

UNIVERSIDADE FEDERAL DE ALAGOAS – UFAL

CENTRO DE TECNOLOGIA – CTEC

CURSO DE ENGENHARIA QUÍMICA

CAROLINA GIULIANA DA SILVA DE MELO

**APLICAÇÃO DE RESÍDUO DA PRODUÇÃO DE ÁLCOOL DE SEGUNDA
GERAÇÃO PARA REMOÇÃO DE CONTAMINANTES EMERGENTES**

Maceió

2023

CAROLINA GIULIANA DA SILVA DE MELO

**APLICAÇÃO DE RESÍDUO DA PRODUÇÃO DE ÁLCOOL DE SEGUNDA
GERAÇÃO PARA REMOÇÃO DE CONTAMINANTES EMERGENTES**

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado como requisito para a
obtenção do título de Bacharel em
Engenharia Química.

Orientador: Prof. Dr. João Inácio Soletti

Coorientador: Prof^a. Dr^a. Sandra Helena
Vieira de Carvalho

Maceió

2023

Catálogo na Fonte
Universidade Federal de Alagoas
Biblioteca Central
Divisão de Tratamento Técnico

Bibliotecário: Marcelino de Carvalho Freitas Neto – CRB-4 – 1767

M528a Melo, Carolina Giuliana da Silva de.

Aplicação de resíduo da produção de álcool de segunda geração para remoção de contaminantes emergentes / Carolina Giuliana da Silva de Melo. – 2023.

47 f. il. : figs. ; tabs. color.

Orientadora: Sandra Helena Vieira de Carvalho.

Monografia (Trabalho de Conclusão de Curso em Engenharia Química).
Universidade Federal de Alagoas. Centro de Tecnologia. Maceió, 2023.

Bibliografia: f. 44-47.

1. Carvão ativado. 2. Adsorção. 3. Hormônio 17 β -estradiol. I. Título.

CDU: 661.72



CAROLINA GIULIANA DA SILVA DE MELO

***APLICAÇÃO DE RESÍDUO DA PRODUÇÃO DE ÁLCOOL DE SEGUNDA GERAÇÃO PARA
REMOÇÃO DE CONTAMINANTES EMERGENTES***

BANCA EXAMINADORA

Documento assinado digitalmente



JOAO INACIO SOLETTI
Data: 24/05/2023 17:10:53-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Dr. João Inácio Soletti

Documento assinado digitalmente



CARLOS EDUARDO DE FARIAS SILVA
Data: 17/05/2023 18:35:34-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Dr. Carlos Eduardo de Farias Silva

Documento assinado digitalmente



ANTONIO OSIMAR SOUSA DA SILVA
Data: 16/05/2023 20:19:41-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Dr. Antônio Osimar Sousa da Silva

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus, por todas as oportunidades concedidas, por me dar força, sabedoria, guiar o meu caminho e por colocar pessoas incríveis no meu caminho.

Agradeço aos meus pais, Gizêlda Calet e Carlos Alberto, por toda educação e suporte durante a minha vida toda.

A minha irmã, Karla Gisele, pelos inúmeros momentos de suporte, por me ouvir e tentar me ajudar de todas as formas, mesmo sem saber nada sobre o assunto.

Ao meu namorado, Gian Victor, que me apoiou durante todo o curso, torceu por mim e foi extremamente compreensivo nos momentos em que precisei ficar ausente devido a graduação.

Ao meu Orientador, Professor João Inácio Solletti, e a minha coorientadora, Sandra Helena, que estiveram presentes durante toda a graduação e me deram a oportunidade de conhecer o mundo da pesquisa. Que vocês nunca perca essa alegria ao falar de engenharia química.

Aos meus amigos de graduação, Elber, Rafael, Aline, Marcos, João e Lucas, que durante todos esses anos compartilharam as experiências da vida, estiveram presentes e me deram todo o suporte para chegar ao final dessa jornada.

Ao Laboratório de Sistemas de Separação e Otimização de Processos que me permitiu utilizar de suas estrutura para realizar esse trabalho.

E agradeço a todos que estiveram presentes durante a minha graduação.

RESUMO

A produção do etanol de segunda geração (2G) atua diretamente no âmbito da sustentabilidade industrial, aumentando os ciclos produtivos da cana-de-açúcar. No entanto, essa produção gera toneladas de resíduos lignocelulósicos, que são subutilizados, sendo utilizados, exclusivamente, como combustível em caldeiras, para geração de vapor e energia elétrica. Neste sentido, este trabalho visa estudar novas oportunidades para utilização destes resíduos, a fim de que haja a melhoria e valorização do processo existente da produção do álcool 2G, aliado a uma redução da poluição gerada por esses descartes. O objetivo do presente trabalho foi realizar a avaliação da eficiência do carvão ativado, produzido a partir do resíduo lignocelulósico da produção de álcool de 2G, como agente adsorvente na remoção do hormônio 17- β -estradiol. Desta forma foi realizada a pirólise, avaliando a influência das variáveis: temperatura de pirólise (500 e 700 °C) e taxa de aquecimento (5 e 15°C/min), seguida da ativação físico-química do *biochar* produzido. Posteriormente foi realizada a caracterização do *biochar* e carvão ativado por Espectroscopia por Energia Dispersiva de Raio-X (EDX), Espectroscopia no Infravermelho com Transformada de Fourier (FTIR) e Análise Termogravimétrica (TGA). Além de estudos da cinética (pseudo-primeira e pseudo-segunda ordem) e da isoterma de adsorção (Langmuir e Freundlich). Feita toda a metodologia do trabalho, foi possível obter o carvão produzido a 500°C a 5°C/min com maior rendimento e o carvão ativado produzido a 500°C à 15°C/min como o mais adequado para realizar as caracterizações e os testes de adsorção. Na análise imediata foi indicado: elevado teor de voláteis, baixos teores de carbono fixo, cinzas, e umidade. Os *biochars* produzidos apresentaram diversos grupos funcionais, incluindo a presença de O-H de grupos carboxílicos que caracteriza forte adsorção. O estudo cinético mostrou que o equilíbrio de adsorção foi alcançado em torno de 90 minutos e o modelo de pseudo-segunda ordem é o mais adequado para a adsorção. Já para as isotermas, a adsorção segue preferencialmente modelo descrito por Langmuir. Desta forma, com esses estudos foi possível concluir que o material estudado possui um atrativo potencial adsorvente, devido às características físico-químicas presentes.

Palavras-Chave: Carvão ativado, Adsorção, hormônio 17 β -estradiol.

ABSTRACT

The production of second-generation ethanol (2G) acts directly in the field of industrial sustainability, increasing the production cycles of sugarcane. However, this production generates tons of lignocellulosic residues, which are underutilized, being used exclusively as fuel in boilers, for generating steam and electricity. In this sense, this work aims to study new opportunities for the use of these residues, so that there is an improvement and appreciation of the existing process of the production of 2G alcohol, combined with a reduction of the gases generated by these discards. The objective of the present work was to evaluate the efficiency of activated charcoal, produced from the lignocellulosic residue of 2G alcohol production, as an adsorbent agent in the removal of 17- β -estradiol hormones. Thus, pyrolysis was carried out, evaluating the influence of the variables: pyrolysis temperature (500 and 700 °C) and heating rate (5 and 15 °C/min), followed by the physical-chemical activation of the produced biochar. Subsequently, the characterization of biochar and activated carbon was performed by Energy Dispersive X-Ray Spectroscopy (EDX), Fourier Transform Infrared Spectroscopy (FTIR) and Thermogravimetric Analysis (TGA). In addition to kinetic studies (pseudo-first and pseudo-second order) and the adsorption isotherm (Langmuir and Freundlich). Once all the methodology of the work was done, it was possible to obtain the charcoal produced at 500°C at 5°C/min with higher yield and the activated carbon produced at 500°C at 15°C/min as the most adequate to carry out the characterizations and adsorption tests. In the immediate analysis it was indicated: high content of volatiles, low content of fixed carbon, ash and moisture. The produced biochars presented several functional groups, including the presence of O-H of carboxylic groups that characterize strong adsorption. The kinetic study showed that the adsorption equilibrium was reached around 90 minutes and the pseudo-second order model is the most suitable for the adsorption. As for the isotherms, the adsorption preferentially follows the model described by Langmuir. Thus, with these studies it was possible to conclude that the material studied has an attractive adsorptive potential, due to the physical-chemical characteristics present.

Keywords: Activated carbon, Adsorption, hormone 17 β -estradiol.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Formas possíveis de isothermas de adsorção	23
Figura 2 – Fluxograma das etapas do projeto	27
Figura 3 – Esquematização da pirólise	28
Figura 4 – (A) Biochar antes do peneiramento e (B) Biochar com granulometria $\leq 0,212$ mm.....	29
Figura 5 – Fotografia do sistema de ativação do carvão contendo: reator, controlador de temperatura e bomba de vácuo	29
Figura 6 – Análise térmogravimétrica da biomassa	34
Figura 7 – Teste de aplicabilidade dos carvões ativados	37
Figura 8 – Resultado do FTIR.	37
Figura 9 – Modelos cinéticos de pseudo-primeira ordem (---) e pseudo-segunda ordem (---) do hormônio 17β -estradiol em três concentrações diferentes como o carvão ativado B.	38
Figura 10 – Modelos de isothermas de adsorção do 17β -estradiol no carvão ativado B, a 30°C e 40°C	39

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Rendimento dos <i>biochars</i> obtidos na pirólise	35
Tabela 2 – Rendimento do carvão ativado	35
Tabela 3 – Resultados das análises imediatas	36
Tabela 4 – Resultados da análise EDX	38
Tabela 5 - Parâmetros cinéticos da adsorção do 17 β -estradiol no carvão ativado B..	39
Tabela 6 - Parâmetros das isotermas de adsorção em diferentes temperaturas	40

LISTA DE SIMBOLOS

k_1	Constante da taxa de adsorção de pseudo-primeira ordem (min ⁻¹);
q_e	Quantidades adsorvidas no equilíbrio (mg.g ⁻¹)
q_t	Quantidades adsorvidas no tempo t (mg.g ⁻¹)
k_2	Constante da taxa de adsorção de pseudo-segunda ordem (g.mg ⁻¹ .min ⁻¹).
K_L	Constante da isoterma de Langmuir (L.mg ⁻¹)
$q_{máx}$	Quantidade máxima de cobertura em monocamada (mg.g ⁻¹)
C_e	Concentração do adsorvato no equilíbrio (mg.L ⁻¹)
K_f	Constante da isoterma de Freundlich (mg.L ⁻¹)(L.g ⁻¹) ^(1/n)
$1/n$	Fator de heterogeneidade
$m_{carvão}$	Massa do <i>biochar</i> obtida na pisólise
$m_{óleo}$	Massa do bio-óleo obtida na pisólise
$m_{inicial}$	<i>Massa inicial do resíduo lignocelulósico</i>
$R_{sólido}$	Rendimento em sólido da pirólise
$R_{líquido}$	Rendimento em líquido da pirólise
$R_{gás}$	Rendimento em gás da pirólise
m_{CA}	Massa do carvão ativado obtida após o processo de carbonização (base seca)
$m_{i(mistura)}$	Massa da mistura antes da carbonização (base seca)
$R(CA)$	Rendimento do carvão ativado
W_i	Massa inicial da amostra
W_c	Massa da cápsula
W_f	Massa da amostra após a secagem

C_z	Teor de cinzas em base úmida
C_v	Teor de voláteis
C_f	Teor de carbono fixo
$m_{amostra}$	Massa da amostra
m_1	Massa do cadinho e cadinho com resíduo após a queima
m_2	Massa do cadinho com resíduo após a queima

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	15
2. OBJETIVOS.....	17
2.1 Objetivo geral.....	17
2.2 Objetivos específicos	17
3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	18
3.1 Biomassa.....	18
3.2 Pirólise.....	18
3.3 Ativação Físico-química.....	19
3.4 Adsorção	20
3.5 Cinética de adsorção	21
3.6 Isotherma de Adsorção.....	22
3.7 Contaminantes emergentes: Hormônio 17 β -Estradiol.....	24
4. METODOLOGIA	26
4.1 Materiais.....	27
4.2 Métodos.....	27
4.2.1 Análise Termogravimétrica (TG) e Termogravimetria Derivada (DTG)	27
4.2.2 Pirólise	27
4.2.3 Rendimento.....	28
4.2.4 Trituração e Peneiramento	28
4.2.5 Ativação do Carvão.....	29
4.2.6 Análises Imediatas	30
4.2.6.1 Determinação do Teor de Umidade	30
4.2.6.2 Determinação do Teor de Cinzas	30
4.2.6.3 Determinação do Teor de Materiais Voláteis	30
4.2.6.4 Determinação do Teor de Carbono Fixo	30
4.2.7 Espectroscopia de Fluorescência de Raios-X por Energia Dispersiva (EDX)	31
4.2.8 Espectroscopia no Infravermelho com Transformada de Fourier (FTIR)	31
4.2.9 Teste de Aplicabilidade	31
4.2.10 Cinética de Adsorção	31
4.2.11 Isotherma de Adsorção	32
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO	33
5.1 Análise Termogravimétrica (TG) e Termogravimetria Derivada (DTG).....	33
5.2 Pirólise.....	33
5.3 Ativação Físico-Química.....	34
5.4 Análise Imediata	35
5.5 Teste de Aplicabilidade.....	36

5.6	Espectroscopia no Infravermelho com Transformada de Fourier (FTIR).....	36
5.7	Espectroscopia de fluorescência de Raio X por energia dispersiva (EDX).....	37
5.8	Cinética de Adsorção.....	38
5.9	Isoterma de Adsorção.....	40
6.	CONCLUSÃO	43
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	44

1. INTRODUÇÃO

A produção de etanol a partir de biomassa lignocelulósica (2G) é atualmente apontada como o maior potencial entre as possíveis alternativas para aumentar a produção de etanol no mundo. No entanto, essa produção gera grande quantidade de resíduos lignocelulósicos, que poderiam ser melhor aproveitados para a produção de compostos de alto valor agregado, evitando o descarte inadequado, ou ainda, seu uso para geração de energia. Segundo Patel (2021), a destinação destes resíduos para produção de adsorventes está se tornando um dos mais importantes campos de estudo.

O carvão ativado é o adsorvente mais comumente empregado em processos industriais e podem ser obtidos a partir de uma ampla variedade de precursores contendo carbono, incluindo resíduos de biomassa lignocelulósica. Os adsorventes de carvão ativado exibem um alto grau de porosidade e grande área de superfície. Tais propriedades resultam em um carvão ativado que vem sendo amplamente utilizado para tratamento de águas residuais e efluentes industriais, visando a remoção de diferentes contaminantes orgânicos (FREITAS, 2020).

A poluição da água causada por desreguladores endócrinos tem sido uma preocupação, a nível mundial. Dentre os contaminantes considerados emergentes, tem-se o 17β -estradiol, estrogênio mais ativo e importante na mulher em idade reprodutiva. Sua ingestão elevada pode levar a tumores ovarianos e feminilizantes adrenais, puberdade precoce feminina, doença hepática e ginecomastia masculina. A eliminação eficaz e eficiente de 17β -estradiol das águas residuais é extremamente difícil por meio de técnicas tradicionais de tratamento de águas residuais. No entanto, a adsorção é um processo amplamente utilizado e economicamente viável para a purificação deste hormônio em águas residuais contaminadas (DUAN, 2019).

A remoção do hormônio 17β -estradiol em meio aquoso utilizando a adsorção tem sido objeto de estudo de diversos pesquisadores. Várias pesquisas têm sido relatadas utilizando biocarvões, preparados a partir de diversas fontes: palha de milho, lodo desidratado, derivados da vagem de lótus e até mesmo da palha de arroz (GUO et al., 2022) (LIU et al., 2020) (WANG et al., 2017)

Nesse contexto com a crescente utilização de carvão ativado na remoção de contaminantes emergentes, este trabalho tem como objetivo produzir carvão ativado a partir do resíduo lignocelulósico oriundo da produção do álcool de segunda

geração e, com isso, verificar seu potencial de adsorção em solução do hormônio 17β -estradiol. Nos próximos tópicos serão abordadas a revisão bibliográfica, os objetivos, a metodologia e os resultados obtidos ao término deste trabalho.

2. OBJETIVOS

2.1 Objetivo geral

O objetivo geral deste trabalho é avaliar a eficiência do carvão ativado, produzido a partir do resíduo lignocelulósico da produção de álcool de 2G, como agente adsorvente à remoção do hormônio 17- β -estradiol.

2.2 Objetivos específicos

- Produzir *biochar* e carvão ativado a partir do resíduo lignocelulósico;
- Caracterização química imediata do *biochar* e do carvão ativado, como teor de umidade, teor de materiais voláteis, teor de cinzas e teor de carbono fixo;
- Aplicar o carvão ativado em processos adsorptivos;
- Avaliar a cinética de adsorção do processo adsorptivo com aplicação dos modelos pseudo-primeira e pseudo-segunda ordem;
- Avaliar as isotermas de adsorção a partir da aplicação de diferentes modelos;

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 Biomassa

Na literatura existem inúmeros estudos voltados para os resíduos, em destaque para os de fontes oriundas de subprodutos agrícolas. Esses subprodutos são utilizados em diversos processos, entre eles está a produção do etanol de segunda geração. Esse álcool, também chamado de etanol 2G, é um biocombustível produzido a partir dos resíduos que são descartados do processo produtivo do etanol de primeira geração. Para produção desse etanol, destacam-se como matéria prima a palha e o bagaço da cana-de-açúcar. Ao final do processo de produção do álcool de segunda geração são gerados diversas toneladas de resíduos, como a biomassa lignocelulósica. A maior parte do resíduo lignocelulósico é despejado ou queimado como combustível de baixa qualidade, que não só causa desperdício de recursos, mas também incorre em sérios problemas de poluição ambiental. (SANTOS, 2022)

A biomassa lignocelulósica gerada a partir da produção do álcool de segunda geração é constituída pela celulose e hemicelulose, que são macromoléculas formadas de carboidrato, e pela lignina, que é um polímero aromático, onde as junções desses constituintes formam uma estrutura de alta resistência a degradação e tem como principais elementos: C, H e O. A estrutura da biomassa lignocelulósica varia entre 35-50% de celulose, 20-35% de hemicelulose e 10-25% de lignina. Outros componentes como lipídeos, proteínas, açúcares simples e componentes inorgânicos também são encontrados. (SANDES, 2019).

Considerando a degradação térmica do resíduo lignocelulósico, segundo OZAWA (1965), a decomposição dos polímeros naturais ocorre em diferentes faixas de temperaturas. Para a hemicelulose ocorre entre 250-350 °C, enquanto para a celulose acontece entre 325-400 °C, e a lignina degrada a temperatura superior a 300-550 °C. O rendimento dos produtos após o processo de pirólise depende do tipo biomassa lignocelulósica, bem como, de sua composição final.

3.2 Pirólise

A biomassa é convertida em bioenergia ou produtos químicos via processos termoquímicos: torrefação, gaseificação e pirólise. O último processo é menos danoso ao meio ambiente e mais eficiente para a conversão da biomassa. (LEI et al.,

2021)

Segundo RIBEIRO (2021), a pirólise pode ser definida como um processo de decomposição térmica da biomassa na presença controlada de oxigênio e que tem como produtos compostos na fase gasosa, líquida e sólida. O gás é composto por CO, CO₂, hidrogênio e hidrocarbonetos de baixa massa molar. O líquido obtido é oriundo da condensação de gases, denominada líquido pirolenhoso, e o sólido é denominado de *biochar*.

Em escala industrial o reator de pirólise opera em temperaturas que variam normalmente entre 250 e 600 °C, o que depende da composição da matéria-prima de biomassa e da proporção de produtos sólidos, líquidos e gasosos desejados. O processo de pirólise pode ser classificado como lento, rápido e flash. (SANTOS, 2022)

3.3 Ativação Físico-química

A produção do carvão ativado envolve duas etapas: a carbonização do precursor em atmosfera inerte e a ativação do material carbonizado. A etapa de carbonização consiste no tratamento térmico (pirólise) do precursor sob atmosfera inerte à temperatura, normalmente, superior a 473 K. É uma etapa de preparação do material na qual se removem componentes voláteis e gases leves (CO, H₂, CO₂ e CH₄), produzindo uma massa de carbono fixo e uma estrutura porosa primária que favorece a ativação posterior. O processo de ativação ocorre após o processo de pirólise. (RAMOS, 2009)

Através da ativação do *biochar produzido*, é possível ter controle das características do material, como: distribuição de poros, área superficial específica, atividade química na superfície, resistência mecânica, entre outras. (RIBEIRO, 2021) Os métodos de ativação e a natureza do material precursor influenciam na formação dos grupos funcionais superficiais e na estrutura porosa do carvão ativado. (MORAIS, 2019).

Segundo SILVA (2020), a ativação pode ser concretizada por meio de dois processos: ativação química e ativação física. Na ativação química, o material primário é impregnado com um agente químico ativante, como por exemplo, o Carbonato de potássio (K₂CO₃), e após a impregnação, em seguida é pirolisado. A pirólise e a ativação química ocorrem em uma única etapa. Essa metodologia agregada oferece vantagens admiráveis com um menor tempo de ativação e o

rendimento da ativação química tende a ser maior.

Já a ativação física, o carvão ativado é adquirido seguindo duas etapas: a primeira constitui-se na pirólise do material precursor carbonáceo a uma temperatura alta (500 °C a 1000 °C), comumente em atmosfera inerte, a fim de abolir o máximo de subsídios de oxigênio e hidrogênio. A segunda é o tratamento do produto da pirólise, à mesma temperatura da pirólise ou a temperatura mais elevada, na presença de gás oxidante, geralmente são utilizados vapor d'água, dióxido de carbono ou mistura dos dois. (MACÊDO, 2012)

Os parâmetros de ativação podem influenciar espontaneamente na formação da estrutura dos carvões ativados, análogo ao tipo de ativação (física ou química), como por exemplo: agente ativante, temperatura de ativação, a proporção de impregnação (relação entre o precursor e o agente ativante) e a sequência da ativação. A escolha do agente ativante exerce papel fundamental à formação de determinados grupos de superfície na produção de carvões ativados (HADI et al, 2015). A natureza do material pioneiro, a dimensão das partículas (grânulo ou pó) também são parâmetros que vão determinar a capacidade de adsorção dos carvões ativados. (SILVA, 2020)

3.4 Adsorção

Segundo MARTINS (2022) a adsorção é uma técnica de transferência de massa, a qual analisa a habilidade de certos sólidos em concentrar na sua superfície determinadas substâncias existentes em fluidos líquidos ou gasosos, possibilitando a separação dos componentes desses fluidos. As matérias adsorvidas ficam na camada externa, e quanto maior a superfície de contato, maior a adsorção do material, por este motivo os adsorventes sólidos com partículas porosas tem uma maior utilidade e aplicação. A espécie que se acumula na interface do material é normalmente denominada de adsorvato; e a superfície sólida na qual o adsorvato se acumula de adsorvente.

Os fenômenos de adsorção resultam de uma combinação entre os tipos de forças envolvidas na adsorção física e química. Dessa forma, são vários os fatores que influenciam o processo de adsorção, como a área superficial, as propriedades do adsorvente e do adsorvato, a temperatura do sistema, natureza do solvente e o pH do meio. As características do adsorvente incluem: área superficial, tamanho do poro, densidade, grupos funcionais presentes na superfície e hidrofobicidade do

material. Por outro lado, a natureza do adsorvato depende da polaridade, tamanho da molécula, solubilidade e acidez ou basicidade. As condições operacionais incluem, principalmente, temperatura, pH e natureza do solvente. (NASCIMENTO, 2020)

3.5 Cinética de adsorção

Segundo BASTIANI (2018), a cinética de adsorção pode ser definida como a taxa de remoção do adsorvato da solução em relação ao tempo, através da transferência das partículas para os macroporos do material adsorvente e suas regiões mais internas. A transferência de massa da solução para as partículas do adsorvente ocorre através de processos de difusão na superfície do adsorvente e no interior dos seus poros, definindo o tempo necessário para atingir o equilíbrio de adsorção. (BASTIANI, 2018)

Segundo SARMA et. al. (2019), a cinética de adsorção é expressa como a taxa de remoção do adsorvato na fase fluida em relação ao tempo, envolvendo a transferência de massa de um ou mais componentes contidos em uma massa líquida externa para o interior da partícula do adsorvente, de onde deverão migrar através dos macroporos até as regiões mais interiores dessa partícula. A velocidade de adsorção pode ser afetada pela temperatura, pH, força iônica, concentração inicial do adsorvato, a agitação, o tamanho das partículas e distribuição do tamanho dos poros. (SARMA et al., 2019)

Segundo NASCIMENTO (2020), o tempo de contato é um parâmetro importante porque esse fator indica o comportamento cinético da adsorção para determinado adsorvente em determinada concentração inicial do adsorvato. Vários modelos cinéticos lineares são utilizados para examinar o mecanismo controlador do processo de adsorção, tais como reação química, controle da difusão e transferência de massa. Contudo, os modelos empregados com maior frequência são os de pseudo primeira ordem e de pseudo segunda ordem.

- Modelo de pseudo primeira ordem

Uma análise simples da cinética de adsorção é realizada pela equação de Lagergren (LAGERGREN, 1898), de pseudo primeira ordem, baseada na capacidade dos sólidos, é dada pela Equação 1.

$$\frac{dq_t}{dt} = k_1(q_e - q_t) \quad (1)$$

Após a integração da Equação 1 e aplicando-se condições de contorno: $q_t = 0$, $t = 0$; quando $q_t = q_e$, $t = t$, obtém-se a Equação 2.

$$\ln(q_e - q_t) = \ln q_e - k_1 t \quad (2)$$

O valor de k_1 pode ser determinado pelo gráfico de $\ln(q_e - q_t)$ versus t .

- Modelo de pseudosegunda ordem

O modelo de pseudo segunda ordem pode ser expresso de acordo com a Equação 3 (MCKAY, 1996):

$$\frac{dq_t}{dt} = k_2(q_e - q_t)^2 \quad (3)$$

Integrando e linearizando a equação 3, obtém-se a equação 4.

$$\frac{t}{q_t} = \frac{1}{k_2 q_e^2} + \frac{t}{q_e} \quad (4)$$

Os valores de q_e e k_2 podem ser obtidos pelo intercepto e a inclinação da curva apresentada no gráfico $(\frac{t}{q_t})$ versus t . Se o modelo cinético de pseudo segunda ordem for aplicável, a plotagem de $(\frac{t}{q_t})$ versus t deve apresentar uma relação linear próxima a 1. (NASCIMENTO, 2020)

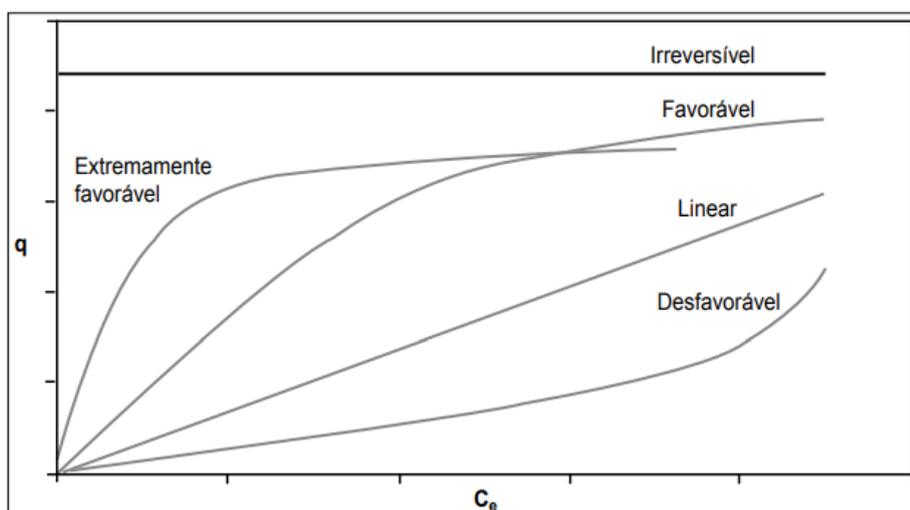
3.6 Isoterma de Adsorção

Segundo MARTINS (2022), a isoterma de Adsorção pode ser entendida como relação entre a quantidade adsorvida (q_e) e a concentração da fase líquida (C_{eq}) a uma dada temperatura, ou seja, quando um adsorvente está em contato com um fluido que possui uma determinada composição específica e o equilíbrio da adsorção acontece depois de um tempo suficientemente longo. A eficiência do processo de adsorção é geralmente avaliada pelas isotermas, que são gráficos que relacionam o equilíbrio entre a concentração na fase líquida e a concentração nas partículas adsorventes em uma determinada temperatura.

Ao analisar as diversas formas de isotermas, pode-se obter informações extremamente relevantes sobre o processo de adsorção. A isoterma linear diz que a

massa de adsorvato retida por unidade de massa do adsorvente é proporcional à concentração de equilíbrio do adsorvato na fase líquida. Já a isoterma favorável informa que a massa do adsorvato retida por unidade de massa do adsorvente é alta para uma baixa concentração de equilíbrio do adsorvato na fase líquida. A isoterma irreversível revela que a massa de adsorvato retida por unidade de massa do adsorvente independe da concentração de equilíbrio do adsorvato na fase líquida enquanto a isoterma desfavorável evidencia que a massa de adsorvato retida por unidade de massa do adsorvente é baixa mesmo para uma alta concentração de equilíbrio do adsorvato na fase líquida, respectivamente. (SANTOS, 2019)

Figura 1 – Formas possíveis de isotermas de adsorção
 q (quantidade adsorvida) e C_e (Concentração do adsorvato no equilíbrio)



Fonte: adaptado de Moreira (2008).

Entre os diversos modelos de isotermas existentes, pode-se destacar a isoterma de Langmuir, que segue os pressupostos de que existe um número definido de sítios de adsorção, prevendo a capacidade máxima de adsorção do material, e o modelo de Freundlich, que é utilizado para descrever a adsorção em soluções aquosas, em especial com carvão ativado. (BASTIANI, 2018) Além disso, o fato de elas apresentarem dois parâmetros torna mais fácil a sua utilização. As equações de isotermas envolvendo três ou mais parâmetros dificilmente são utilizadas por requererem o desenvolvimento de métodos não lineares, contudo alguns autores o fizeram em seus trabalhos. (LIMA et al., 2012; MELO et al., 2013)

- Isoterma de Langmuir

A equação modelo de Langmuir é uma das equações mais utilizadas para representação de processos de adsorção, esta, por sua vez, apresenta os seguintes

pressupostos:

- Existe um número definido de sítios;
- Os sítios têm energia equivalente, e as moléculas adsorvidas não interagem umas com as outras;
- A adsorção ocorre em uma monocamada;
- Cada sítio pode comportar apenas uma molécula adsorvida.

A Equação 5 representa a isoterma de Langmuir (LANGMUIR, 1916):

$$q_e = \frac{K_L q_{m\acute{a}x} C_e}{1 + K_L C_e} \quad (5)$$

Onde a constante de Langmuir indica a natureza da adsorção. Considera-se desfavorável ($K_L < 1$), linear ($K_L = 1$), favorável ($0 < K_L < 1$) ou irreversível ($K_L = 0$).

- Modelo de Freundlich

O modelo proposto por Freundlich foi um dos primeiros a equacionar a relação entre a quantidade de material adsorvido e a concentração do material na solução em um modelo com características empíricas. Esse modelo empírico pode ser aplicado a sistemas não ideais, em superfícies heterogêneas e adsorção em multicamada. Um valor de n ($1 < n < 10$) indica que o processo de adsorção é favorável. A equação da isoterma de Freundlich assume a forma: (FREUNDLICH, 1906)

$$q_e = K_f C_{eq}^{\frac{1}{n}} \quad (6)$$

3.7 Contaminantes emergentes: Hormônio 17 β -Estradiol

Atualmente, a avaliação dos efeitos dos inúmeros contaminantes naturais e sintéticos que podem estar presentes em águas naturais em baixas concentrações é ainda um grande desafio. Mesmo presentes em pequenas concentrações, os contaminantes emergentes podem interferir no sistema endócrino de humanos e de outros animais, afetando a saúde, o crescimento e a reprodução. O hormônio natural 17 β -estradiol, por exemplo, está presente principalmente na terapia de reposição hormonal. Essas substâncias, ao serem consumidas, passam por processos metabólicos, onde algumas se acumulam em tecidos que possuem afinidade e outras são eliminados do organismo pela urina em sua forma biologicamente ativa, e em menor proporção, por meio das fezes. (KABIR et. al., 2015). Criações industriais de animais, como bovinos e suínos, bem como os efluentes das estações de

tratamento de esgotos domésticos, são as principais fontes de 17β -estradiol para o ambiente. (FERNANDES et al, 2011)

Diversos estudos já foram realizados mostrando efeitos adversos associados a desreguladores endócrinos em águas residuais, trazendo uma série de problemas para a saúde animal e para os seres humanos. Assim, o 17β -estradiol pode causar câncer de mama e testículo, alterações hormonais, diminuição da fertilidade masculina e outros problemas de saúde (SANTEN et al., 2015) (OLIVEIRA, 2021). Sendo necessário buscar novas tecnologias para remover ou degradar os desreguladores endócrinos presentes na natureza.

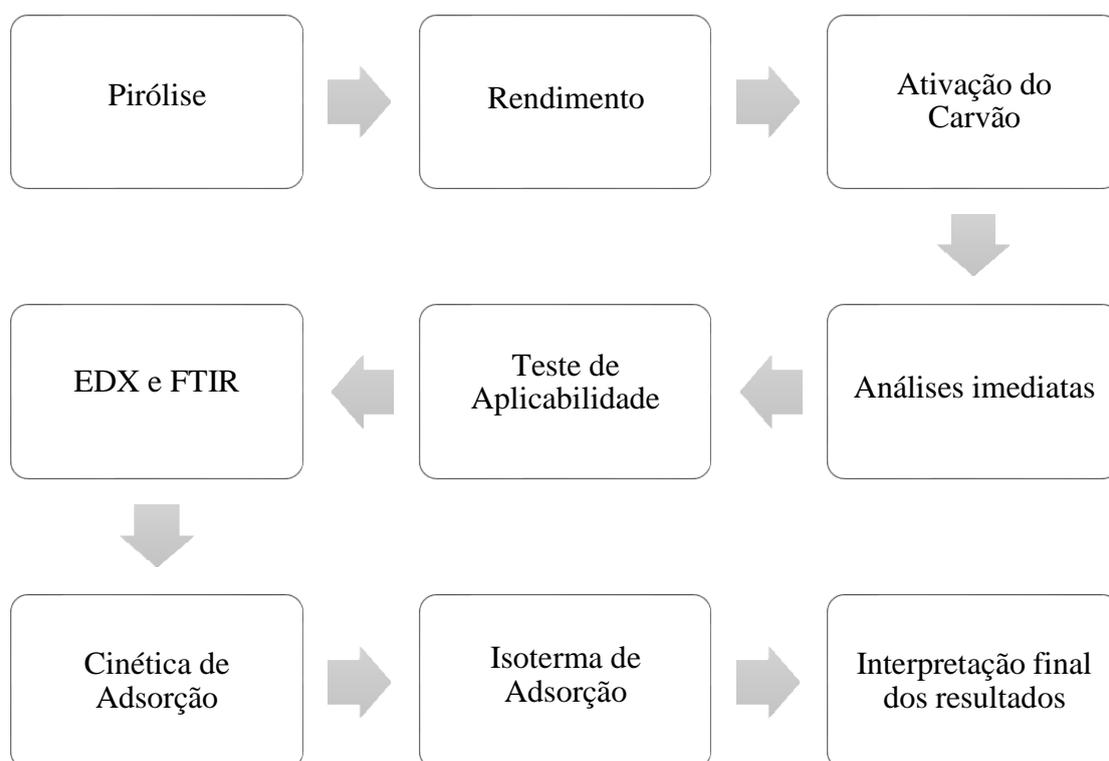
Estudos voltados para remoção do hormônio 17β -Estradiol também foram realizados. Como os YIN et al. 2018, que estudaram biocarvões magnéticos ativados sintetizados para remoção do hormônio. O carvão produzido a 700°C apresentou a maior capacidade de adsorção seguido pelos modelos pseudo-segunda ordem e isotérmico de Langmuir. Da mesma forma, em estudos realizados por GUO et al. em 2022, foi avaliado a viabilidade da aplicação de biocarvão de palha de milho e biocarvão de lodo desidratado para reduzir o 17β -estradiol (E2) de soluções aquáticas por adsorção. Os resultados experimentais mostraram que a cinética de adsorção e o comportamento isotérmico de E2 nos dois biocarvões foram bem descritos pelos modelos de pseudo-segunda ordem e de Langmuir. Outro estudo, como LIU et al, 2020, testou cinco biocarvões derivados da vagem de lótus para comparar a capacidade de adsorção de E2 de solução aquosa. Os resultados experimentais demonstraram que o modelo de pseudo segunda ordem ajustou-se melhor aos dados.

Wang, et al. em 2017 apresentaram os resultados da investigação da produção do biocarvão de palha de arroz produzido em três temperaturas de pirólise (400 , 500 e 600°C) para adsorção do 17β -estradiol. Os resultados cinéticos e isotérmicos ilustraram que o processo de adsorção pode ser bem descrito pelos modelos de pseudo-segunda ordem e de Freundlich. Comparado ao biochar de baixa temperatura, o biochar de alta temperatura exibiu uma melhor capacidade de adsorção de E2 em solução aquosa, indicando que tinha um maior potencial para o controle da poluição por E2.

4. METODOLOGIA

Nesse tópico será discutida a metodologia utilizada durante o desenvolvimento desse trabalho, conforme o fluxograma apresentado na Figura 2. Inicialmente foi realizada a pirólise, onde foram analisadas quatro condições diferentes para produção do biochar. Produzido o biochar, foi possível calcular o seu rendimento e realizar a ativação físico-química do biochar, com o intuito de tornar as características desse material ainda mais atrativas para o processo de adsorção. Sequencialmente foi realizada uma série de análises imediatas, visando a determinação dos teores de umidade, cinzas, materiais voláteis e de carbono fixo. Com o intuito de determinar o carvão ativado com maior aplicabilidade para adsorção, foi realizado um teste de aplicabilidade. De posse do resultado do teste de aplicabilidade foram aplicadas as seguintes técnicas: EDX, determinando a composição semiquantitativa inorgânica presente na amostra, e o FTIR, onde foi possível determinar os grupos funcionais presentes no carvão ativado. Com todas as análises feitas, foram realizados experimentos de cinética e isotermas de adsorção com o objetivo de determinar os modelos que melhor representem a adsorção, o tempo de equilíbrio da reação, além de avaliar o potencial adsorptivo da amostra.

Figura 2 - Fluxograma das etapas do projeto.



Fonte: Autor, 2023

4.1 Materiais

Neste trabalho foi utilizado o hormônio 17β -estradiol como adsorvato. O material adsorvente é o resíduo lignocelulósico industrial (lignina, celulose e hemicelulose), cedido pela empresa GranBio, localizada em São Miguel dos Campos, Alagoas, a qual produz álcool de segunda geração.

4.2 Métodos

4.2.1 Análise Termogravimétrica (TG) e Termogravimetria Derivada (DTG)

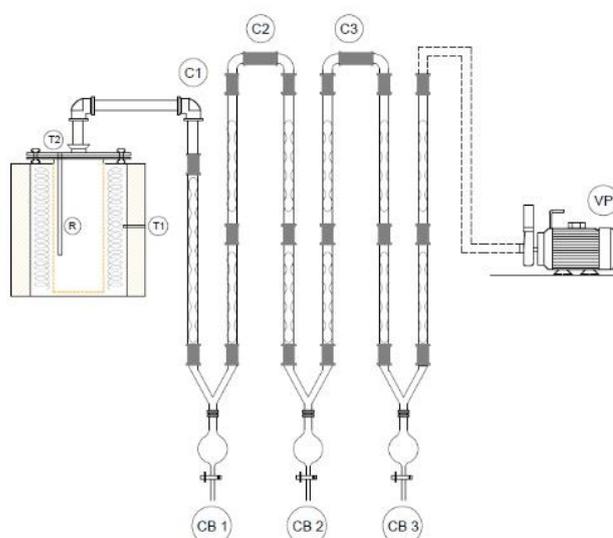
A análise térmica é um grupo bem estabelecido de técnicas para obter informações sobre os efeitos da temperatura em materiais de todos os tipos. O comportamento térmico da biomassa é importante para projetar um processo de pirólise em escala industrial. Esse estudo é realizado com frequência por meio de análise térmica, cujas técnicas comumente utilizadas são a análise termogravimétrica (TG/DTG).

A termogravimetria (TG) é uma técnica em que as mudanças na massa de uma amostra são medidas em função do tempo ou temperatura em um programa de temperatura e atmosfera controlados. Com os dados do TG é possível analisar o material enquanto seus padrões de decomposição, determinar seus parâmetros da análise aproximada, analisar sua estabilidade térmica e determinar sua cinética de reação. Nas análises termogravimétrica e termogravimétrica derivada foi utilizado uma termobalança, verificando o comportamento e a estabilidade térmica a partir do aumento da temperatura. Foram pesadas aproximadamente 10mg da amostra, utilizando uma taxa de aquecimento de $10^{\circ}\text{C}/\text{min}$, em atmosfera inerte (gás nitrogênio) com vazão de $40\text{mL}/\text{min}$, até uma temperatura final de 1000°C . (SANTOS, 2022)

4.2.2 Pirólise

A pirólise do resíduo industrial foi realizada no Laboratório de Sistema de Separação e Otimização de Processos (LASSOP), utilizando um forno tubular, modelo JUNG de 1KW (LT6 2010). O fluxo dos gases foi obtido por uma bomba a vácuo, acoplada a um sistema de resfriamento, composto por onze condensadores de vidro em série, conforme a Figura 3. Foi avaliada a influência das seguintes variáveis: taxa de aquecimento, 5 e $15^{\circ}\text{C}/\text{min}$; e, temperatura, 500 e 700°C , durante os 120 minutos do experimento.

Figura 3 – Esquematização da pirólise



Fonte: Autor, 2023

4.2.3 Rendimento

O rendimento em sólido (*biochar*), líquido (*bio-óleo*) e gás (*biogás*) foi obtido conforme as Equações 7, 8 e 9, respectivamente.

$$R_{\text{sólido}} = \frac{m_{\text{carvão}}}{m_{\text{inicial}}} \times 100\% \quad (7)$$

$$R_{\text{líquido}} = \frac{m_{\text{óleo}}}{m_{\text{inicial}}} \times 100\% \quad (8)$$

$$R_{\text{gás}} = 100\% - (R_{\text{sólido}} + R_{\text{líquido}}) \quad (9)$$

sendo $m_{\text{carvão}}$ e $m_{\text{óleo}}$, a massa do *biochar* e do *bio-óleo* obtida na pirólise; m_{inicial} a massa inicial do resíduo lignocelulósico; e, $R_{\text{sólido}}$, $R_{\text{líquido}}$ e $R_{\text{gás}}$, o rendimento em sólido, líquido e gás, respectivamente.

4.2.4 Trituração e Peneiramento

Após a obtenção do *biochar*, foi realizada a trituração e o seu peneiramento com o intuito de padronizar as análises de caracterização. A trituração foi feita manualmente com o auxílio de um almofariz e um pistilo de porcelana, seguida do peneiramento, obtendo um *biochar* com granulometria $\leq 0,212\text{mm}$, conforme observado na Figura 4.

Figura 4 – (A) Biochar antes do peneiramento e (B) Biochar com granulometria $\leq 0,212\text{mm}$.



Fonte: Autor, 2023

4.2.5 Ativação do Carvão

Após o procedimento de pirólise, o *biochar* obtido foi ativado com a proporção fixa de 1:3 de carbonato de potássio (K_2CO_3). A mistura foi transferida para um reator de ativação a vácuo, conforme Figura 5, a 600°C , sob uma pressão de 20 kPa, durante 1 hora. Após a ativação, foi realizada a lavagem do carvão ativado produzido até que atingisse um pH igual a 7, com o intuito de retirar excesso de K_2O formado pela decomposição do K_2CO_3 .

Figura 5 – Fotografia do sistema de ativação do carvão contendo: reator, controlador de temperatura e bomba de vácuo.



Fonte: Autor, 2023

De acordo com HIMMELBLAU E RIGGS (2014), o balanço de massa fundamenta-se no princípio de conservação da massa. Logo, foi possível obter

dados que representam o rendimento do processo. Com isso para cada carvão ativado obtido foi efetuada a determinação do rendimento pela equação (10).

$$R(CA) = \frac{m_{CA}}{m_i(\text{mistura})} \times 100 \quad (10)$$

Onde “ m_{CA} ” é a massa do carvão ativado obtida após o processo de carbonização; $m_{i(\text{mistura})}$ é a massa da mistura antes da carbonização, ambas em base seca.

4.2.6 Análises Imediatas

4.2.6.1 Determinação do Teor de Umidade

O teor de umidade foi determinado de acordo com a adaptação da NBR 14929 da ABNT, Equação 11. Para tal, 2g da amostra, obtida em uma balança analítica, foi seca em estufa a 105°C durante 24 horas.

$$\text{Umidade (\%)} = \frac{100 \times (W_i - W_f)}{(W_i - W_c)} \quad (11)$$

Sendo: W_i e W_f representam, respectivamente, a massa inicial da amostra e da cápsula, antes e após a secagem; e, W_c , a massa da cápsula.

4.2.6.2 Determinação do Teor de Cinzas

O teor de cinzas foi determinado de acordo com Equação 12, seguindo a norma NBR16586 da ABNT. Sendo: C_z , o teor de cinzas em base úmida (%); e, m_{amostra} , m_1 e m_2 , a massa da amostra, do cadinho e cadinho com resíduo após a queima (g), respectivamente.

$$C_z(\text{bu}) = \frac{(m_2 - m_1)}{m_{\text{amostra}}} \times 100 \quad (12)$$

4.2.6.3 Determinação do Teor de Materiais Voláteis

O teor de materiais voláteis foi determinado segundo a Norma NBR A16587 da ABNT, Equação 13, sendo: C_v , o teor de voláteis (%); m_{amostra} , m_1 e m_2 , a massa (g) da amostra, do cadinho e cadinho com resíduo após a queima.

$$C_v(\text{bu}) = \frac{(m_2 - m_1)}{m_{\text{amostra}}} \times 100 \quad (13)$$

4.2.6.4 Determinação do Teor de Carbono Fixo

O teor de carbono fixo foi determinado de modo indireto, Equação 14, onde C_f , C_z e C_v representam o teor de carbono fixo, cinzas, e, voláteis (%),

respectivamente.

$$C_f = 100 - (C_z(\text{bu}) + C_v(\text{bu})) \quad (14)$$

4.2.7 Espectroscopia de Fluorescência de Raios-X por Energia Dispersiva (EDX)

A espectroscopia fluorescência de raios-x por energia dispersiva é uma técnica analítica que realiza uma varredura geral nos raios X emitidos pela amostra em resposta à incidência de partículas carregadas. Com o intuito de identificar os materiais inorgânicos presentes na biomassa, no biochar e no carvão ativado foi realizada essa técnica. A análise foi realizada em um espectrofotômetro de fluorescência de raios-X por energia dispersiva (Marca SHIMADZU, Modelo EDX-7000/8000) que determina a composição semi quantitativa, apresentando os elementos inorgânicos contidos na amostra.

4.2.8 Espectroscopia no Infravermelho com Transformada de Fourier (FTIR)

A técnica de Espectroscopia de Infravermelho com Transformada de Fourier (FTIR) foi aplicada para identificar os grupos funcionais e as ligações presentes na estrutura do *biochar* e do carvão ativado. Para essa análise foi utilizado o espectrofotômetro marca THERMOFISHER, modelo Nicolet iS10, e o método da transmitância com pastilhas de KBr, em espectro de infravermelho (4000 cm^{-1} a 400 cm^{-1}).

4.2.9 Teste de Aplicabilidade

Com o intuito de identificar o carvão ativado com maior capacidade adsorvente foi realizado um teste de aplicabilidade. Para este teste foram utilizados os carvões ativados como adsorventes, produzidos a partir do resíduo lignocelulósico. A adsorção foi realizada em triplicata, empregando 50mL de uma solução do corante azul de metileno a 100 mg/L e 50 mg de carvão ativado. Em seguida, foi retirada uma alíquota da solução adsorvida e realizada a leitura imediata no espectrofotômetro, no comprimento de onda de 665nm.

4.2.10 Cinética de Adsorção

Para obter a cinética de adsorção, realizada em triplicata, foram adicionados 50mL da solução do hormônio 17β -estradiol, nas concentrações (10, 15 e 20 mg/L), com 0,05g de carvão ativado. A mistura foi mantida no *shaker* por 120 minutos,

sendo coletadas amostras da solução (sem o adsorvente), para leitura no espectrofotômetro no comprimento de onda de 280 nm. Os modelos foram previstos segundo as Equações 1 e 3.

$$\text{Modelo de pseudo-primeira ordem} \quad \frac{dq_t}{dt} = k_1(q_e - q_t) \quad (1)$$

$$\text{Modelo de pseudo-segunda ordem} \quad \frac{dq_t}{dt} = k_2(q_e - q_t)^2 \quad (3)$$

4.2.11 Isoterma de Adsorção

Os experimentos de isoterma de adsorção foram realizados em triplicata, utilizando 0,05g de carvão ativado, e 50 mL da solução do hormônio 17 β -estradiol, a uma concentração inicial de 7,5 a 20 mg/L. A mistura foi mantida no *shaker* por 120 minutos, a agitação constante, nas temperaturas de 30 e 40°C. Ao final, foram coletadas amostras, sem a presença do adsorvente, para leitura no espectrofotômetro. Os modelos de isoterma foram previstos segundo as Equações 5 e 6.

$$\text{Isoterma de Langmuir} \quad q_e = \frac{K_L q_{m\acute{a}x} C_e}{1 + K_L C_e} \quad (5)$$

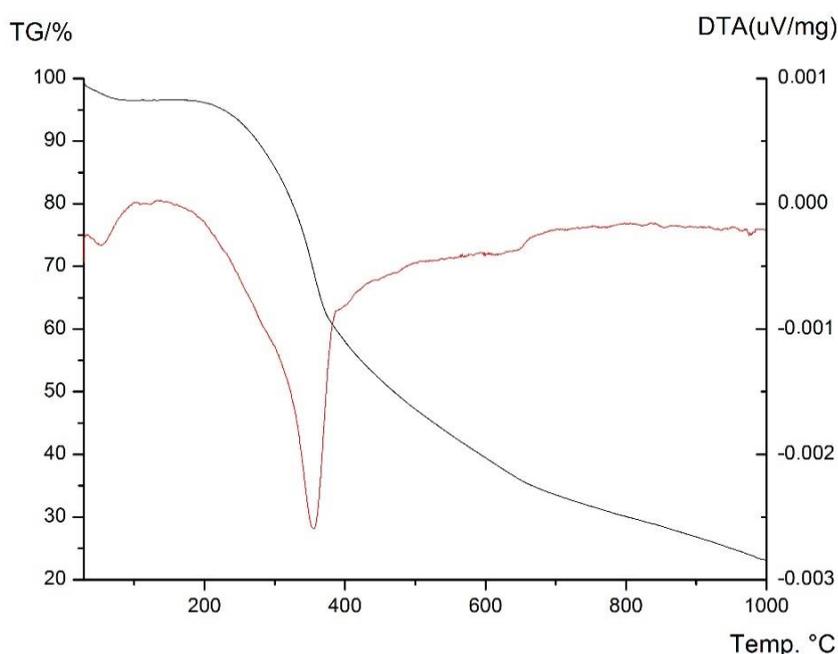
$$\text{Isoterma de Freundlich} \quad q_e = K_f C_{eq}^{\frac{1}{n}} \quad (6)$$

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 Análise Termogravimétrica (TG) e Termogravimetria Derivada (DTG)

Os resultados obtidos na análise termogravimétrica da biomassa, levando em consideração a perda de massa com o aumento da temperatura são apresentados na Figura 9.

Figura 6 – Análise térmogravimétrica da biomassa.



Fonte: Autor, 2022

Com base nos dados obtidos observa-se que no início da degradação, térmica, entre 32°C e 100°C tem-se uma zona de desidratação, onde ocorre a perda de água, evidenciada pela depressão observada na curva da DGT. Analisando o gráfico, a região entre 100°C e 200°C não apresenta perda de massa significativa. Após 200°C até 500°C, observa-se o início da degradação da hemicelulose, celulose e lignina, tendo sua maior degradação na temperatura de 360°C, conforme a literatura. Após 500°C a degradação térmica da biomassa torna a perda de massa sem sofrer grandes alterações, correspondendo a carbonização da biomassa em altas temperaturas. (SANTOS, 2022)

5.2 Pirólise

O rendimento dos produtos obtidos (biochar, bio-óleo e bio-gás) na pirólise foi calculado de acordo com as Equações 7, 8 e 9, considerando a média das

triplicatas, e seus respectivos resultados estão dispostos na Tabela 1.

Tabela 1 – Rendimento dos *biochars* obtidos na pirólise.

Condições Operacionais		Rendimento (%)		
Temp. (°C)	Taxa aquecimento (°C/min)	<i>Biochar</i>	<i>Bio-óleo</i>	<i>Bio-gás</i>
500	5	48,58 ± 2,10	33,27 ± 1,47	18,15 ± 3,24
500	15	46,91 ± 2,78	33,05 ± 0,37	20,04 ± 2,73
700	5	33,14 ± 1,11	32,86 ± 0,38	34,00 ± 0,73
700	15	29,95 ± 0,65	39,03 ± 1,90	31,02 ± 2,55

FONTE: Autor, 2022

Os parâmetros de processo como temperatura, taxa de aquecimento e natureza da matéria-prima são fatores determinantes para o rendimento de carvões ativados. Para a faixa estudada, a menor a taxa de aquecimento e menor temperatura forneceram uma maior quantidade de produtos sólidos (*biochar*). Portanto, o maior rendimento em *biochar* (48%) foi obtido a taxa de aquecimento de 5°C/min e a temperatura de 500°C, considerado eficiente, uma vez que os sistemas tradicionais de produção apresentam um rendimento médio entre 25% e 33%. (MACEDO, 2020)

5.3 Ativação Físico-Química

Os parâmetros do processo como temperatura, taxa de aquecimento e natureza da matéria-prima são fatores determinantes para o rendimento de carvões ativados. No processo de ativação, realizado em triplicata, foi possível obter o rendimento do carvão ativado produzido, Tabela 2.

Tabela 2 – Rendimento do carvão ativado.

Condições Operacionais		Rendimento (%)
Temp. (°C)	Taxa aquecimento (°C/min)	<i>Carvão ativado</i>
500	5	55,30 ± 0,09
500	15	53,48 ± 0,11
700	5	62,69 ± 0,02
700	15	75,46 ± 0,09

FONTE: Autor, 2022

Através da Tabela 2 observa-se que os carvões ativados produtivos a elevadas temperaturas possuem os maiores rendimentos, isso devido a formação,

durante a carbonização, de uma estrutura mais grafitizada, tornando mais estável e consequentemente com maiores rendimentos. Ademais, a estabilidade termica dos carvões pode estar associada à composição química do precursor, principalmente em relação ao teor de lignina, pois, em geral, materiais com grande quantidade deste componente, apresentam uma melhor estabilidade térmica e consequentemente maiores rendimentos. (MORAIS, 2019)

5.4 Análise Imediata

A Tabela 3 apresenta o teor de cinzas, voláteis e carbono fixo do resíduo lignocelulósico, *biochar* e carvão ativado, realizados em triplicata, Equações 11 a 14..

Tabela 3 – Resultados das análises imediatas.

Material	Condições Operacionais		Teor de Umidade (%)	Teor de Voláteis (%)	Teor de Cinzas (%)	Teor de Carbono (%)
	Temp. (°C)	Taxa de aquecimento (°C/min)				
Resíduo Lignocelulósico**			7,34±0,36	79,45±0,07	3,95±0,35	16,60±0,28
<i>Biochar</i> A*	500	5	3,87±0,31	70,20±0,42	10,25±0,78	19,55±1,20
<i>Biochar</i> B*	500	15	2,92±0,05	66,00±4,24	12,15±3,04	21,85±1,20
<i>Biochar</i> C*	700	5	4,31±0,06	60,90±0,28	11,15±0,64	27,85±0,92
<i>Biochar</i> D*	700	15	7,69±0,03	65,10±3,25	11,55±3,75	23,35±0,49
Carvão ativado A*	500	5	7,04±0,26	77,67±0,38	12,07±2,37	10,26±0,75
Carvão ativado B*	500	15	6,99±0,02	62,05±0,03	15,15±0,09	22,08±0,12
Carvão ativado C*	700	5	3,21±0,50	63,74±1,67	15,13±1,26	21,13±1,93
Carvão ativado D*	700	15	3,69±1,11	66,62±3,15	16,47±3,54	16,91±0,69

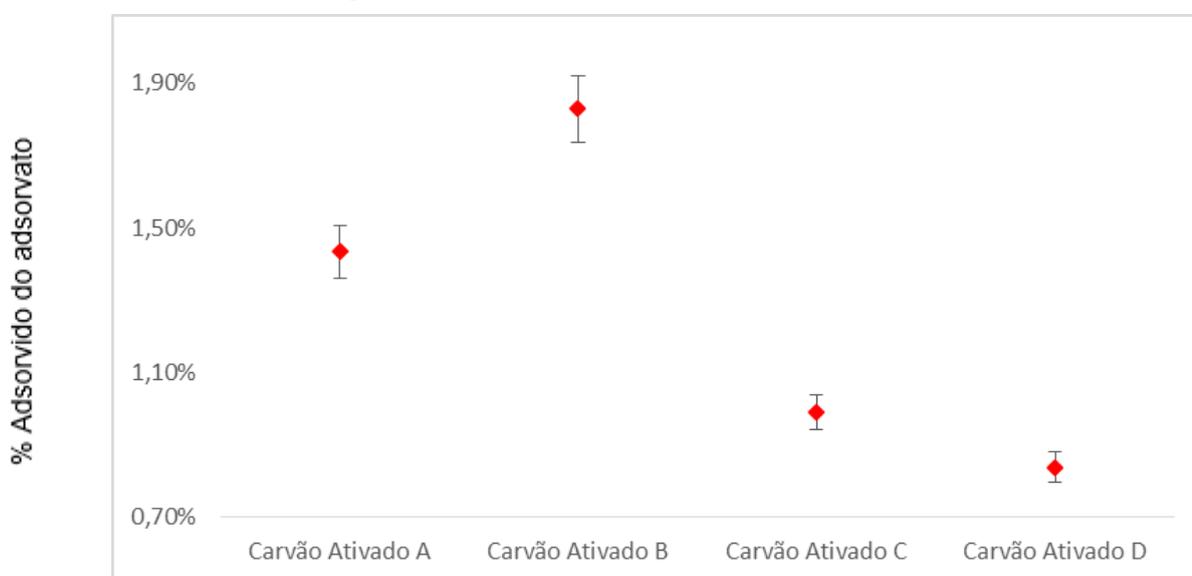
FONTE: * Autor, 2023; ** Sandes, 2019

Biochar e de carvão ativado apresentam baixa umidade, como esperado. Os baixos teores de cinzas sugerem correlação positiva com a produção de *biochar* e carvão ativado. Segundo PERES (2020), quanto menor o teor de cinzas, melhor a adsorção promovida. As temperaturas de pirólise são inversamente proporcionais ao teor de matéria volátil e diretamente proporcional à quantidade de carbono fixo. Isto se deve ao aumento nas concentrações de matéria volátil liberado pela cana-de-açúcar, com o aumento de temperatura da pirólise. (MACEDO, 2020)

5.5 Teste de Aplicabilidade

No teste de aplicabilidade foi obtido o percentual que cada carvão ativado absorveu, desta forma o carvão que absorvesse uma maior quantidade de adsorvato seria utilizado para os demais experimentos. Feita a análise, foi observado que diferentes temperaturas de pirólise influenciaram na morfologia dos carvões produzidos e que o carvão ativado com maior capacidade de adsorção foi o produzido a 500 °C com taxa de aquecimento de 15°C/min (Carvão ativado B), Figura 10.

Figura 7 – Teste de aplicabilidade dos carvões ativados.



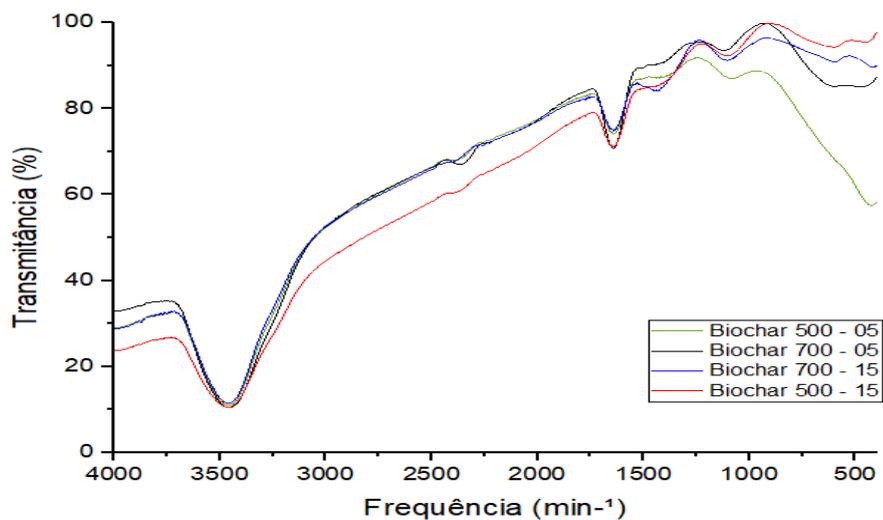
FONTE: Autor, 2023.

O aumento de temperatura de pirólise pode levar a perda de grupos funcionais, que serviriam de sítios de adsorção, levando a uma diminuição da capacidade adsorptiva, DING (2014).

5.6 Espectroscopia no Infravermelho com Transformada de Fourier (FTIR)

Os principais grupos funcionais do *biochar*, normalmente são carbonos aromáticos e heterocíclicos. Contudo, dependendo das características da biomassa e das condições utilizadas na pirólise, os grupos funcionais presentes no *biochar* podem variar, influenciando diretamente no processo de adsorção (MACEDO, 2020).

Figura 8 – Resultado do FTIR.



Fonte: Autor, 2023

A partir do gráfico apresentado na Figura 11, pode-se observar os seguintes grupos funcionais: anéis aromáticos, em torno de 600 cm^{-1} ; cetonas, cadeias aromáticas com duplas ligações, os ésteres e o ácido carboxílico, entre as bandas de 1750 e 1500 cm^{-1} ; a região em torno de 1500 apresenta características de água dissolvida e grupamento OH superficial, aminas e amidas, em torno de 2300 cm^{-1} . Além disso, na região de 3500 cm^{-1} pode ser atribuída a deformações de estiramento de grupos O-H, normalmente associadas à presença de ligação hidrogênio. Em geral, a presença de grupos O-H de grupos carboxílicos em carvões ativados se caracteriza por forte adsorção (PERES, 2020).

Com a mudança da temperatura e/ou taxa de aquecimento de pirólise, alguns picos foram alterados. Assim, os grupos funcionais de superfície do biocarvão podem ser influenciados pela temperatura de pirólise e a mudança das propriedades do biocarvão podem causar alguns impactos na adsorção do hormônio 17β -estradiol, de forma similar como ocorreu com o estudo dos Wang, et al. em 2017.

5.7 Espectroscopia de fluorescência de Raio X por energia dispersiva (EDX)

Baseado no teste de aplicabilidade, foi realizada a análise EDX do resíduo lignocelulósico, do *biochar* e carvão ativado com maior capacidade adsortiva, produzido a $500\text{ }^{\circ}\text{C}$ e taxa de aquecimento de $15^{\circ}\text{C}/\text{min}$, Tabela 4.

Tabela 4 – Resultados da análise EDX

Elementos	Resíduo Lignocelulósico	Biochar	Carvão ativado
Ca	40,37%	15,75%	18,78%
Si	28,75%	24,33%	18,78%
Fe	11,02%	38,62%	10,86%
K	7,52%	4,83%	36,10%
S	5,62%	2,33%	0,71%
Ti	4,66%	-	2,30%
Cu	0,62%	0,30%	0,18%
Mn	0,40%	0,31%	-
P	0,39%	1,20%	0,40%
Cr	0,29%	-	-
Zn	0,27%	-	0,16%
Zr	0,10%	-	-

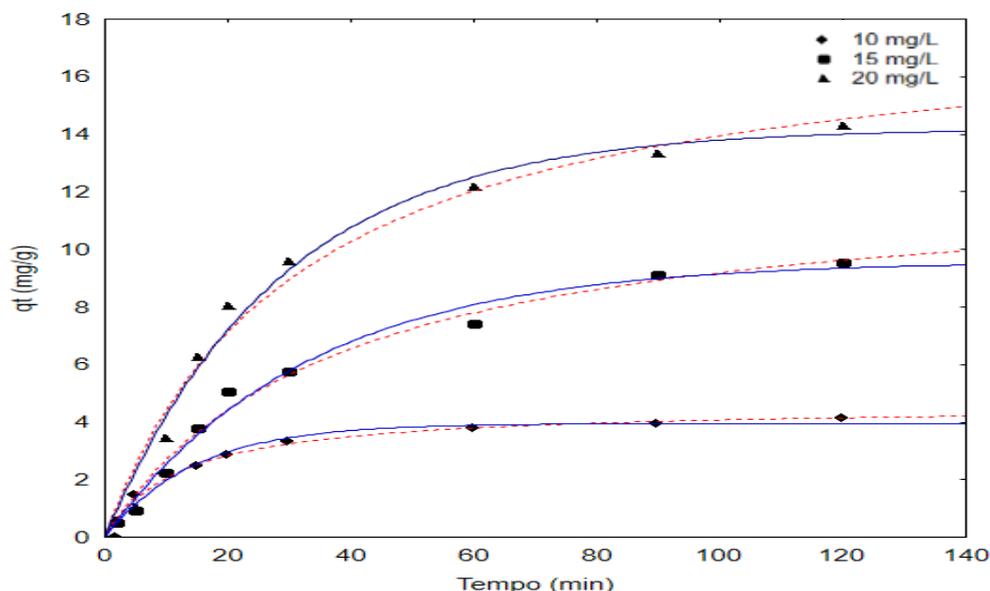
Fonte: Autor, 2023

As composições predominantes nas amostras foram: cálcio e silício, seguidos do ferro e potássio. A composição de *biochar* e do carvão ativado são similares, no entanto, para o carvão ativado, o teor de potássio aumentou significativamente após ativação química do *biochar* com K_2CO_3 . A biomassa possui uma quantidade significativa de enxofre, devido à utilização desse composto na nutrição, durante o ciclo solo-planta. Boa parte da composição dos elementos químicos encontrados no *biochar* e carvão ativado estão relacionados à química dos solos onde se desenvolveu a biomassa original (PERES, 2020).

5.8 Cinética de Adsorção

O estudo da cinética de adsorção foi determinado com objetivo de mensurar a taxa de adsorção do 17β -estradiol no carvão ativado B, nas concentrações de 10, 15 e 20 mg/L. A Figura 12 apresenta o gráfico com o efeito do tempo de contato do hormônio, na adsorção para os modelos de pseudo primeira e segunda ordem.

Figura 9 – Modelos cinéticos de pseudo-primeira ordem (--) e pseudo-segunda ordem (---) do hormônio 17 β -estradiol em três concentrações diferentes como o carvão ativado B.



Fonte: Autor, 2023

Os estudos cinéticos revelaram que o tempo de equilíbrio da reação foi aproximadamente 90 minutos e que os ajustes proporcionados pelo modelo pseudo-segunda ordem é o mais adequado ao processo de adsorção do 17 β -Estradiol no carvão ativado B (produzido a 500 °C e taxa de aquecimento de 15°C/min), em todas as concentrações estudadas. Provavelmente, a interação de cada molécula de 17 β -estradiol com a superfície do carvão ativado ocorre pela ocupação de dois sítios do material (ZANELLA, 2021). A Tabela 5 apresenta os dados das constantes cinéticas e dos valores estatísticos referentes aos ajustes dos modelos (R^2).

Tabela 5 - Parâmetros cinéticos da adsorção do 17 β -estradiol no carvão ativado B.

Conc. (ppm)	q_e exp (mg/g)	Pseudo-primeira ordem			Pseudo-segunda ordem		
		q_e cal (mg/g)	K1 (min ⁻¹)	R ²	q_e cal (mg/g)	K2 (min ⁻¹)	R ²
10	4,148	3,955	0,063	0,982	4,576	0,017	0,984
15	9,559	9,587	0,031	0,993	12,570	0,002	0,993
20	14,286	14,208	0,036	0,992	18,311	0,002	0,989

Fonte: Autor, 2023.

Os resultados experimentais obtidos por diversos autores para remoção do hormônio 17 β -Estradiol em meio aquoso mostraram que a cinética de adsorção em todos os biocarvões foram bem descritos pelo modelo de pseudo-segunda ordem. Esses autores utilizam como adsorvente biocarvões oriundos de diferentes fontes, como os YIN et al. 2018, que utilizaram biocarvões magnéticos ativados sintetizados;

já GUO, et al. 2022, utilizou o biocarvão de palha de milho (CSB) e biocarvão de lodo desidratado (DSB). Os LIU, et. al. 2020, testaram cinco biocarvões derivados da vagem de lótus (LSP); Wang, et al. em 2017 utilizaram biocarvão de palha de arroz produzido em três temperaturas de pirólise (400, 500 e 600 °C) e Yin, et al. 2019 estudaram um novo nanocompósito de atapulgita/biocarvão (ATP/BC) foi sintetizado via ativação e carbonização simultâneas.

Os valores obtidos para as constantes da taxa de adsorção de pseudo-primeira e pseudo-segunda são coerentes com a literatura, tendo em vista que outros estudos, como GUO et al 2022, apresentaram resultados similares.

5.9 Isoterma de Adsorção

A Figura 13 apresenta os resultados da aplicação dos modelos de isotermas de Langmuir e Freundlich, a 30°C e 40°C. O processo apresenta características endotérmicas, uma vez que a quantidade adsorvida no equilíbrio aumenta com o aumento da temperatura. A adequação dos modelos foi avaliada com base nos parâmetros obtidos (K_L , K_f , n) e no coeficiente de correlação (R^2). O modelo de Langmuir foi o que melhor se ajustou aos dados de adsorção do 17 β -estradiol em diferentes temperaturas, Tabela 6

Tabela 6 - Parâmetros das isotermas de adsorção em diferentes temperaturas.

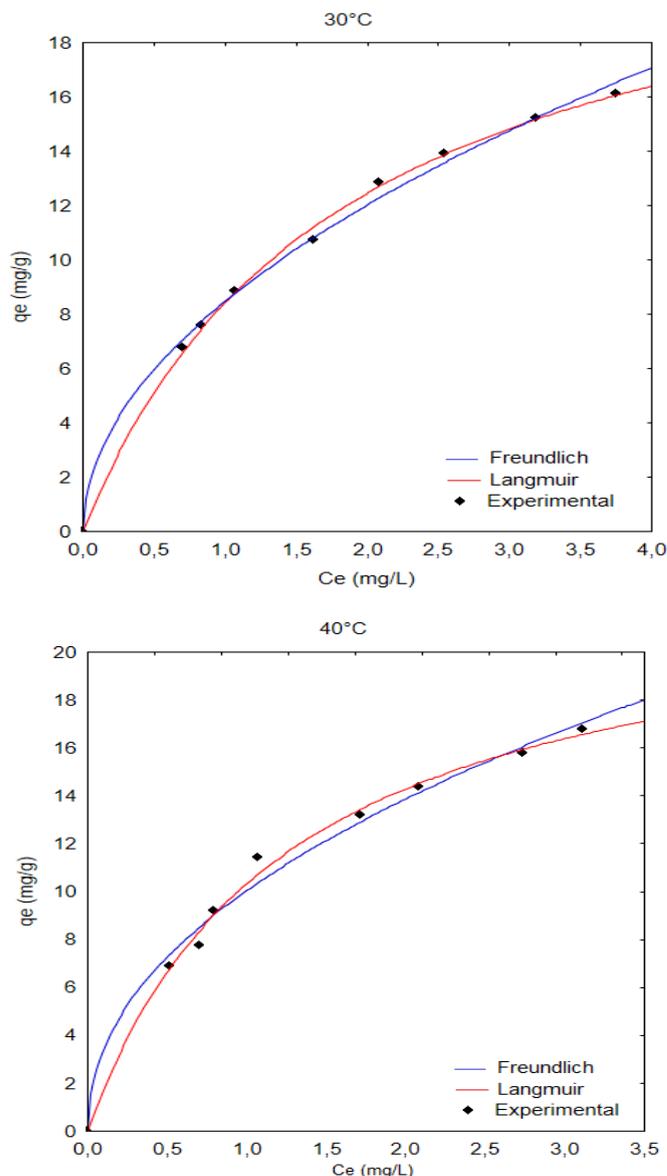
Modelos	Parâmetros	30°C	40°C
	$q_{m\acute{a}x}$ (mg/g)	23,996	23,203
Langmuir	K_L (L/mg)	0,539	0,802
	R^2	0,999	0,998
	K_f	8,466	10,043
Freundlich	N	1,975	2,144
	R^2	0,998	0,995

Fonte: Autor, 2023

O coeficiente de correlação (R^2) indicou que a isoterma de Langmuir apresenta um melhor ajuste com os dados da adsorção e nas temperaturas investigadas. A quantidade adsorvida no equilíbrio diminui com o aumento da temperatura porque o aumento da temperatura aumenta a solubilidade do 17 β -

estradiol; assim, as forças de interação entre água e hormônio são mais fortes do que com carvão ativado.

Figura 10 – Modelos de isotermas de adsorção do 17 β -estradiol no carvão ativado B, a 30°C e 40°C.



Fonte: Autor, 2023

Segundo ZANELLA (2021), a constante de Langmuir indica a natureza da adsorção, sendo considerada favorável com K_L entre 0 e 1. Para a isoterma de Freundlich, um valor de n entre 1 e 10 indica um processo de adsorção favorável. Para ambos os modelos o adsorvente utilizado favoreceu a adsorção do hormônio.

Na literatura, a maioria dos estudos realizados apresentaram como resultados experimentais que o comportamento isotérmico do hormônio 17 β -Estradiol nos biocarvões testados foram bem descritos pelo modelo de Langmuir, como é o caso dos estudos feitos por GUO et al. em 2022 e Yin, et al. em 2019.

Já Wang, et al. em 2017 apresentou como resultados da investigação, da produção do biocarvão de palha de arroz produzido em três temperaturas de pirólise (400, 500 e 600 °C) para adsorção do 17 β -estradiol (E2), que o processo pode ser melhor descrito pelo modelo de Freundlich.

Os valores obtidos para as constantes isotermas são coerentes com a literatura, tendo em vista que outros estudos, como GUO et al, 2022, apresentaram resultados similares.

6. CONCLUSÃO

Esse trabalho teve como objetivo estudar a eficiência do carvão ativado, produzido a partir do resíduo lignocelulósico da produção de álcool de 2G, como agente adsorvente na remoção do hormônio 17- β -estradiol. Para atingir esses objetivos, foi realizado o estudo da produção e caracterização do carvão ativado, produzido a partir do resíduo lignocelulósico da produção industrial de álcool de segunda geração, e sua aplicação como adsorvente do contaminante emergente, hormônio 17- β -estradiol. Trata-se de um hormônio feminino que pode levar a tumores ovarianos e feminilizantes adrenais, puberdade precoce feminina, doença hepática e ginecomastia masculina.

No processo de pirólise, para a faixa estudada (taxa de aquecimento, 5 e 15°C/min; e, temperatura, 500 e 700°C), o maior rendimento em *biochar* (48%) foi obtido à taxa de aquecimento de 5°C/min, e à 500°C. A análise imediata indicou: elevado teor de voláteis; e, baixos teores de carbono fixo, cinzas, e umidade, o que favorece a adsorção, em concordância com a literatura.

Os *biochars* produzidos apresentaram diversos grupos funcionais, incluindo a presença de O-H de grupos carboxílicos, que caracteriza forte adsorção. As substâncias presentes em maior quantidade foram cálcio, silício, ferro e potássio. O carvão ativado, apresentou maior percentual de potássio, devido a ativação, aumentando a área superficial e elevando a capacidade adsortiva. No teste de aplicabilidade obteve-se o carvão ativado produzido a 500°C e 15°C/min como o mais adequado para adsorção.

O estudo cinético mostrou que o equilíbrio de adsorção foi alcançado em torno de 90 minutos, sendo o modelo de pseudo-segunda ordem, o mais adequado para a adsorção do 17- β -estradiol no carvão ativado. A aplicação dos modelos de isotermas de adsorção indica que a adsorção segue preferencialmente o modelo descrito por Langmuir e baseado nos parâmetros obtidos, tem-se um processo favorável.

Com esses estudos foi possível concluir que o material estudado possui um atrativo potencial adsortivo, devido às características físico-químicas presentes. Deste modo, a pirólise, seguida de ativação do carvão produzido a partir do resíduo lignocelulósico industrial pode ser utilizado para a remoção do contaminante emergente 17- β -estradiol.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Bastian, M. C. Avaliação da remoção de diclofenaco de sódio em carvão ativado em pó superfino (CAP-S) e carvão ativado em pó (CAP). (Trabalho de conclusão do curso de Engenharia Sanitária e Ambiental). Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 2018.

Ding, W.; Dong, X.; Ime I.M.; Gao, B.; Ma L.Q. Pyrolytic temperatures impact lead sorption mechanisms by bagasse biochars. *Chemosphere*, v. 105, p. 68–74, 2014.

Duan, Q., Li, X., Wu, Z., Alsaedi, A., Hayat, T., Chen, C., Li, J. Adsorption of 17 β -estradiol from aqueous solutions by a novel hierarchically nitrogen-doped porous carbon. *Journal of colloid and interface science*, v. 533, p. 700-708, 2019.

Fernandes, A.N; Giovanela, M.; Almeida, C.A.P.; Esteves, V. I.; Sierra, M.M.D.; Grassi, M. T. Remoção dos hormônios 17 β -estradiol e 17 a estinilestradiol de soluções aquosas empregando turfa decomposta como material adsorvente. *Quim. Nova*, Vol. 34, No. 9, 1526-1533, 2011

Freitas, J. V.; Ruotolo, L. A. M.; Farinas, C. S. Adsorption of inhibitors using a CO₂-activated sugarcane bagasse fly ash for improving enzymatic hydrolysis and alcoholic fermentation in biorefineries. *Fuel*, v. 251, p. 1-9, 2019.

Freundlich, H. M. Over the adsorption in solution. *The Journal of Physical Chemistry*, v. 57, p. 385-470, 1906.

Guo W., Yue, J., Zhao, Q., Zhang, L., Lu, S. Comparison of 17 β -Estradiol Adsorption on Corn Straw- and Dewatered Sludge-Biochar in Aqueous Solutions. *Molecules*. 27(8): 2567, 2022.

Hadi, P.; Xu, M.; Ning, C.; Lin, C. S. K.; McKay, G. A critical review on preparation, characterization and utilization of sludge-derived activated carbons for wastewater treatment. *Chemical Engineering Journal*, v. 260, p. 895–906, 2015.

Himmelblau, D. M., & Riggs, J. B. *Engenharia Química: Princípios e Cálculos*. 8ª ed., LTC, 2014.

Kabir, E.R.; Rahman, M.S.; Rahman, I. A review on endocrine disruptors and their possible impacts on human health, *Environ. Toxicol. Pharmacol.* 40 (2015) 241– 258. <https://doi.org/10.1016/j.etap.2015.06.009>.

Lagergren, S. Zur theorie der sogenannten adsorption gelöster stoffe, *Kungliga Svenska Vetenskapsakademiens. Handlingar*, v. 24, n. 4, p. 1-39, 1898.

Langmuir, I. The dissociation of hydrogen into atoms. III. The mechanism of the reaction. *Journal of the American Chemical Society*, v. 38, n. 6, p. 1145-1156, abr./jun. 1916.

Laverde, M. P.; Salamanca, M.; Corrales, J. D. D.; Flórez, E.; Agredo J. S. Understanding the removal of an anionic dye in textile wastewaters by adsorption on ZnCl₂ activated carbons from rice and coffee husk wastes: A combined experimental and theoretical study. *Journal of Environmental Chemical Engineering*. v. 9, 2021.

Lei, R.; Feng, S.; Lauvaux, T. Country-scale trends in air pollution and fossil fuel CO₂ emissions during 2001-2018: confronting the roles of national policies and economic growth. *Environ. Res. Lett.* v.16, p.014006, 2021.

Lima, A. C. A. et al. Modified coconut shell fibers: A green and economical sorbent for the removal of anions from aqueous solutions. *Chemical Engineering Journal*, Fortaleza, v. 185-186, n. 15, 274-284, out./dez. 2012.

Liu, N., Liu, Y., Zeng, G., Gong, J., Tan X., JunWen, Liu, S., Jiang, L., Li, M., Yin, Z. Adsorption of 17 β -estradiol from aqueous solution by raw and direct/pre/post-KOH treated lotus seedpod biochar. *Journal of Environmental Sciences*, v. 87, p.10-23, 2020.

Macêdo, L. P. M. P. Viabilidade da produção de carvão ativado a partir de resíduos alternativos. Recife – PE, Programa de Pós-Graduação em Desenvolvimento de Processos Ambientais – UNICAP, 2012. Dissertação de Mestrado, 92 p.

Macedo, J. C. A. Aumento da adsorção de crômio, cádmio, chumbo e níquel por biochars modificados com adição de grupos isotiocianato. Dissertação (Mestrado), Universidade Estadual Paulista. Araraquara-SP. 2020.

Martins, B. M. Remoção de corantes a partir do acetato de celulose modificado tioacetamida. (Trabalho de conclusão do curso de Química), Instituto Federal De Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás. Inhumas – GO, 2022.

Mckay, G. Use of adsorbents for the removal of pollutants from wastewaters. Boca Raton: CRC Press, 1996.

Melo, D. Q. et al. Adsorption Equilibria of Cu²⁺, Zn²⁺, and Cd²⁺ on EDTA-Functionalized Silica Spheres. *Journal of Chemical & Engineering Data*, v. 58, n. 3, p. 798-806, mar. 2013.

Morais, R. M.; Santana, G. M.; Lelis, R. C. C; Paes, J. B. Produção de carvão ativado microporoso com vapor d'água preparado a partir de endocarpo de coco (Cocos

nucifera). *Advances in Forestry Science*, Cuiabá, v.6, n.3, p.699-703, 2019. <http://dx.doi.org/10.34062/afs.v6i3.6717>

Moreira, S. A. Adsorção de íons metálicos de efluente aquoso usando bagaço do pedúnculo de caju: estudo de batelada e coluna de leito fixo. 2008. 151 f. Dissertação (Mestrado em Saneamento Ambiental) - Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2008.

Nascimento, R. F.; Lima, A. C. A.; Vidal, C. B.; Melo, D. Q.; Raulino, G. S. C. Adsorção: Aspectos teóricos e aplicações ambientais. Fortaleza: Imprensa Universitária ed. 2, p. 16 – 74, 2020

Oliveira, P. V.; Zanella, I.; Bulhões, L. O. S.; Fagan, S. B. Adsorption of 17 β -estradiol in graphene oxide through the competing methanol co-solvent: Experimental and computational analysis. v. 321, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.molliq.2020.114738>.

Ozawa, T. A new method of analyzing thermogravimetric data. *Bull. Chem. Soc. Jpn.* 1965;38:1881–1886. <https://doi.org/10.1246/bcsj.38.1881>

Patel, A.; Shah, A. Integrated lignocellulosic biorefinery: Gateway for production of second-generation ethanol and value added products. *Journal of Bioresources and Bioproducts*, 2021.

Ramos, P. H.; Guerreiro, M. C.; Resende, E. C.; Gonçalves, M. Production and characterization of activated carbon prepared from PVA defect coffee. *Química Nova*, Vol. 32, No. 5, p.1139-1143, 2009 <https://doi.org/10.1590/S0100-40422009000500011>

Riberiro, L. S. Produção de carvão ativado a partir de resíduo de erva -mate para tratamento de água. Dissertação (Trabalho de conclusão de curso de Engenharia Química), Universidade Federal da Integração Latino-Americana. Foz do Iguaçu -PR, 2021.

Sandes, L. V. O. Produção e caracterização do biochar por meio da pirólise da biomassa residual do etanol de segunda geração. Dissertação (Trabalho de conclusão do curso de Engenharia Química), Universidade Federal de Alagoas. Maceió, 2019.

Santen, R. J.; Yue, W.; Wang, J. P. Estrogen metabolites and breast cancer, *Steroids*. 99 (2015) 61–66. <https://doi.org/10.1016/j.steroids.2014.08.003>.

Santos, B. A. Compósito de zeólita A magnética sintetizada a partir das cinzas volantes do carvão para adsorção de poluentes metálicos. 2019. 100 f. Dissertação (Mestrado em Química) - Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2019.

Santos, V. O. Pirólise da Biomassa amazônica: Parâmetros Cinéticos e Termodinâmicos usando análise termogravimétrica. Tese (Doutorado em engenharia química). Universidade Federal do Amazonas, Manaus, 2022.

Silva, J. S.; Barros, R. S.; Cruz, L. O.; Cruz, L. O.; Ani, F. N.; Salgado, M. F. Produção de carvão ativado da casca do babaçu e sua eficiência no tratamento de água para o consumo humano. *Engenharia Florestal: Desafios, Limites e Potencialidade*. Vol. 1, p. 654-685, 2020. Doi: 10.37885/200700715

Peres, C.B. Captura de CO₂ em carvões ativados derivados da biomassa de bagaço de cana de açúcar. Dissertação (Mestrado), Universidade Estadual Paulista. Sorocaba-SP. 2020.

Wang, X.; Liu, N.; Liu, Y.; Jiang, L.; Zeng, G.; Tan, X.; Liu, S.; Yin, Z.; Tian, S.; Li, J. Adsorption Removal of 17 β -Estradiol from Water by Rice Straw-Derived Biochar with Special Attention to Pyrolysis Temperature and Background Chemistry. *Int. J. Environ. Res. Public Health* 2017, 14, 1213. <https://doi.org/10.3390/ijerph14101213>

Z. Yin, Y. Liu, S. Liu, L. Jiang, X. Tan, G. Zeng, M. Li, S. Liu, S. Tian, Y. Fang, Activated magnetic biochar by one-step synthesis: Enhanced adsorption and coadsorption for 17 β -estradiol and copper, *Sci. Total Environ.* 639 (2018) 1530–1542. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.05.130>.

Zanella, I Oliveira, P.V.O., Bulhões, L.O., Fagan, S.B. Adsorption of 17 β - estradiol in graphene oxide through the competing methanol co-solvent: Experimental and computational analysis. *Journal of Molecular Liquids*. v.321, p. 114738, 2021.



TERMO DE AUTORIZAÇÃO PARA A DISPONIBILIDADE DE DISSERTAÇÃO, TESE, TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO, ESPECIALIZAÇÃO OU MEMORIAL ACADÊMICO NO REPOSITÓRIO INSTITUCIONAL DA UNIVERSIDADE FEDERAL DE ALAGOAS (RIUFAL)

Na qualidade de titular dos direitos de autor da publicação, em consonância com a Lei n. 9.610/98, autorizo que o Repositório Institucional da Universidade Federal de Alagoas (RIUFAL), a título de divulgação da produção científica brasileira, disponibilize, a partir desta data, por meio do site <http://www.repositorio.ufal.br>, sem ressarcimento dos direitos autorais, o texto integral da obra (abaixo citada) para fins de leitura, impressão e/ou download, conforme as seguintes informações e permissões assinaladas.

1 Identificação do material bibliográfico (marque com um X uma das opções a seguir):

	Dissertação + Produto Educacional
	Dissertação
	Tese
X	Trabalho de Conclusão de Curso
	Especialização
	Memorial Acadêmico

2 Identificação da Dissertação, Tese, TCC, Especialização ou Memorial Acadêmico:

Autor:	Carolina Giuliana da Silva de Melo	
Lattes:	http://lattes.cnpq.br/3872024038006452	
Lattes Atualizado:	<input checked="" type="checkbox"/> Sim	<input type="checkbox"/> Não
Orientador(a):	João Inácio Soletti	
Coorientador(a):	Sandra Helena Vieira de Carvalho	



Membros da Banca:

1º Membro	Carlos Eduardo de Farias Silva
2º Membro	Antônio Osimar Sousa da Silva
3º Membro	
4º Membro	
5º Membro	

Data da Defesa:	05/05/2023
Titulação (Bacharel/Especialista/Mestre/ Doutor em):	Engenharia Química

Título da Dissertação, Tese, TCC, Especialização ou Memorial Acadêmico no idioma original:

APLICAÇÃO DE RESÍDUO DA PRODUÇÃO DE ÁLCOOL DE SEGUNDA GERAÇÃO PARA REMOÇÃO DE CONTAMINANTES EMERGENTES

Palavras-chave no idioma original:

Carvão ativado, Adsorção, hormônio 17 β -estradiol.



Título da Dissertação, Tese, TCC, Especialização ou Memorial Acadêmico em outro idioma:

APPLICATION OF SECOND ALCOHOL PRODUCTION WASTE
GENERATION FOR REMOVAL OF EMERGING CONTAMINANTS (Ingês)

Palavras-chave em outro idioma (especifique):

Activated carbon, Adsorption, hormone 17 β -estradiol. (inglês)

Programa de Defesa:

Área de conhecimento – CNPq:

Engenharia



3 Agência de Fomento:

--

4 Informação de acesso ao documento (marque com um X uma das opções a seguir):

Liberação para publicação	X Total	Parcial
----------------------------------	----------------	----------------

Em caso de liberação parcial, especifique os arquivos restritos:

--

ATENÇÃO: A restrição (parcial ou total) poderá ser mantida por até um ano a partir da data de autorização da publicação. A extensão desse prazo requer justificativa junto ao RIUFAL. O resumo e os metadados (elementos referenciais) ficarão sempre disponibilizados.



UNIVERSIDADE FEDERAL DE ALAGOAS
REPOSITÓRIO INSTITUCIONAL
BIBLIOTECA CENTRAL



5 Endereço do Autor para contato:

Logradouro:	Rua E, Quadra F		
Nº 1A	Compl.: Conjunto Jardim Formosa	CEP: 57081-005	
Cidade: Maceió		Estado: Alagoas	
Tel.(s): (82) 99639-4728			
E-mail: cgiulianasm@hotmail.com			
Data: 25/05/2023			

Carolina Giuliana da Silva de Melo

Assinatura do Autor