no tratamento, laboratorial, de amostras de água do Lago de Interlagos, enriquecidas com IB. Para comparação, utilizou-se o carvão ativado (CA). Após os testes, tanto a SM quanto o MCV apresentaram capacidades de remoção de IB parecidas com ao do carvão ativado, sendo de  $98,00 \pm 0,03$  para a SM,  $97,00 \pm 0,12$  para o MCV e de  $99,00 \pm 0,01$  para o CA, revelando serem bons adsorventes naturais, nas devidas condições de análise.

**Palavras-chave:** Corante; Índigo Blue; resíduos; adsorventes; meio ambiente.

**Abstract:** Dyes and pigments from fabrics, cosmetics, paper, etc., are responsible for contaminating the aquatic environment, which impacts the environment and public health. On the other hand, agribusiness also generates waste that can accumulate in the environment, generating different types of disorders. Therefore, in order to promote integration between agribusiness, the environment and environmental education, this project aimed to demonstrate that green coconut mesocarp (MCV) and wood sawdust (SM) can be used as decontaminating filters. Such filters would aim to remove the pollutant textile dye Indigo Blue (IB) from water samples. The materials were transformed into powder and properly stored. Subsequently, filters were built to simulate those used in Water Treatment Plants. IB solutions were passed through these filters. The best material, after physical-chemical analyzes and column tests, was the one with the smallest particle size, in both adsorbents. They were used in the laboratory treatment of water samples from Lake Interlagos, enriched with IB. For comparison, activated carbon (AC) was used. After the tests, both SM and MCV showed IB removal capabilities similar to that of activated carbon, being  $98.00 \pm 0.03$  for SM,  $97.00 \pm 0.12$  for MCV and  $99.00 \pm 0.01$  for CA, revealing that they are good natural adsorbents, under the appropriate analysis conditions.

**Keywords:** Dye; Indigo Blue; waste; adsorbents; environment.

## 1 INTRODUÇÃO

A atividade antropogênica é considerada a principal causa da poluição ambiental. Dentre os tipos de poluição, a contaminação química de vários ecossistemas, está entre as mais nocivas. Este tipo de poluição impacta negativamente a fauna e flora, além de provocar alterações físico-químicas e microbiológicas no solo, rios, lagos, oceanos, e na atmosfera. Muitos poluentes químicos (PQs), mesmo em baixas concentrações, são danosos para o meio ambiente, principalmente o aquático (NAIUDU et al., 2021).

No mundo inteiro, diferentes tipos de PQs são constantemente descartados no meio ambiente aquático sem tratamento adequado ou mesmo sem nenhum tratamento. Isso ocorre principalmente em países onde as legislações ambientais inexistem ou não são eficientes. Várias fontes de PQs podem ser citadas tais como: esgotos domésticos, lixões, efluentes hospitalares e efluentes de indústrias de diferentes setores: alimentos, tintas, papel, fármacos, têxteis, dentre outras (Belisário et al., 2009). Com isso, diferentes tipos de poluentes químicos podem ser encontrados no ambiente aquático, tais como: metais pesados (Mohiuddin et al., 2011), pesticidas (Flores et al., 2004), hidrocarbonetos aromáticos (Zhang et al., 2019), fármacos (Jorgensen e Halling-Sorensen, 2000), corantes (Lellis et al., 2019) e outros (Wang e Yu, 2023).

O corante têxtil, como o índigo blue (IB), está entre as substâncias que contaminam o meio ambiente aquático em várias partes do mundo causando vários impactos negativos (Zamora et al., 2002). Sendo assim, faz-se necessário o desenvolvimento de metodologias capazes de remover este e outros corantes presentes em meio aquoso. Entre as técnicas destaca-se a filtração por adsorção empregando resíduos do agronegócio tais como: bagaço de cana-de-açúcar (RAYMUNDO et al., 2010) casca de banana (AKTER et al., 2021), serragem de madeira (SM) (Ribeiro

et al., 2018), mesocarpo de coco verde (MCV) (Oliveira et al., 2018), dentre outros (Crini, 2006).

O uso de resíduos do agronegócio nesse processo justifica-se não só pela elevada capacidade de adsorção, mas também pela abundância e custo relativamente baixo. Além disso, cria-se mais uma alternativa de reúso dessa biomassa, o que evita seu acúmulo no meio ambiente (Crini, 2006). Sendo assim, neste trabalho, foi escolhido o MCV e a SM para utilização em colunas de filtração por adsorção para a remoção de IB em meio aquoso. O resíduo de coco e a serragem de madeira, derivada de eucalipto *Corymbia citriodora*, são abundantes no Espírito Santo. Para isso, foram montadas colunas de filtração contendo: brita zero, cascalho fino, areia e MCV ou SM para remover elevada concentração (mg/L) de IB. As eficiências desses materiais foram comparadas à do carvão ativado (CA). Finalmente, avaliaram-se as características morfológicas e químicas de MCV e SM, com o objetivo de entender o processo de filtração por adsorção. Todas as etapas do trabalho contaram com a participação de oito alunas de iniciação científica júnior (ICJr) dos cursos de técnico em química e técnico em biotecnologia, além de um aluno graduando em química industrial. Todos vinculados ao Instituto Federal do Espírito Santo, campus de Vila Velha. Tal participação foi fundamental uma vez que a escola é um espaço de socialização, onde diferentes culturas se encontram. Nesse lugar, crianças e adolescentes começam a estabelecer vínculos, criar bons hábitos, aprender e ensinar conhecimentos, além de participarem ativamente de um processo educativo que necessita ser imbuído de sentido e significado. Porém, não se pode esquecer que, muito antes de adentrarem a escola, passam por constantes e sucessivos processos de aprendizagens que as constituem como um ser social, histórico e cultural (VYGOTSKU, 1991).

O IFES de Vila Velha se encontra situado em Soteco, que é um bairro

atendido pelo Programa Estado Presente. O público de ensino médio atendido pelo Ifes possui pelo menos metade dos seus estudantes provenientes de escolas públicas do ensino básico. A realidade desses alunos são as mais diversas possíveis, sendo grande parte atendidos pelos programas sociais do campus. O Ifes possui uma assessoria multidisciplinar com atendimento psicológico, de assistente social e de enfermagem, que possibilitam aos alunos o apoio necessário ao desenvolvimento das atividades educativas. Os estudantes de ensino médio podem desenvolver todas as suas potencialidades dentro da escola, e a pesquisa possibilita o crescimento integral desses alunos, uma vez que aprendem como a pesquisa pode mudar os rumos da nossa sociedade. Isto se torna ainda mais viável, com o apoio do Programa de Iniciação Científica Júnior – Pesquisador do Futuro instituído pela Fundação de Amparo à Pesquisa e Inovação do Espírito Santo (FAPES). Tal Programa, através de apoio financeiro, estimula Escolas Públicas e Instituições de Ensino Superior a trabalharem juntas no desenvolvimento e execução de projetos de pesquisa científica.

Sendo assim, o presente projeto não só propôs a utilização de resíduos do agronegócio na descontaminação ambiental, mas também, inseriu a participação de alunas do ensino médio do IFES – Campus Vila Velha-ES, dos cursos técnicos em Química e Biotecnologia, e um aluno da graduação do curso de Química Industrial.

Tais alunos foram essenciais em todas as etapas do trabalho, desde pesquisa bibliográfica, apresentação de seminários, execução de ensaios em laboratório e reuniões para discussões de resultados. Isto possibilitou a apresentação de parte dos resultados em congresso e elaboração desse artigo científico.

Dessa maneira, o presente artigo tem como objetivo dois principais objetivos: a) o emprego de resíduos de

mesocarpo de coco verde (MCV) e serragem de madeira (SM) no tratamento de água contaminada com corante têxtil índigo blue e b) utilização, como recurso humano, de alunos dos cursos técnicos de em química e biotecnologia, com a finalidade de inseri-los na pesquisa científica.

## 2 MATERIAIS E MÉTODOS

### 2.1. MATERIAIS

A serragem de madeira (SM) foi obtida de várias marcenarias localizadas na Grande Vitória-ES. A madeira que origina a SM é proveniente de Eucalipto da Espécie *Corymbia citriodora*. O mesocarpo de coco verde (MCV) foi retirado do resíduo de coco verde. O carvão ativado (CA) foi obtido da Labsynth Produtos para Laboratórios Ltda (Diadema-SP, Brasil). O corante Índigo Blue comercial foi obtido da Indústria e Comércio de Corantes Tupy (São Paulo-SP). Durante a execução do trabalho, alguns equipamentos foram fundamentais, tais como: estufa de laboratório (modelo Quimis Q-317 B), peneiras granulométricas (Granutest), balança analítica (modelo Shimadzu AY 220), revestidor por pulverização (Shimadzu, modelo IC-50 Ion Coater), microscópio eletrônico de varredura (JEOL, Modelo: JSM6610LV/Voltagem de aceleração: Ajustável 300 V a 30 kV/Resolução: 3.0 nm (30kV), 8nm (3kV), 15nm (1kV)/Tipo de Filamento: Tungstênio/Magnificação: x5 a 300.000/Detectores: SEI, BSD, EDS), espectrofotômetro infravermelho (Cary 630 FTIR, EUA, Santa Clara, CA), espectrofotômetro UV-Vis (KASUAKI IL-592), medidor de pH (PHTEK), agitador magnético (Warmnest), e liquidificador industrial METVISA (Modelo LQL 10220M6M60N5 da IMG BRASIL, Brusque-SC, Brasil). Os programas gráficos estatísticos Origin 6.1, desenvolvido pela OriginLab Corporation (Northampton, MA 01060, USA) e

GNUPLLOT, projetado por Thomas Williams e Colin Kelly, foram utilizados para tratamento dos dados obtidos. Um condutivímetro de bancada MCA-150 da MS Tecnopon.

## 2.3 MÉTODOS

### 2.3.1. Número de artigos publicados ao longo dos anos

Esta etapa teve como objetivo colocar as alunas de ICJr em contato com bases de dados para busca e seleção de artigos relacionados ao projeto. Para isso foi escolhida a base de dados Web of Science. Para as buscas foram selecionadas as palavras-chave para duas etapas de busca: a) primeira etapa de busca foi realizada com a palavra-chave “natural adsorbents” (NA) e a b) segunda etapa com a combinação das palavras-chave “natural adsorbents” and “dyes” (NAD). Na primeira etapa a busca foi realizada de forma mais ampla, ou seja, busca por artigos que envolviam adsorventes naturais para tratamento de água contaminada com diferentes poluentes químicos. Neste montante buscou-se, na segunda etapa, por artigos que envolviam adsorventes naturais empregados no tratamento de água contaminada com corantes. As buscas foram realizadas entre os anos 1990 e 2022 com diferentes intervalos.

### 2.3.2 Preparo dos materiais

Após a coleta de resíduo de coco verde, nas praias de Vila Velha-ES (Figura 1), o mesmo foi cortado e lavado em tanque comum durante dois dias com troca de água de 4 em 4 horas (Figura 2). Em seguida o resíduo foi descascado e o mesocarpo de coco verde (MCV) foi removido com utilização de uma lâmina apropriada. A Figura 3 apresenta qual parte do resíduo é denominada de mesocarpo. Posteriormente, o material foi triturado em liquidificador industrial. Após trituração, a secagem, foi realizada em estufa de laboratório, à 60 °C, durante 72 horas. Para a serragem de madeira (SM) foram

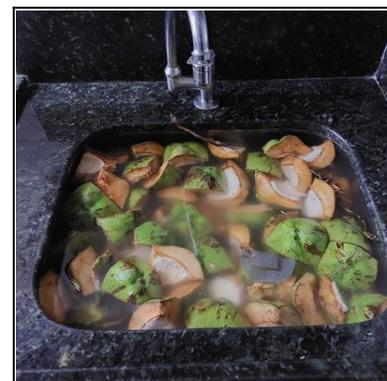
realizadas apenas a secagem (nas mesmas condições de MCV) (Figura 4) e trituração. Após trituração, os adsorventes foram peneirados em peneiras granulométricas para obtenção de SM e MCV nas granulometrias < 0,435 mm e 1,19 – 2,38 mm. Finalmente o material foi armazenado separadamente em frascos plásticos hermeticamente fechados contendo separadamente MCV < 0,435 mm, MCV 1,19 – 2,38 mm, SM < 0,435 mm e SM 1,19 – 2,38 mm.

Figura 1: Resíduo de coco verde coletado nas praias de Vila Velha-ES



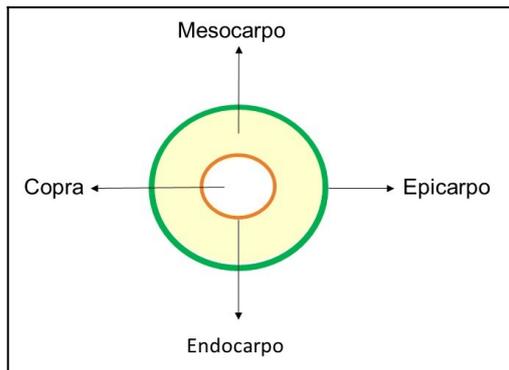
Fonte: Acervo próprio.

Figura 2: Lavagem do resíduo de coco verde



Fonte: Acervo próprio.

Figura 3: Partes do resíduo de coco



Fonte: Acervo próprio.

Figura 4: Secagem de SM



Fonte: Acervo próprio.

### 2.3.3. Obtenção do perfil do espectro de absorvância de IB e da curva padrão

Este ensaio foi realizado, com o objetivo de determinar o comprimento de onda de máxima absorvância do corante IB. Para isso foram adicionados 3,0 mL de uma solução 1000 mg.L<sup>-1</sup> de IB (pH = 6,0; T = 22 °C) em uma cubeta de vidro. O perfil do espectro foi obtido no intervalo de 450 a 700 nm.

### 2.3.4 Análise físico-química dos materiais

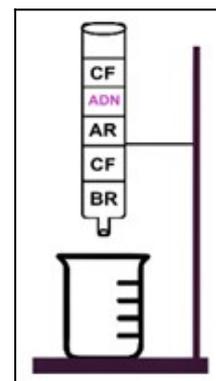
Esta etapa teve como finalidade, conhecer a morfologia da superfície dos adsorventes SM e MCV e determinar a presença de alguns grupamentos químicos, nos mesmos, capazes de interagir com IB. Para a análise morfológica, utilizou-se a técnica de microscopia eletrônica de varredura (MEV). Para isso, o emprego de um metalizador foi fundamental para banhar os adsorventes com partículas de

ouro que possibilita a visualização por MEV. Em seguida as imagens das superfícies dos materiais foram obtidas no microscópio MEV utilizando-se feixe de elétrons de 20 kV. Para a verificação de alguns grupamentos químicos empregou-se a técnica FTIR (espectroscopia no infravermelho com transformada de Fourier). Ambos os processos (MEV e FTIR) foram realizados como descrito por Ribeiro et al., 2021.

### 2.3.5 Determinação da porcentagem de remoção de IB em colunas e avaliação da influência das granulometrias dos adsorventes.

Soluções de 50 mL contendo IB 500 mg.L<sup>-1</sup> (pH = 6,00; T = 22 °C) foram percoladas através de colunas de vidro de 30 cm de comprimento e diâmetro de 3 cm. Antes da percolação, as colunas foram preenchidas 4,0 g de brita zero (BR), 4,0 g de cascalho fino (CF), 4,0 g de areia (AR) e 2,0 g dos adsorventes naturais (ADN) SM ou MCV de diferentes granulometrias. Para evitar deslocamento dos ADN, foi adicionada mais uma camada de 1,0 g de CF (Figura 5).

Figura 5: Modelo esquemático das colunas



Fonte: Autoria própria.

Após filtração, os líquidos eluídos foram coletados e submetidos à leitura de absorvância de IB, no seu comprimento de onda de máxima absorvância ( $\lambda = 571$  nm) obtido na etapa 2.3.3. Através dos valores de absorvância de IB, no líquido eluído, e de curvas padrões do mesmo, foi possível

descobrir a porcentagem (%) de IB retida nos adsorventes (SM e MCV).

### 2.3.6 Ensaio de saturação de coluna com SM (<0,435 mm) e MCV (<0,425 mm)

Volumes crescentes (50 a 250 mL) de soluções de IB 500 mg.L<sup>-1</sup> (pH = 6,00; T = 22 °C) foram percolados através do mesmo tipo de coluna montada na etapa 2.3.5. Os adsorventes naturais foram utilizados somente na granulometria < 0,435 mm. A quantificação de IB, retido nas colunas, foi realizada como descrito na etapa 2.3.5. O objetivo deste procedimento, foi determinar a partir de qual volume (nas condições estabelecidas) os adsorventes demonstram saturação no processo de retenção do corante.

### 2.3.7 Ensaio de colunas com água de uma lagoa e comparação com carvão ativado

Amostras de 2,0 L de água de uma lagoa natural foram coletadas, pelas alunas, em recipientes plásticos. As amostras são provenientes da Lagoa da Morada do Sol com localização aproximada de 20°29'22.4"S 40°17'31.9"W no Bairro de Interlagos no Município de Vila Velha-ES, Brasil (Figura 6).

Figura 6: Lagoa da Morada do Sol



Fonte: Autoria própria.

Após coleta, as amostras foram transportadas para o Instituto Federal do Espírito Santo em Vila Velha-ES, onde permaneceram armazenadas em geladeira durante cinco dias à temperatura de 4,0 °C. Após isso, foram preparadas soluções contendo água do lago e IB 500 mg.L<sup>-1</sup> (pH = 5,5; T = 22 °C). Foram medidos o pH e a condutividade da água da lagoa antes da contaminação com IB, após contaminação e após filtração. Posteriormente, volumes de 50 mL de solução foram através de colunas de vidro contendo 4,0 g de brita zero (BR), 4,0 g de cascalho fino (CF), 4,0 g de areia (AR) e 2,0 g dos adsorventes naturais (ADN) SM ou MCV de granulometria < 0,435 mm. Em seguida, para comparação, no lugar dos ADN foram adicionadas 2,0 g de carvão ativado (CA) (granulometria < 0,435 mm). O CA é comumente utilizado em estações de tratamento de água em várias partes do mundo. Ressalta-se que, para evitar deslocamento dos ADN ou CA, foi adicionada mais uma camada de 1,0 g de CF sobre os mesmos.

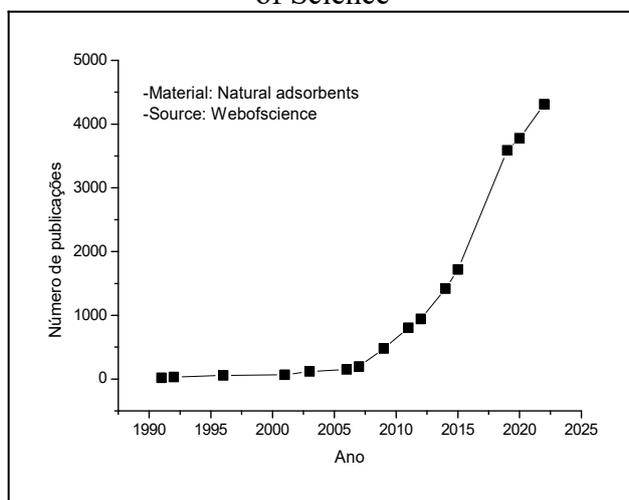
A quantificação de IB, retido nas colunas, foi realizada como descrito na etapa 2.3.5.

### 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

#### 3.1 NÚMERO DE ARTIGOS PUBLICADOS AO LONGO DOS ANOS

Após treinamento, na utilização de bases de dados, as alunas de ICJr puderam obter dados relacionados ao número de publicações envolvendo adsorventes naturais e corantes. A Figura 7 demonstra que o número de publicações envolvendo a palavra-chave “natural adsorbents (NAD)”, na base de dados Web of Science, aumentou consideravelmente com o passar dos anos. Um número significativo de publicações revelou não só a eficiência destes materiais na remoção de muitos poluentes em água, mas também sua elevada disponibilidade e relativo baixo custo (Kyzas e Kostoglou, 2014; Neethu e Chinnamma, 2017).

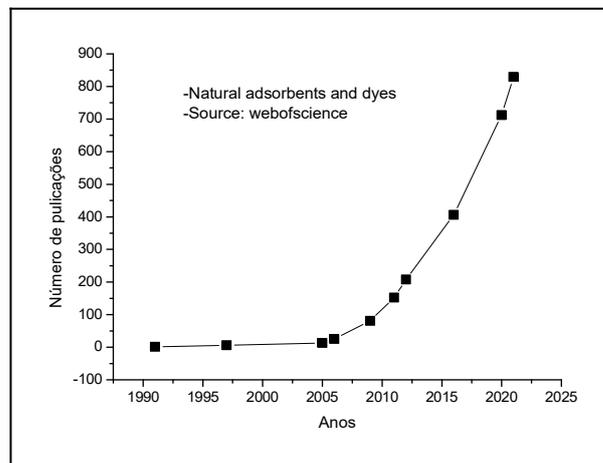
Figura 7: Gráfico do número de publicações utilizando a palavra-chave “natural adsorbents” na base de dados Web of Science



Fonte: Autoria própria.

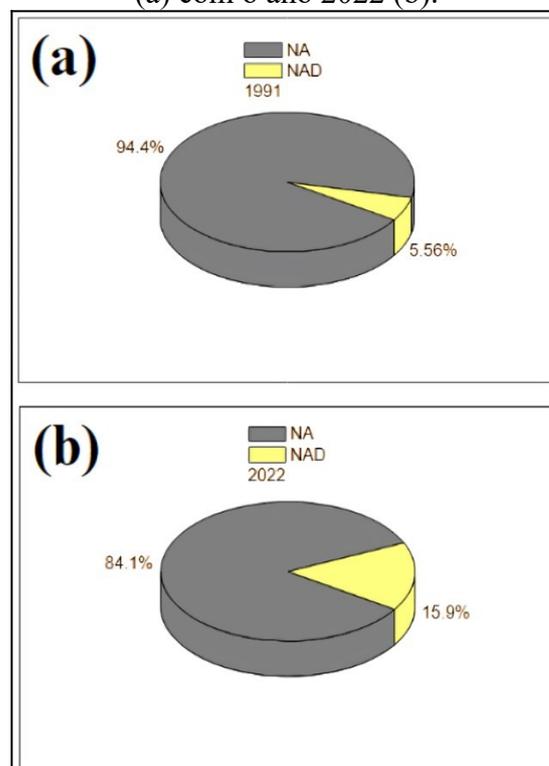
Já a Figura 8 revela que, dentre tais publicações, houve, também, um aumento no número de publicações que abordam a utilização de adsorventes naturais na remoção de corantes (NAD) em água. A porcentagem de artigos envolvendo NAD também apresentou aumento dentro do universo de publicações que envolvem NA para os demais poluentes (Figura 9).

Figura 8: Gráfico do número de publicações utilizando a combinação das palavras-chaves “natural adsorbents and dyes” (NAD) na base de dados W Science



Fonte: Autoria própria.

Figura 9: Gráfico da porcentagem de publicações envolvendo adsorventes naturais (NA) em comparação com o número de publicações envolvendo NA e corantes (NAD). Comparação do ano 1990 (a) com o ano 2022 (b).

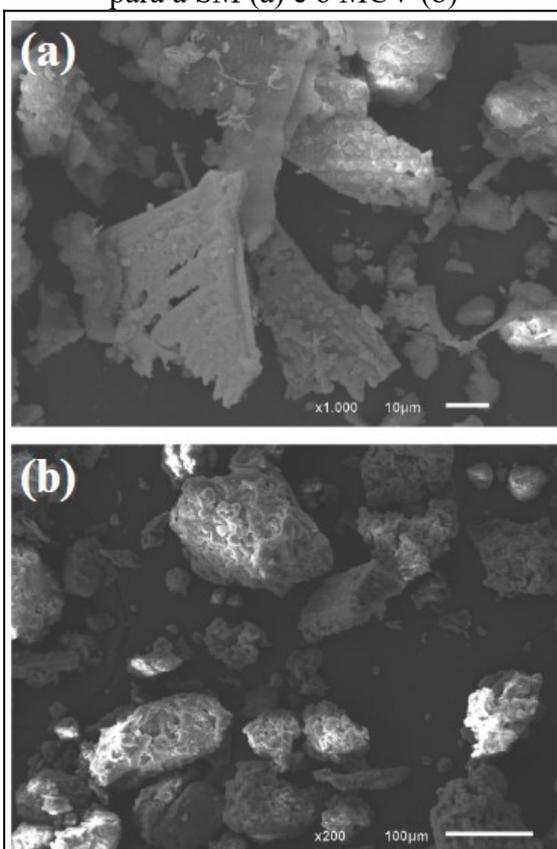


Fonte: Autoria própria.

### 3.2 ANÁLISE FÍSICO-QUÍMICA DOS MATERIAIS

As imagens obtidas através de MEV (Figura 10) revelam que tanto a SM quanto o MCV possuem superfícies heterogêneas com possíveis porosidades, além de serem ricas em concavidades e reentrâncias. Estas características possibilitam maior área superficial em ambos os adsorventes e estão entre os fatores que podem proporcionar considerável eficiência na remoção de poluentes em meio aquoso (Jordão et al., 2002; Ribeiro<sup>A</sup> et al., 2019; Ribeiro et al., 2019<sup>B</sup>, Ribeiro et al., 2021).

Figura 10: Imagem obtida através de MEV para a SM (a) e o MCV (b)

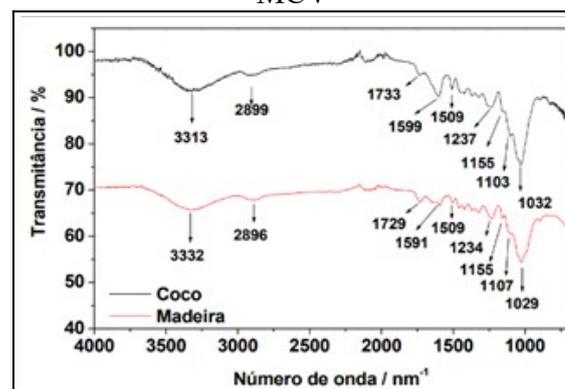


Fonte: Autoria própria.

Os espectros obtidos através de FTIR para SM e MCV (Figura 11) são consideravelmente semelhantes. Isto ocorre, devido ao fato de ambos os materiais serem ricos em macromoléculas como lignina, celulose e hemicelulose, o que é uma característica comum para

adsorventes naturais derivados de biomassa vegetal (RIBEIRO<sup>B</sup> et al., 2019). Mesmo sabendo que grupos como hidroxilas, carbonilas, alcanos e éteres não serem exclusividade dessas macromoléculas (SILVERSTEIN et al., 1979). No caso do trabalho em questão, algumas bandas se destacam como importantes na interação entre MCV e IB e entre SM e IB. As bandas 3313 e 3332  $\text{cm}^{-1}$  sugere grupo OH de celulose, onde tal grupo possa estar envolvido em ligação de hidrogênio intramolecular nesta macromolécula. As bandas em 2899 e 2896  $\text{cm}^{-1}$  sugerem presença de grupos CH em compostos aromáticos e cadeias laterais contendo grupos metoxila e metila (POPESCU et al., 2007; GONULTAS e CANDAM, 2018) presentes, por exemplo, em lignina (NASCIMENTO et al., 2022) Bandas em 1733 e 1729  $\text{cm}^{-1}$  podem ser provenientes de vibrações em grupos cetonas sem conjugações, enquanto aquelas próximas a 1599 e 1591  $\text{cm}^{-1}$  podem resultar de C=C de anel aromático. Já as bandas em torno de 1237 e 1234  $\text{cm}^{-1}$  podem ser atribuídas a C-O em lignina e as bandas em 1032 e 1029  $\text{cm}^{-1}$  a C-O em celulose (NASCIMENTO et al., 2022)

Figura 11: Espectros de FTIR para SM e MCV



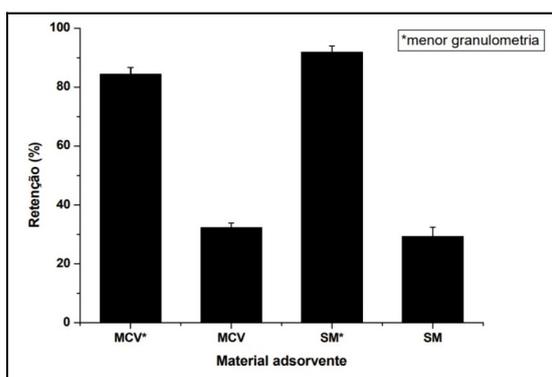
Fonte: Autoria própria.

### 3.3 PORCENTAGEM DE REMOÇÃO DE IB EM COLUNAS: INFLUÊNCIA DA GRANULOMETRIA

O MCV de menor granulometria (< 0,425 mm) foi capaz de remover  $84,43 \pm$

2,12% de IB 500 mg.L<sup>-1</sup>. O MCV de maior granulometria maior (1,19 – 2,38 mm) foi capaz de remover 32,33 ± 1,55%. No caso da SM, as granulometrias menor e maior, foram capazes de remover 91,74 ± 2,25% e 29,21 ± 3,22% respectivamente. Notavelmente, as granulometrias menores apresentaram resultados mais eficientes em ambos os adsorventes com um pouco mais de eficiência para a SM (Figura 12). O aumento da superfície de contato, expondo mais sítios adsorptivos bem como menores tempos de eluição, permitindo maior tempo de contato entre o adsorvente e o corante, são um dos fatores que explicam tais resultados. Finalmente, a superfície heterogênea, apresentada na análise através do MEV, bem como a constituição química dominada por celulose, hemicelulose e lignina (NASCIMENTO et al., 2022), também são fatores que contribuem para a eficiência de adsorventes naturais como o MCV e a SM (RAYMUNDO et al., 2010; RIBEIRO<sup>A</sup> et al., 2019).

Figura 12: Gráfico das porcentagens de retenção de IB por MCV e SM em diferentes granulometrias



Fonte: Autoria própria.

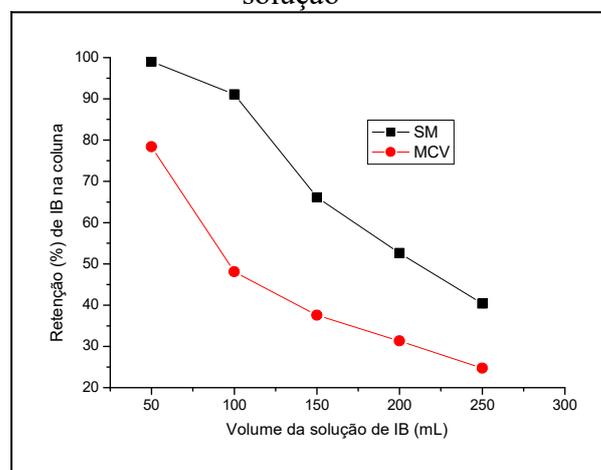
### 3.4 ENSAIOS DE SATURAÇÃO EM COLUNA DE VIDRO CONTENDO SM E MCV

Para esta etapa, foi selecionada somente a menor granulometria (< 0,435 mm) para ambos os adsorventes. Na passagem de crescentes volumes de solução de IB 500 mg.L<sup>-1</sup> ocorreu saturação tanto na coluna contendo MCV,

quanto na coluna contendo SM. Em ambos os casos a queda na porcentagem de retenção atingiu um equilíbrio (Figura 13). Entretanto, notou-se que a queda na porcentagem de retenção do corante IB foi menos acentuada na coluna contendo SM do que na coluna contendo MCV.

Uma provável explicação para isso é a presença de um maior número de sítios adsorptivos em SM do que em MCV (NASCIMENTO et al., 2020).

Figura 13: Gráfico da porcentagem de retenção de IB em função do volume da solução



Fonte: Autoria própria.

### 3.6 ENSAIO DE COLUNAS COM ÁGUA DA LAGOA MORADA DO SOL

A tabela 1 contém os dados obtidos em relação à condutividade da água da lagoa (AL). Pode-se ver que a condutividade AL apresentou aumento de 235,5 ± 0,4 µS para 846,2 ± 2,0 µS após contaminação com IB (ALIB). Tal aumento pode ser explicado com outros agentes químicos como: detergente, tensoativos, dispersante e cloreto de sódio. Após a filtração (ALIBAF) o MCV promoveu uma diminuição da condutividade (743,9 ± 7,4 µS) indicando que parte dos aditivos, misturados ao corante, foram retidos na coluna. O mesmo pôde ser observado em ALIBAF após filtração com SM (533,0 ± 1,1 µS) e CA (684,5 ± 7,1). A porcentagem de diminuição da condutividade por SM (37

%) foi maior em relação a CA (19 %) e MCV (12 %). Quanto ao pH da água da lagoa, o mesmo apresentou valores próximos de 5,5 em todas as três situações: AL, ALIB e ALIBAF. Em outro trabalho, utilizando adsorventes naturais, também foi possível detectar a diminuição da condutividade elétrica após filtração (Silva et al., 2019)

Tabela 1: Condutividade da água da lagoa antes e após filtração de água contaminada com IB

Adsorvente	ALIB (μS)	ALIBAF (μS)	Diminuição da condutividade (%)
SM	846,2 ± 2,0	533,0 ± 1,1	37
CA	846,2 ± 2,0	684,5 ± 7,1	19
MCV	846,2 ± 2,0	743,9 ± 7,4	12

Fonte: Autoria própria.

Em relação a retenção de IB presente em ALIB, foi possível determinar que as porcentagens de remoção de IB foram bastante elevadas tanto na presença de SM, quanto de MCV e CA (Tabela 2). Este resultado é bastante satisfatório, uma vez que SM e MCV apresentaram eficiência semelhante ao popular CA. Em outro trabalho (Ribeiro<sup>A</sup> et al., 2019), utilizando pó da casca de juazeiro remover, aproximadamente, 90% de IB em meio aquoso. Já o pó da raiz de alcaçuz promoveu a remoção de 98 % de IB, também em meio aquoso. Resultados como estes incentivam análises mais profundas não só destes, mas também de outros adsorventes naturais de baixo custo e elevada disponibilidade. Porém, os dados obtidos neste e em outros trabalhos se limitam apenas ao IB, tornando prematura a afirmação de que poderiam substituir o CA em filtros. Este último é bastante eficiente e utilizado em várias partes do mundo para remoção de diversos tipos de poluentes (Jeirani et al., 2017).

Tabela 2: porcentagem de retenção de IB, em água de lagoa, na presença de SM, MCV e CA

Adsorvente	% de remoção
CA	99,00 ± 0,01
SM	98,00 ± 0,03
MCV	97,00 ± 0,12

Fonte: Autoria própria

## 4 CONCLUSÃO & PERSPECTIVAS

À luz desses resultados, conclui-se que os materiais estudados (serragem de madeira e mesocarpo do coco verde) apresentam maiores capacidades adsorventes em suas menores granulometrias, nas devidas condições de estudo. Além disso, demonstraram ser eficazes como adsorventes naturais no tratamento de água contaminada pelo corante têxtil Índigo Blue.

Ademais, é válido ressaltar que tais adsorventes atingiram um índice de retenção próximo ao do carvão ativado. Isto evidencia a eficácia dos mesmos e estimula um estudo mais aprofundado, não só para IB, como também para outros tipos de poluentes químicos em meio aquoso.

Finalmente, pode-se concluir que o presente trabalho foi de fundamental importância na formação das alunas do ensino técnico em química e biotecnologia. A experiência em laboratórios, comuns e multiusuários, permitiu o contato destas alunas com técnicas avançadas como MEV e FTIR. Além disso favoreceu o aprendizado de busca de artigos em diferentes e importantes bases de dados, leitura e interpretação de artigos, discussão de resultados de pesquisa, apresentação de trabalho em seminários e jornadas científicas, bem como elaboração deste artigo. Finalmente, o projeto financiado pela FAPES e apoiado pelo IFES e UFES, despertou nas alunas um grande interesse pela pesquisa científica.

## AGRADECIMENTOS

Ao IFES e a UFES pela estrutura de laboratórios e salas de estudo.

À Fundação de Amparo à Pesquisa e Inovação do Espírito Santo (FAPES) pelo suporte financeiro que tornou possível a execução deste projeto de iniciação científica júnior.

Ao Laboratório de Ultraestrutura Celular Carlos Alberto Redins (LUCCAR) pela visita técnica e obtenção das imagens de MEV.

## REFERÊNCIAS

AKTER, M., RAHMAN, F.B.A., ABEDIN, M.Z., KABIR, S.M.F. Adsorption Characteristics of Banana Peel in the Removal of Dyes from Textile Effluent. **Textiles**. v.1, n.2, p.361-375, 2021.

BELISÁRIO, M., BORGES, P.S., GALAZZI, R.M., PIERO, P.B.D., ZORZAL, P.B., FLORES, A. V., RIBEIRO, J.N. O emprego de resíduos naturais no tratamento de efluentes contaminados com fármacos poluentes. **InterSciencePlace**, v.10, p.1-12, 2009.

CRINI, G. Non-conventional low-cost adsorbents for dye removal: **A review**. **Bioresource Technology**, v.99, n.7, p.1061-1085, 2006.

FLORES, A.V., RIBEIRO, J.N., NEVES, A.A., QUEIROZ, E.L.R. Organoclorados: um problema de saúde pública. **Ambiente e Sociedade**, v. 7, n. 2, p. 111-124, 2004.

GONULTAS, O., CANDAM, Z. Chemical characterization and FTIR spectroscopy of thermally compressed eucalyptus wood panels, **Maderas. Ciencia y Tecnologia**, v.20, n.3, p.431-442, 2018.

JORDÃO, C.P., PEREIRA, M.G., EINLOFT, R., SANTANA, M.B., BELLATO, C.R., MELLO, J.W.V. Removal of Cu, Cr, Ni, Zn, and Cd from electroplating wastes and synthetic solutions by vermicompost of cattle manure. **Journal of Environmental Science and Health, Part A Toxic/Hazardous Substances Environmental and Engineering**. v.37, n.5, p.875-892, 2002.

JEIRANI, Z., NIU, C.H., SOLTAN, J. Adsorption of emerging pollutants on activated carbon. **Reviews in Chemical Engineering**, v.33, n.5. p.491-522, 2017.

JORGENSEN, S.E., HALLING-SORENSEN, B. Drugs in the environment. **Chemosphere**, v.40, n.7, p.691-699, 2000.

KYZAS, G.Z., KOSTOGLU, M. Green Adsorbents for Wastewaters: A Critical Review. **Materials**, v.7, n.1, p.333-364, 2014.

LELLIS, B., FÁVARO-POLONIO, C.Z., PAMPHILE, J.A., POLONIO, J.C. Effects of textile dyes on health and the environment and bioremediation potential of living organisms. **Biotechnology Research and Innovation**, v.3, n.2, p.275-290, 2019. DOI <https://doi.org/10.1016/j.biori.2019.09.001>

MOHIUDDIN, K.M., OGAWA, Y., ZAKIR, H.M., OTOMO, K., SHIKAZONO, N. Heavy metals contamination in water and sediments of an urban river in a developing country. **International Journal Environment Science Technology**. v.8, n.4, p.723-736, 2011.

SILVA, L.C.G., SILVA, E.M.S., OLIVEIRA, A.K.C. Análise comparativa entre adsorventes para remoção de petróleo

em águas produzidas, in: Anais do I Congresso Internacional de Meio ambiente e Sociedade, Campina Grande, PB, 2019.

SILVERSTEIN, R.M., BASSLER, G.C., MORRIL, T.C. Identificação **Espectrométrica de compostos orgânicos**, 1ª Edição, Editora Guanabara Dois, S.A., Rio de Janeiro-RJ, 209p, 1979.

NASCIMENTO, L.C.P., COSTA, A.M.M., SILVA, A.R., RIBEIRO, A.V.F.N., RIBEIRO, J.N. Banana peel powder and sawdust powder for methylene blue removal in water. **Brazilian Journal of Development**, v.8, n.4, p.32253-32277, 2022.

NASCIMENTO, R. F. do; LIMA, A. C. A. L.; VIDAL, C. B.; MELO, D. Q.; RAULINO, G. S. C. **Adsorção: Aspectos teóricos e aplicações ambientais**, 2ª Edição, Imprensa Universitária UFC, 309g, 2020, 309p.

NAIDU, R., BISWAS, B., WILLET, I.R., CRIBB, J., SINGH, B.K., NATHANAIL, C.P., COULON, F., SEMPLE, K.T., JONES, K.C., BARCLAY, A., AITKEN, R.J. Chemical pollution: A growing peril and potential catastrophic risk to humanity. **Environment International**, v.156, ID: 106616, 2021.

NETHUU, P., CHINNAMMA, M.A. Natural Adsorbents for Agricultural Waste Water Treatment. **International Journal of Advanced Engineering, Management and Science (IJAEMS)**, v.3, n.4, p.371-373, 2017.

OLIVEIRA, F.M., COELHO, L.M., MELO, E.I., Avaliação de processo adsorptivo utilizando mesocarpo de coco verde para remoção do corante azul de metileno. *Revista Matéria*, v.23, n.4, p.1-14, 2018.

POPESCU, C.M., POPESCU, M.C., SINGUREL, G., VASILE, C.,

ARGYROPOULOS, D.S., WILFOR, S. Spectral characterization of Eucalyptus Wood. **Applied Spectroscopy**, v.61, n.11, p.1168-1177, 2007.

RAYMUNDO, A.S., ZANAROTTO, R., BELISÁRIO, M., PEREIRA, M.G., RIBEIRO, J.N., RIBEIRO, A.V.F.N. Evaluation of Sugar-Cane Bagasse as Bioadsorbent in the Textile Wastewater Treatment Contaminated with Carcinogenic Congo Red Dye. *Brazilian Archives of Biology and Technology*, v.53, n.4, p.931-938, 2010.

RIBEIRO<sup>A</sup>, J.N., RIBEIRO, A.V.F.N., MONTEIRO, F.C., LICINIO, M.V.V.J., PEREIRA, M.G. Study of the *Ziziphus joazeiro* peel for indigo blue adsorption. **International Journal of Advanced Research**, v.7, n.3, p.171-178, 2019.

RIBEIRO<sup>B</sup>, A.V.F.N., SILVA, A.R., PEREIRA, M.G., LICINIO, M.V.V.J., RIBEIRO, J.N. Wood sawdust powder from *Corymbia citriodora* to congo red toxic dye adsorption. **Indian Journal of Applied Research**. v.8, p.29-31, 2019.

RIBEIRO, J.N., RIBEIRO, A.V.F.N., SILVA, A.R., OLIVEIRA, J.P., TOMAZ, A.T., VITÓRIA, B. Vermicompost for Indigo Blue and Congo Red Removal. **Journal of Water Reserach and Protection**, v.13, p.419-434, 2021.

VYGOTSKI, Lev S. **A formação social da mente: o desenvolvimento dos processos psicológicos superiores**. São Paulo: Martins Fontes, 1991.

WANG, C., YU, C. Detection of chemical pollutants in water using gold nanoparticles as sensors: a review. *Reviews in Analytical Chemistry*. v.32, n.1. p.1-14, 2023.

ZAMORA, P.P., KUNZ, A.M., SANDRA G., DURÁN, N. Novas tendências no

tratamento de efluentes têxteis. **Química Nova**, v.25, n.1, p.78- 82, 2002.

ZHANG, Y., ZHANG, L., HUANG, Z., LI, Y., LI, J., WU, N., HE, J., ZHANG, Z., LIU, Y., NIU, Z. Pollution of polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) in drinking water of China: Composition, distribution and influencing factors. **Ecotoxicology and Environmental Safety**, v.177, p.108-116, 2019.