III – 1442 – APROVEITAMENTO DO PÓ DE CAFÉ VERDE COMO BIOSSORVENTE ALTERNATIVO NA REMOÇÃO DE PARACETAMOL EM ÁGUAS

Beatriz Tiradentes Pani[(1)]
Graduanda em Engenharia Sanitária e Ambiental pelo Instituto Federal do Espírito Santo (Ifes).
Nathália Cardoso dos Santos[(2)]
Graduanda em Engenharia Sanitária e Ambiental pelo Instituto Federal do Espírito Santo (Ifes).
Raquel Machado Borges [(3)]
Bacharel e Mestre em Engenharia Química pela Universidade Federal de Uberlândia. Doutora em Engenharia Elétrica pela Universidade Federal do Espírito Santo. Pós-doutora em Engenharia Ambiental pela Universidade Federal do Espírito Santo. Professora titular do curso de Engenharia Sanitária e Ambiental do Instituto Federal do Espírito Santo.
Francisco de Assis Ferreira[(4)]
Técnico em Química pelo Colégio Salesiano Nossa Senhora da Vitória. Graduado em Tecnologia em Gestão Ambiental pela Universidade Norte do Paraná. Especialista em Gestão e Educação Ambiental pelo Centro Universitário Multivix Vitória. Mestre em Tecnologias Sustentáveis pelo Instituto Federal do Espírito Santo. Atua como Técnico em Química no Departamento de Ciências Agrárias e Biológicas da Universidade Federal do Espírito Santo Campus São Mateus (Ufes).
Paola Angélica Dias dos Santos [(5)]
Técnica em Química pelo Centro Federal de Educação Tecnológica do Espírito Santo. Licenciada em Química e Especialista em Educação Profissional e Tecnológica pelo Instituto Federal do Espírito Santo. Atua como técnica nos laboratórios de ensino e pesquisa em Química no Instituto Federal do Espírito Santo Campus Vitória.

Endereço[(1)]**:** Av. Vitória, 1729 - Jucutuquara - Vitória - Espírito Santo - CEP: 29040-780 - Brasil - Tel: (27) 3331-2237 - e-mail: beatriz.saneamentoambiental@gmail.com

RESUMO

O Brasil é líder mundial na produção e exportação de café e o estado do Espírito Santo configura-se como o maior produtor brasileiro de café conilon. A cadeia produtiva do café é reconhecida como uma atividade geradora de enormes quantidades de resíduos, sendo um deles o pó de café verde ou GCP, do inglês *Green Coffee Powder*, gerado no rebeneficiamento do café conilon. Ações que minimizem o impacto gerado pela disposição inadequada dos resíduos agroindustriais no ambiente vêm ganhando força no contexto da economia circular e visam o desenvolvimento sustentável ao longo de toda a cadeia produtiva. Dentre as diversas alternativas de valorização de resíduos orgânicos, a produção de biossorventes para remoção de poluentes em águas tem se mostrado uma opção eficaz e baixo custo, em especial para a remoção de fármacos, cujas consequências de sua ampla distribuição e seu descarte inadequado no ambiente tem sido fonte de grandes preocupações.

Este trabalho tem como objetivo avaliar a viabilidade técnica do reaproveitamento do resíduo orgânico GCP como biossorvente alternativo para aplicação no processo de remoção do paracetamol em águas, no âmbito da economia circular. Para tanto, após caracterização do resíduo GCP, inclusive por meio de análises de microscopia eletrônica de varredura, o biossorvente foi inicialmente produzido sem qualquer ativação térmica ou química. A avaliação do biossorvente foi realizada por meio de testes de adsorção de paracetamol em condições idênticas àquelas realizadas em pesquisa anterior com carvão ativado comercial, para comparação. A quantificação do paracetamol, por sua vez, foi realizada por espectroscopia eletrônica. Os resultados do estudo mostram que embora as imagens obtidas da análise microscópica do GCP indiquem uma morfologia fibrosa, os testes revelaram grande dificuldade de absorção do fármaco por meio do material in natura. Este comportamento pode ser explicado pela suposta ausência de macroporos nas imagens microscópicas obtidas, e configurar-se como um fator limitante na eficiência de adsorção. Neste sentido, a partir de tais resultados ainda preliminares, a próxima etapa do trabalho consiste na busca por rotas de ativação do biossorvente, tendo por base os resultados da literatura. Esta medida está ancorada no entendimento de que a ativação do

adsorvente junto a alterações nas condições de contorno do experimento podem ser possibilidades viáveis para se alcançar maiores eficiências de tratamento.

PALAVRAS-CHAVE: Pó de Café Verde; Biossorvente; Paracetamol; Economia Circular.

INTRODUÇÃO

A atividade cafeeira configura-se como um dos principais motores da atividade econômica do Brasil, sendo atualmente o país o líder mundial de produção e exportação do grão. Estima-se que em 2022 a produção cafeeira do Brasil tenha atingido quase 51 milhões de sacas de café beneficiado, 6,7% acima que o volume do ano anterior (CONAB, 2022). A quantidade de resíduos gerada ao longo de todo o processo de produção do café, no entanto, se equivale a praticamente a do próprio café beneficiado, gerando impactos econômicos negativos na cadeia produtiva e no meio ambiente (VENTURIM, 2002). O pó de café verde ou GCP, do inglês *Green Coffee Powder*, consiste no resíduo gerado no rebeneficiamento do café Conilon. O processo de beneficiamento compreende a transformação do grão de café bruto em um produto final com valor agregado para atendimento ao mercado consumidor. Quando há necessidade de satisfazer demandas mais exigentes de qualidade é necessário que o café seja rebeneficiado (FERREIRA, 2023). O referido resíduo vem sendo objeto de estudo do grupo de pesquisa e sua caracterização no que diz respeito aos grupos funcionais constituintes sugerem grande potencial de biossorção.

Nesse sentido, a economia circular é um conceito que se baseia em um sistema fechado de produção proporcionado pela reutilização de resíduos a fim de reduzir desperdícios (PETKOVIĆ *et al*., 2021) e contribuir para o desenvolvimento de um modelo econômico mais sustentável (DONNER *et al*., 2022). Ancorada nessa pauta e, de forma especial, na recuperação de recursos, surge neste contexto a oportunidade de se investigar o potencial de uso do resíduo GCP como adsorvente alternativo para a remoção de poluentes em águas. A eficiência do uso de diversos resíduos agroindustriais como adsorventes orgânicos na remoção de contaminantes emergentes em águas, por exemplo, tem sido objeto de estudo de diversas pesquisas (REIS *et al.*, 2021; SILVA; SILVA, 2019).

Paralelamente, são muitas as pesquisas que alertam para os sérios danos à saúde ocasionados pela presença de disruptores endócrinos e outros contaminantes emergentes, tais como medicamentos, perfumes e antissépticos no ambiente (PETROVIC *et al*., 2004). Dentre os medicamentos farmacêuticos que merecem atenção, destaca-se o paracetamol, por se tratar de um fármaco popular de larga utilização, o que o torna um dos medicamentos mais encontrados nas águas (LEE *et al*., 2020).

O processo de adsorção possui a vantagem de não gerar subprodutos e de ser uma opção de baixo consumo energético e alta eficiência, quando comparado a outras técnicas de tratamento (LEE *et al*., 2020; SPESSATO *et al*., 2019). Estudos anteriores comprovaram a eficácia do uso do carvão ativado granulado e em pó como adsorventes para a remoção de paracetamol de águas (FOEGER, 2016). Atualmente, adsorventes à base de resíduos agrícolas estão sendo estudados como opções mais econômicas quando comparadas com o carvão ativado (LEE *et al*., 2020). Esses adsorventes orgânicos recebem o nome de biossorventes e seu estudo é fundamental para a otimização dos processos de remoção de fármacos em águas (REIS et al., 2021). A Tabela 1 apresenta alguns desses estudos.

Tabela 1: Biossorventes utilizados para remoção de fármacos

Biossorvente (s)	Fármaco	Aplicação	Referência
Bagaço de cana e esponja vegetal	Paracetamol	Avaliação de dois biossorventes para a remoção de paracetamol em meio aquoso (traduzido)	FLORES *et al.* (2011)
Levedura residual de cervejaria	Paracetamol	Resíduo da indústria cervejeira: potencial de uso como biossorvente de fármacos de águas residuais	REIS *et al.* (2021)
Biopolímero de celulose	Diclofenaco de Sódio	Aplicação do biopolímero de celulose como biossorvente alternativo na remoção do diclofenaco de sódio	SILVA; SILVA (2019)

Fonte: Dados da pesquisa.

Desta forma, entende-se que na busca por biossorventes alternativos, o GCP se apresenta como uma opção não apenas econômica, mas sobretudo sustentável para a remoção de paracetamol em águas.

OBJETIVOS

O objetivo geral deste trabalho é avaliar a aplicabilidade do resíduo orgânico GCP como biossorvente alternativo para remoção de paracetamol em águas, no âmbito da economia circular. Propondo-se a atender ao objetivo geral, os objetivos específicos incluem a avaliação microscópica do GCP, de forma a identificar visualmente características que complementem a caracterização físico-química prévia do resíduo, a identificação da técnica mais apropriada para a produção de um biossorvente alternativo a base de GCP e a síntese do biossorvente em laboratório. Adicionalmente, objetiva-se comparar o desempenho do GCP com o carvão ativado.

MATERIAIS E MÉTODOS

O estudo das metodologias para produção de biossorventes foi realizado por meio do levantamento bibliográfico mediante a consultas no Portal de Periódicos CAPES/MEC, que permite acesso a bases de dados como ScienceDirect. Para realizar uma busca mais atualizada, a pesquisa iniciou-se filtrando artigos recentes com no máximo 5 anos de publicação.

Embora o recurso de ativação de biossorventes para potencialização de características absortivas esteja presente em diversos estudos (MOREIRA, 2018; SILVA, SILVA, SILVA, 2019; NIGLIO *et al*., 2020), a caracterização do GCP apresentada por Ferreira (2023) acusa qualidades adsortivas ao resíduo ainda *in natura*. Sendo assim, definiu-se que o biossorvente alternativo à base do resíduo GCP seria produzido por peneiramento seguido por lavagem com água destilada à agitação constante e secagem em estufa sem interferências nas características do material. A necessidade ou não do pré tratamento de ativação foi função dos resultados de adsorção obtidos.

O resíduo GCP é proveniente do processo de rebeneficiamento do café Conilon e foi cedido para a pesquisa por uma agroindústria. Para a avaliação da microscópica do GCP foi utilizada microscopia eletrônica de varredura com magnificação de 100x .

Paralelamente à preparação do biossorvente foi realizada a varredura espectrofotométrica com objetivo de conhecer o comprimento de onda de maior absorbância do paracetamol presente na solução aquosa sintetizada em laboratório para os testes de adsorção. Paracetamol puro foi doado para pesquisa pela Farmácia Alquimia. Em seguida foi construída uma curva de calibração na faixa do maior comprimento de onda encontrado na varredura com a finalidade de obter as concentrações de paracetamol na solução depois do tratamento com o resíduo.

Vale destacar que apesar do adsorvente a ser utilizado na pesquisa ser um resíduo orgânico, as condições operacionais adotadas no experimento foram similares àquelas utilizadas com o uso do carvão ativado em trabalho anterior (FOEGER, 2016), visando a comparação entre ambos. Nesse sentido, na tentativa de reproduzir condições favoráveis à adsorção o experimento foi realizado no tempo de contato de 30 minutos (DRAMAN; BATRA'AZMAN; MOHD, 2015) e dosagem na concentração de 2 g/L (ASTM, 2008). Os ensaios experimentais de adsorção foram conduzidos em escala de bancada. As etapas do trabalho serão descritas a seguir:

PRIMEIRA ETAPA : PRODUÇÃO DO BIOSSORVENTE

A produção do biossorvente contou com a etapa de peneiramento, lavagem, filtração, secagem e maceração. A sequência de produção do biossorvente está representada na Figura 1.

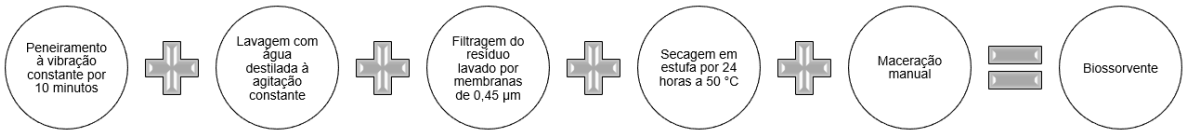

Figura 1: Esquema de produção do biossorvente. Fonte: Dados da pesquisa.

O peneiramento do resíduo teve por objetivo trabalhar com uma amostra com granulometria conhecida e mais homogenia. Para isso 52 gramas de GCP passaram por 5 sistemas de peneiramento em agitador eletromagnético de peneiras durante 10 minutos (Figura 2). Vale destacar que o peso da amostra passante pela última peneira foi de 51,02 gramas

Figura 2: Sistema de agitação eletromagnética de peneiras. Fonte: Dados da pesquisa.

Em seguida, 5 gramas de resíduo peneirado foram lavados em 100 ml de água destilada com agitação constante de 1160 RPM à temperatura ambiente durante 20 minutos. A posteriori, o resíduo lavado foi filtrado por membranas de 0,45 µm e levado para estufa, onde ficou secando por 24 horas a 50 °C. Depois de seco o biossorvente foi macerado com a finalidade de desagregar o material. Na Figura 3 é possível observar os estágios do resíduo até o produto final: resíduo bruto, peneirado, seco pós lavagem e o biossorvente pronto pós maceração.

Figura 3: Estágios do biossorvente. Fonte: Dados da pesquisa.

SEGUNDA ETAPA: VARREDURA E CURVA DE CALIBRAÇÃO DO PARACETAMOL

Para realizar a varredura do paracetamol foi necessário produzir um efluente sintético 24,2 x 10 µmol/L de paracetamol puro a ser lido com auxílio de um espectrofotômetro de UV-visível na faixa de comprimento de onda de 200 nm a 800 nm (FOEGER, 2016).

Para construção da curva de calibração do paracetamol foi preparada uma amostra mãe de 20 mg/L de paracetamol que foi sendo diluída de acordo com as necessidades. Foram produzidas amostras nas concentrações de 0 mg/L, 2 mg/L; 4 mg/L; 6 mg/L; 8 mg/L; 10 mg/L e 12 mg/l e lidas em espectrofotômetro no mesmo comprimento de onda ótimo encontrado na varredura.

TERCEIRA ETAPA: TESTE DE ADSORÇÃO

O teste de adsorção foi dividido em 3 análises: leitura com auxílio de um espectrofotômetro de UV-Visível do efluente sintético, leitura de um branco analítico e leitura do efluente após adsorção no melhor comprimento de onda encontrado na etapa de varredura. Essas análises tiveram objetivo de identificar uma possível interferência do biossorvente no efluente final e avaliar a sua capacidade adsortiva.

A solução aquosa de paracetamol foi sintetizada no laboratório com concentração de 10 mg/L de paracetamol puro em pH neutro e temperatura ambiente (FLORES *et al.*, 2011). Para o ensaio experimental de adsorção foi utilizado 100 ml da amostra sintetizada, disposta em Erlenmeyer de 250ml. Após adição de 2g/L de biossorvente, o frasco contendo a amostra passou por agitação magnética à 435 RPM por 30 minutos. Considerando as mesmas variáveis, para a produção do branco utilizou-se a mesma concentração de biossorvente em 100 ml de água destilada à agitação constante.

RESULTADOS: PRODUÇÃO DO BIOSSORVENTE

A partir da distribuição granulométrica do resíduo pó de café verde foram selecionados os materiais mais finos por meio do conjunto de peneiras disponível. Durante o peneiramento do material houve a passagem de 98% do GCP pela peneira de mesh 200. Sendo assim observou que de forma geral o resíduo possui granulometria menor do que 75 µm. Na Tabela 2 é possível observar o comportamento granulométrico do resíduo.

Tabela 2: Características granulométrica da amostra

Mesh	Tamanho	Resultado
10	2 mm	Sobrou uma "palha", provavelmente impurezas/sujeiras presentes na amostra
16	1,18 mm	Presença de impurezas mais finas (casca que não pulveriza)
30	600 µm	Presença de uma palha mais fina e impurezas (casca que não pulveriza)
40	425 µm	Sobraram pequenas frações maiores do que 425 µm
200	75 µm	Sobraram poucos resíduos com dimensões maiores do que 75 µm.

Fonte: Dados da pesquisa.

Destaca-se que no processo de filtração do resíduo lavado observou-se a presença de muita espuma e liberação de cor. A quantidade de espuma pode ser reflexo da quantidade de impurezas presentes no material. O GCP é gerado no processo de rebeneficiamento do café Conilon com a finalidade de separar os grãos de café em novos lotes. Esse resíduo é removido por exaustores e depois armazenado em pilhas, recendo interferências do ambiente.

Em relação ao material final, depois de passar por secagem na estufa havia 3,7607 gramas de resíduo. Logo, durante o processo de peneiração, lavagem, filtragem, secagem em estufa e maceração houve uma perda de 24,79% da quantidade inicial de resíduo.

RESULTADOS: VARREDURA E CURVA DE CALIBRAÇÃO DO PARACETAMOL

Ao realizar a varredura do paracetamol foi registrado um pico de absorbância de 0,342 para o comprimento de 240 nm (Figura 4). Comparado com a literatura, os dados encontrados por Foeger (2016) foram de 0,443 de

absorbância para 249,33 nm de comprimento de onda. Essa diferença entre as pesquisas pode ser justificada pelo grau de pureza de cada amostra de paracetamol puro utilizada e torna necessária a construção de uma nova curva de calibração. Na construção da curva de calibração (Figura 5) obteve-se um ótimo coeficiente de correlação (R^2) de 0,99994 e equação de calibração igual a:

$$Abs = 0{,}07385 * Conc + 0{,}07485 \quad \text{equação (1)}$$

Onde:

Abs: Absorbância
Conc: Concentração da amostra

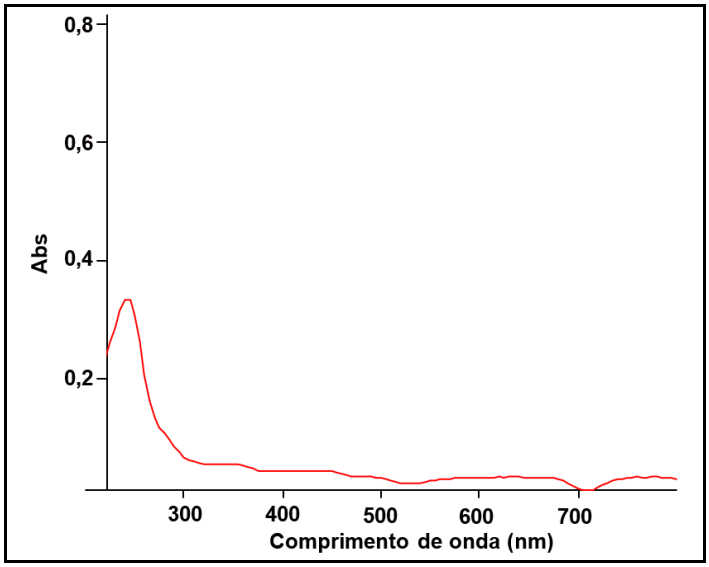

Figura 4: Varredura do Paracetamol. Fonte: Dados da pesquisa.

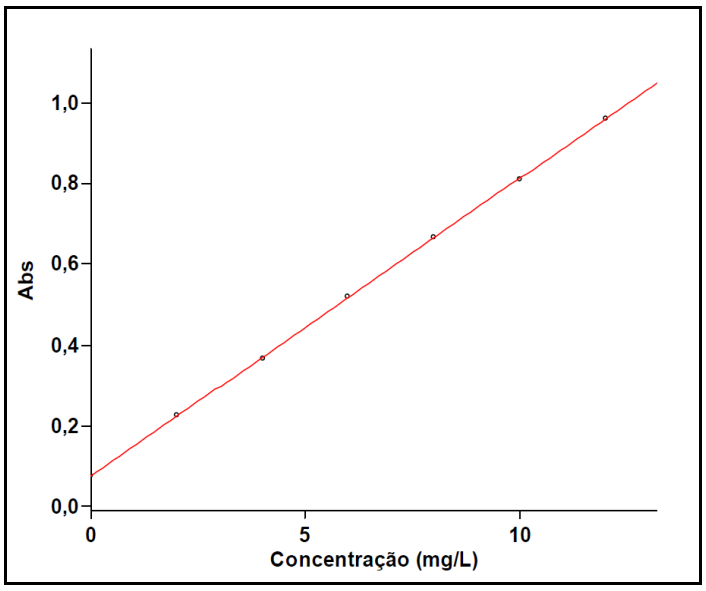

Figura 5: Curva de Calibração do Paracetamol. Fonte: Dados da pesquisa.

RESULTADOS: TESTE DE ADSORÇÃO

A molécula de paracetamol é formada por grupos funcionais como carbonila [CO], estrutura aromática de anel benzênico, hidroxila [OH] e nitrila [CN]. Sendo assim, um dos fatores que favorece o processo de adsorção do composto fármaco paracetamol é a identificação, pela análise de espectroscopia no infravermelho do GCP *in natura*, de estiramento de ligações [OH] na banda compreendida entre 3600 e 3200 cm^{-1} e alongamento de ligações carbonílicas [CO] na banda de 1750 a 1700 cm^{-1} (FERREIRA, 2023). Esse resultado possui aderência com os resultados encontrados por Ferreira (2015), que indicam que o mecanismo envolvido no processo de adsorção do paracetamol por biossorventes é favorecido por grupos funcionais básicos. Apesar disso, os resultados de adsorção com biossorvente a base de *GCP in natura* mostraram a necessidade de modificações a fim de se obter eficiência de tratamento mais representativa.

Os resultados mostraram que o biossorvente influencia diretamente na absorção de luz no espectrofotômetro no comprimento de onda de 240 nm. Essa análise se baseia nos valores da amostra de branco e do efluente sintético pós adsorção. Era esperado que para a leitura do branco houvesse ausência de absorção e que o efluente sintético depois de ser adsorvido tivesse concentração menor do que a anterior comprovando a capacidade adsortiva do GCP. Na Tabela 3 é possível verificar as leituras feitas no espectrofotômetro de UV-visível.

Tabela 3: Resultados das leituras em espectrofotômetro

Análises	Concentrações Lidas (mg/L)
Branco	1,5
Efluente Sintético sem Tratamento	8,8
Efluente sintético pós adsorção	10,1
Resultado de adsorção subtraindo interferência do biossorvente	8,6

Fonte: Dados da pesquisa.

Desconsiderando a influência do biossorvente na leitura das amostras, observa-se que a remoção de paracetamol mostrou-se pouco substancial , como visto na Tabela 4. Dessa forma, a eficiência do biossorvente ficou por volta de 2,27%, muito menor do que a eficiência do carvão ativado em pó. Para as mesmas condições de contorno, o carvão ativado em pó remove 100% de paracetamol (FOEGER, 2016).

Tabela 4: Presença de paracetamol nas amostras

Amostra	Paracetamol presente na amostra (%)
Efluente Sintético sem Tratamento	100%
Efluente sintético pós adsorção	97,73%

Fonte: Dados da pesquisa.

El Achaby et al (2019) em sua pesquisa sobre a produção de microfibras de celulose a partir de resíduos de polpa de café identificou que a estrutura de seu material era formada por microfibras lineares macroporosas (Figura 6) e que isso gerava possibilidades de utilizações do resíduo, inclusive sua aplicação no tratamento de efluentes. Nesse sentido, apesar da análise microscópica do GCP se mostrar positiva devido a sua morfologia fibrosa a ausência de macroporos pode ter sido um fator limitante na eficiência de adsorção (Figura 7). Comparativamente, na Figura 8 é possível observar os sítios ativos do carvão ativado por microscopia eletrônica de varredura.

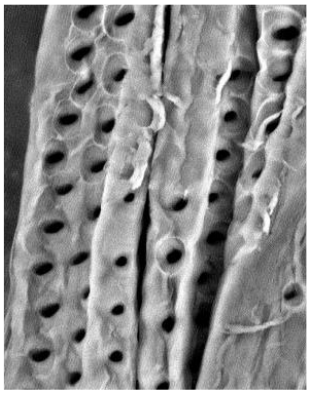

Figura 6: Microfibras de Celulose Hidratada. Fonte: El Achaby *et al.* (2019)

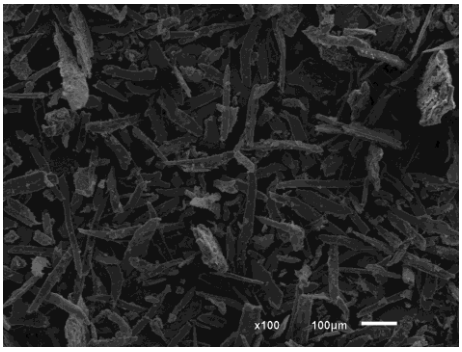

Figura 7: Resíduo GCP com aumento de 100X. Fonte: Dados da Pesquisa

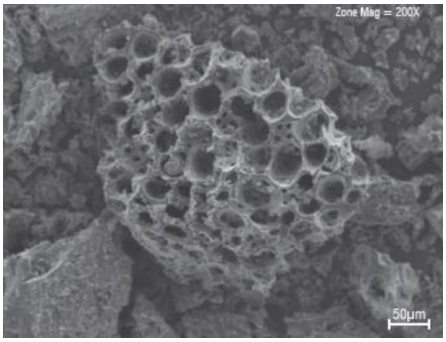

Figura 8: Poros do carvão ativado. Fonte: Pinto *et al.* (2013)

Tendo isso em vista, Niglio *et al*. (2020) observou que em determinadas condições a hidrólise alcalina da película prateada do café, um outro tipo de resíduo gerado no processamento do grão, resulta em maior exposição de microfibras de celulose melhorando a interação entre a superfície sólida e o meio aquoso. Sendo assim, ativação do resíduo é uma possibilidade de otimizar a eficiência do biossorvente ao contribuir para o rompimento da primeira camada fibrosa do GCP e proporcionar um aumento de rugosidade na superfície do material.

O Tabela 5 apresenta algumas técnicas de ativação utilizadas na obtenção de biossorventes relatadas na literatura possíveis de serem aplicadas a nível de bancada em novos testes com o GCP. Destaca-se que todas literaturas apresentadas na Tabela 5 tiveram como resultado biossorventes viáveis para a remoção de seus respectivos adsorvatos.

Tabela 5 – Metodologias de ativação na produção de biossorvente pela literatura

Biossorvente(s)	Técnica	Aplicação	Referência
Fibras vegetais das cascas da banana, do coco e da laranja	Ativação química com solução de hidróxido de sódio seguida por neutralização com ácido acético; secagem em estufa e trituração do material. Agitação constante	Avaliação da viabilidade de biossorventes alternativos na recuperação de corpos hídricos contaminados por derramamento de derivados do petróleo	MOREIRA (2018)
Biopolímero de Celulose	Hidratação do resíduo em de água destilada seguida por trituração do material; deslignificação com hidróxido de sódio e secagem em estufa	Aplicação do biopolímero de celulose como biossorvente alternativo na remoção do diclofenaco de sódio	SILVA; SILVA (2019)
Película prateada do café	Tratamento alcalino com hidróxido de sódio assistido por ultrassom seguido de neutralização em ácido, lavagem em água destilada e secagem em estufa	Pré-tratamentos combinados de película prateada de café para aumentar o rendimento de açúcar fermentável (traduzido)	NIGLIO *et al.* (2020)

Fonte: Dados da pesquisa.

Vale ressaltar que não houve alterações nas condições de contorno do experimento, mas que apesar disso algumas variáveis influenciam no processo de adsorção, como PH do meio, características do adsorvente e temperatura (FERREIRA, 2015).

CONCLUSÕES

O trabalho proposto insere-se no contexto da economia circular e abarca dois importantes temas no âmbito do saneamento: o reaproveitamento de resíduos agroindustriais e o tratamento de águas contaminadas por fármacos. No que diz respeito ao primeiro, entende-se que a implantação de projetos pautados no reaproveitamento de resíduos desenha necessariamente um novo modelo de gestão na cadeia produtiva do café, podendo vir a aperfeiçoar o próprio sistema econômico do setor.

O tratamento de águas contaminadas por fármacos, por sua vez, requer a adoção de processos avançados de tratamento, uma vez que as estações convencionais de tratamento não eliminam os fármacos presentes no esgoto sanitário, no caso das ETEs, ou na água bruta, no caso das ETAs. Para suprir tal deficiência, os tratamentos terciários, como os processos adsortivos, são possíveis soluções para a remoção desses compostos mais complexos.

Muito embora existisse a expectativa de que o desempenho do biossorvente alternativo fosse equivalente ou superior àquele apresentado pelo carvão ativado comercial na remoção de paracetamol em águas, uma avaliação mais abrangente considerando ativação do biossorvente e alterações das variáveis de contorno do experimento pode tornar a adsorção mais eficiente, ainda que seu desempenho se mostre aquém, nas mesmas condições de operação do carvão ativado.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. AMERICAN SOCIETYFOR TESTING AND MATERIALS-ASTM. *D3860-98 Standard practice for determination of adsorptive capacity of activated carbon by aqueous phase isotherm technique*. Filadélfia, 2008.
2. CONAB. Acompanhamento da safra brasileira: café: Safra 2022 - 4º Levantamento. Brasília, v. 9, n. 4, p. 1-53, 2022.
3. DRAMAN, S. F. S.; BATRA'AZMAN, I. A.; MOHD, N. *Removal of paracetamol from aqueous solution by dried cellulose and activated carbon. ARPN J. Eng. App*l. Sci, v. 10, p. 9544-9548, 2015;

4. DONNER, M. et al. *Circular bioeconomy for olive oil waste and by-product valorisation: Actors' strategies and conditions in the Mediterranean area. Journal of Environmental Management*, v. 321, p. 115836, 2022.;
5. EL ACHABY, M. et al. *Bio-sourced porous cellulose microfibrils from coffee pulp for wastewater treatment*. *Cellulose*, v. 26, n. 6, p. 3873–3889, 1 abr. 2019;
6. FERREIRA, F. A. Caracterização do pó de café Conilon verde e perspectivas para seu aproveitamento sustentável. 2023. Dissertação (Mestrado em Tecnologias Sustentáveis) – Instituto Federal do Espírito Santo – Ifes, Vitória;
7. FERREIRA, R. C. Mecanismo de adsorção de paracetamol em carvões nacionais. 2015. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) – Universidade Estadual de Maringá – UEM, Maringá, 2015;
8. FLORES, A. et al. *Evaluation of two bioadsorbents for removing paracetamol from aqueous media. Electronic Journal of Biotechnology*, v. 14, n. 6, 2011.
9. FOEGER, L. B. Adsorção de paracetamol em carvões ativados granulados e em pó: um estudo de viabilidade técnica. 2016. Trabalho de conclusão de curso. Instituto Federal do Espírito Santo.
10. LEE, W. J. et al. *Removal of Pharmaceutical Contaminants from Aqueous Medium: A State-of-the-Art Review Based on Paracetamol. Arabian Journal for Science and Engineering*, v. 45, n. 9, p. 7109–7135, 6 set. 2020;
11. MOREIRA, T. M. Avaliação da viabilidade de biossorventes alternativos na recuperação de corpos hídricos contaminados por derramamento de derivados do petróleo. 2018. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo;
12. NIGLIO, S. et al. *Combined pretreatments of coffee silverskin to enhance fermentable sugar yield. Biomass Conversion and Biorefinery*, v. 10, n. 4, p. 1237–1249, 21 dez. 2020;
13. PETKOVIĆ, B. et al. *Neuro fuzzy evaluation of circular economy based on waste generation, recycling, renewable energy, biomass and soil pollution. Rhizosphere*, v. 19, p. 100418, 2021.
14. PETROVIC, M. et al. *Endocrine disrupting compounds and other emerging contaminants in the environment: A survey on new monitoring strategies and occurrence data. Analytical and Bioanalytical Chemistry*, v. 378, n. 3, p. 549–562, 1 fev. 2004;
15. PINTO, Marcos Vinicios de Souza; SILVA, Denilson Luz da; SARAIVA, Augusto César Fonseca. Obtenção e caracterização de carvão ativado de caroço de buriti (Mauritia flexuosa L. f.) para a avaliação do processo de adsorção de cobre (II). Acta Amazonica, v. 43, p. 73-80, 2013;
16. REIS, G. T. C. DOS et al. Resíduo da indústria cervejeira: potencial de uso como biossorvente de fármacos de águas residuais / *Breweing industry waste: potential for use as biosorbent of drugs from wastewaters. Brazilian Journal of Animal and Environmental Research*, v. 4, n. 1, p. 1361–1368, 2021;
17. SILVA, M. D.; SILVA, W. L. Aplicação do biopolímero de celulose como biossorvente alternativo na remoção do diclofenaco de sódio. *Brazilian Journal of Development*, v. 5, n. 12, p. 30827–30830, 2019;
18. SPESSATO, L. et al. *KOH-super activated carbon from biomass waste: Insights into the paracetamol adsorption mechanism and thermal regeneration cycles. Journal of Hazardous Materials*, v. 371, p. 499–505, 5 jun. 2019;
19. VENTURIM, J. B. Gestão de resíduos orgânicos produzidos no meio rural: O caso do beneficiamento do café. 2002. Tese de Doutorado. Universidade Federal de Santa Catarina

AGRADECIMENTO

Agradecimentos a LUCCAR (Laboratório de Ultra Estrutura Celular Carlos Alberto Redins, CCS/UFES, para análise MEV) pela realização das micrografias MEV de amostras do GCP que auxiliaram no desenvolvimento do trabalho.