



VALORAÇÃO DA CADEIA PRODUTIVA DO ÁLCOOL DE SEGUNDA GERAÇÃO

SAMARA F. MELO^{1*}, MATEUS F. SILVA¹, LARYSSA P. G. VASCONCELOS¹, MOZART D. BISPO¹, JOÃO I. SOLETTI¹, SANDRA H. V. DE CARVALHO¹.

¹Universidade Federal de Alagoas, Graduação em engenharia Química, Centro de Tecnologia
*e-mail: samara.melo@ctec.ufal.br

RESUMO - A tecnologia de segunda geração vem se desenvolvendo nos últimos anos como uma alternativa sustentável ao uso dos combustíveis fósseis. O álcool 2G apresenta um mercado já consolidado, porém, os subprodutos desse processo poderiam ser melhor utilizados gerando produtos de alto valor agregado, como é o caso do resíduo lignocelulósico que é empregado em sua grande parte para a geração de vapor e de energia elétrica. Diante do contexto de valorizar a cadeia produtiva do álcool 2G, o objetivo deste trabalho foi realizar a pirólise do resíduo lignocelulósico advindo da produção do álcool 2G e caracterizar o *biochar* obtido. Para isso, foram realizadas pirólises em condições de temperatura (500 e 700°C) e taxa de temperatura variada (5°C/min e 15°C/min). Após a obtenção do *biochar*, este foi submetido a uma etapa de ativação utilizando carbonato de potássio como catalisador na razão de 1:3, temperatura de 650°C e pressão de 20 kPa. A partir dos resultados obtidos, observou-se que o carvão ativado obtido possui potencial para sua aplicação em processos de adsorção e o *biochar* in natura é favorável para aplicação no solo, visto que possui macro e micronutrientes que contribuem para a fertilidade dos solos.

INTRODUÇÃO

O consumo de recursos não renováveis implica diretamente nas mudanças climáticas, pois o uso de combustíveis fósseis contribui com o aumento da emissão de gases do efeito estufa, o que resulta no aquecimento global. Dessa forma, com o intuito de diminuir os impactos ambientais, estudos vêm sendo realizados buscando alternativas energéticas renováveis e sustentáveis (Kaustubh *et al.*, 2021). Nesse sentido, surgiu o álcool de segunda geração (álcool 2G), com a finalidade de diminuir a poluição e trazer benefícios econômicos viáveis para as empresas do setor de transportes.

O Brasil é um grande produtor de cana-de-açúcar e nos últimos anos houve um aumento na utilização desta matéria-prima. A cana é utilizada principalmente para a produção de açúcar e álcool e durante o processo de produção são gerados dois resíduos importantes: a fração fibrosa que é obtida após

a extração do caldo (bagaço) e o resíduo após a colheita (palha) (Del Rio *et al.*, 2015). Este subproduto é composto de celulose (40-50%), hemicelulose (20-35%) e lignina (15-20%) e geralmente é mal utilizado, sendo tratado como fonte de alimentação em caldeiras, não agregando um alto valor comercial (Marina *et al.*, 2012). Devido à abundância dessa biomassa como resíduo industrial, há grande interesse em estudar a transformação desses resíduos em combustíveis ou bioprodutos, principalmente em aplicações na agricultura, que agreguem valores a cadeia produtiva do álcool 2G e ofereçam vantagens econômicas e ambientais (Espinoza *et al.*, 2014).

A lignina é o principal subproduto da produção do bioetanol. Assim, o interesse em aumentar a cadeia produtiva deste etanol de 2G, e com isso agregar valores aos seus subprodutos vem despertando um grande interesse e atraindo cada vez mais atenção (Guozhan *et al.*, 2010). Então, uma alternativa para contribuir para a valorização da cadeia produtiva desse resíduo lignocelulósico é o uso do processo de

decomposição térmica, conhecido como pirólise.

A pirólise vem se destacando por ser uma técnica de reaproveitamento de matéria orgânica através da decomposição térmica em ausência de oxigênio gerando três produtos principais: O bio-óleo, o *biochar* e o biogás, que podem ser reutilizados para geração de energia, aumentando a cadeia produtiva de resíduos sem valor comercial, como o resíduo lignocelulósico (Karthik *et al.*, 2019).

O *biochar* proveniente da pirólise de resíduo lignocelulósico pode ser utilizado como agente de correção de solo, pois este desempenha efeitos positivos quando utilizados na agricultura, alterando as características físicas e químicas do solo, como o pH, retenção de água e nutrientes e agregação de partículas (Jinkiat *et al.*, 2020). Além disso, ele possui superfície porosa, alta capacidade de troca catiônica e grupos funcionais ricos em oxigênio, o que favorece a sua aplicação como adsorvente. Entretanto, vários métodos de modificações podem ser utilizados para aumentar a capacidade adsorptiva do *biochar* como a ativação física que contribui para o aumento da área superficial do *biochar* facilitando os processos de adsorção (Ailin *et al.*, 2019).

Diante do exposto, o objetivo deste trabalho foi avaliar e desenvolver novos produtos para o resíduo lignocelulósico advindo da produção do álcool de segunda geração. Ou seja, produzir o *biochar* a partir do resíduo lignocelulósico, caracterizar o *biochar* e avaliar sua aplicação como condicionador de solos, assim como, também testar o seu potencial adsorptivo.

METODOLOGIA

Pré-tratamento

A amostra da biomassa (resíduo industrial lignocelulósico) proveniente da palha da cana-de-açúcar foi obtida da empresa GranBio, localizada na cidade de São Miguel dos Campos no estado de Alagoas. O resíduo lignocelulósico obtido passou por um processo de retirada da umidade, com base em uma adaptação da NBR 14929 da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT, 2003).

Em que, a amostra a ser analisada foi seca em estufa (Marca FANEM; Modelo ORION 515) a 105°C por um período de 24 horas.

Análise Termogravimétrica (TG) e Termogravimetria Derivada (DTG)

A análise termogravimétrica e termogravimétrica derivada foi realizada em uma termobalança (Marca SHIMADZU, Modelo DTG-60H). Foram pesadas aproximadamente 10 mg da amostra, utilizando uma taxa de aquecimento de 10°C/min, em atmosfera inerte (gás nitrogênio) com vazão de 40 mL/min, até uma temperatura final de 1000°C.

Pirólise

O experimento de pirólise do resíduo lignocelulósico foi realizado em uma unidade experimental formada por um forno tubular (Marca JUNG - LT6; potência 2,5 kW; ano: 2010), aquecido por resistência elétrica, com a capacidade de atingir a temperatura de até 1000°C. Possui também oito condensadores (Allihn 00 mm, tipo bola) ligados em série, permitindo a condensação dos materiais voláteis através do resfriamento com água fria. Para a obtenção do quantitativo dos produtos da pirólise, os cálculos do rendimento em massa para os produtos sólido, líquido e gasoso foi obtido conforme as Equações 1 a 3.

$$R_{\text{Sólido}} = \frac{m_{\text{carvão}}}{m_{\text{inicial}}} \times 100 \quad (1)$$

$$R_{\text{Líquido}} = \frac{m_{\text{óleo}}}{m_{\text{inicial}}} \times 100 \quad (2)$$

$$R_{\text{Gasoso}} = 100 - (R_{\text{sólido}} + R_{\text{líquido}}) \quad (3)$$

Sendo, $m_{\text{carvão}}$ e $m_{\text{óleo}}$, a massa do carvão e do bioóleo obtido na pirólise; m_{inicial} , a massa inicial do resíduo lignocelulósico; e, R_{gasoso} , $R_{\text{líquido}}$, e $R_{\text{sólido}}$, o rendimento gasoso líquido e de sólidos, respectivamente.

A influência das variáveis taxa de aquecimento e temperatura foram avaliadas nas faixas de 5° e 15°C/min, 500°C e 700°C, respectivamente, para um tempo de retenção de 120 minutos.

Após produzido, o *biochar* foi triturado e peneirado, utilizando uma peneira Bertel com abertura de malha 65 (ASTM 70), obtendo um *biochar* com uma granulometria menor que 0,212 mm.

Análise elementar

A análise elementar foi realizada pela EMBRAPA, no qual, a amostra foi submetida a combustão e após esse procedimento os gases gerados pela combustão foram separados em uma coluna de cromatografia gasosa, seguido da detecção por condutividade térmica identificando os elementos: C, N e H.

Análise Imediata

Teor de cinzas - O procedimento de determinação de teor de cinzas, em base úmida, foi realizado segundo a norma NBR16586 da ABNT, Equação 4.

$$C_z = \frac{(m_2 - m_1)}{m_a} \times 100 \quad (4)$$

Sendo: C_z - teor de cinzas em base úmida (%); m_a , m_1 e m_2 , a massa da amostra, do cadinho e cadinho com resíduo após a queima, em gramas.

Teor de voláteis - A análise para determinação do teor de voláteis foi feita segundo a norma NBR 16587 ABNT, e foi calculado de acordo com a equação 5.

$$C_v = \frac{(m_1 - m_2)}{m_1} \times 100 \quad (5)$$

Sendo, C_v - teor de voláteis expresso em (%); m_1 - Massa da amostra inicial expresso em gramas; m_2 - Massa final do *biochar* em gramas.

Teor de carbono fixo - O teor de carbono fixo é uma medida indireta entre o valor obtido do teor de cinzas e teor de voláteis, conforme apresentado na equação 6.

$$C_f = (100 - (C_z + C_v)) \quad (6)$$

Sendo, C_f , C_z , C_v os teores de carbono fixo, cinzas e voláteis (%), respectivamente.

Umidade - A determinação da umidade foi determinada de acordo com a adaptação da NBR 14929 da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT, 2003). Para tal, 5g de amostra do resíduo, obtida em balança analítica, (Marca SHIMADZU; Modelo AY220), foi seca em estufa (Marca FANEM; Modelo ORION 515) a 105°C por um período de 24 horas.

Espectroscopia no Infravermelho com Transformada de Fourier (FTIR)

A técnica de espectroscopia de infravermelho com transformada de Fourier permite a identificação dos grupos funcionais e das ligações presentes na estrutura tanto da biomassa quanto do *biochar*. A análise foi realizada em um espectrofotômetro FTIR (Marca THERMOFISHER, Modelo Nicolet iS10). O método utilizado foi a transmitância com pastilhas de KBr em um espectro de infravermelho que abrange a região de 4000 cm^{-1} a 400 cm^{-1} .

Espectroscopia de fluorescência de Raios X por energia dispersiva (EDX)

A espectroscopia de fluorescência de Raios X por energia dispersiva permite a identificação e quantificação dos materiais inorgânicos presentes no *biochar*. É uma técnica analítica que realiza uma varredura geral nos Raios X emitidos pela amostra em resposta à incidência de partículas carregadas.

Ponto de carga zero

A determinação do pH do ponto de carga zero (pHPZC) foi realizada utilizando soluções de NaOH e HCl a 0,1 mol/L. Os valores de pH_{pcz} para o *biochar* na temperatura de 700°C e taxa de aquecimento de 15°C/min foi determinada segundo Almeida *et al.*, 2021. No qual, 50 mg do *biochar* foi adicionado a 50 mL de uma solução com pH variando de 1 a 12 permanecendo em agitação por 24 horas. Foram feitas medidas dos pHs iniciais e após 24 horas de contato com o *biochar*.

Ativação do *biochar*

O processo de ativação do *biochar* foi realizado em um reator utilizando carbonato de potássio como catalisador, na razão de 1:3, na temperatura de 650°C e pressão de 20 kPa durante 1 hora.

Cinética de adsorção

Para obter a cinética de adsorção do processo foram adicionados, em triplicata, 50 mL da solução do hormônio 17β-estradiol, na concentração de 20 mg/L, com 0,05 g de carvão ativado, em diferentes intervalos de tempo (0 a 120 min) em uma incubadora *shaker*. Após o tempo pré-determinado, foi retirada uma alíquota da solução (sem o adsorvente), e realizada a leitura no espectrofotômetro no comprimento de onda de 280 nm. Os modelos foram previstos segundo as Equações 7 e 8.

Modelo de pseudo-primeira ordem

$$\frac{dq_t}{dt} = k_1(q_e - q_t) \quad (7)$$

Modelo de pseudo-segunda ordem

$$\frac{dq_t}{dt} = k_2(q_e - q_t)^2 \quad (8)$$

RESULTADOS

A Figura 1 apresenta os resultados obtidos na análise termogravimétrica do resíduo lignocelulósico industrial, analisando a perda de massa em função da temperatura, utilizando uma taxa de aquecimento 10°C/min. A curva termogravimétrica TGA representa a decomposição térmica e a DTG, a sua derivada, possibilita identificar em quantas etapas ocorre a decomposição térmica, ou ainda, a degradação termo-oxidativa, sob programação controlada de temperatura. Foi observada uma degradação térmica entre 32°C a 100°C, referente à perda de 24% de umidade, comprovado pela depressão na curva da DTG. Além disso, entre 300°C e 400°C há uma perda de 40% referente ao teor lignocelulósico. Acima de 480°C não é observada grandes alterações na perda de massa.

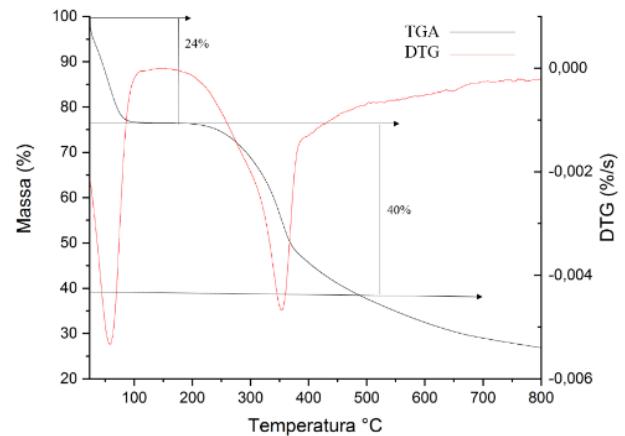


Figura 1: Curvas TG/DTG do resíduo industrial à taxa de aquecimento 10 °C/min

Após a análise termogravimétrica foi iniciado o processo de pirólise, no qual, foram gerados três subprodutos: o líquido (bio-óleo), o gasoso (bio-gás) e o sólido (*biochar*). De acordo com Javaid (2012), o rendimento desses produtos pode variar com a temperatura, taxa de aquecimento e biomassa utilizada no processo. Em maiores temperaturas há geração de mais biogás e em temperaturas mais baixas a produção do *biochar* é maior que a dos outros subprodutos (Gosh *et al.*, 2020). Nesse sentido, os rendimentos obtidos da pirólise estão apresentados na Tabela 1, em que é possível perceber que os dados obedeceram ao comportamento observado por Gosh (2020).

Tabela 1: Rendimento da pirólise

Condições Operacionais		Rendimento (%)		
Temp. (°C)	Taxa (°C/min)	Bio-óleo	Biochar	Bio-gás
500	05	33,92 ± 1,47	48,58 ± 2,1	16,05 ± 3,24
	15	33,44 ± 0,37	46,91 ± 2,78	20,04 ± 2,73
700	05	32,86 ± 0,38	33,14 ± 1,11	34,00 ± 0,73
	15	29,95 ± 0,65	29,95 ± 0,65	31,02 ± 2,55

O *biochar* gerado no processo pirolítico apresenta alto grau de porosidade, baixa densidade, é rico em carbono e apresenta sítios ativos em seus poros, podendo ser aplicado para geração de energia e fins ambientais como em

processos de adsorção no tratamento de águas residuárias. São muitas as variáveis que podem influenciar o desempenho do *biochar* como adsorvente, porém, as mais importantes são a temperatura e a taxa de aquecimento. Em maiores temperaturas os *biochars* aumentam a área de superfície específica, mas reduzem a capacidade de retenção de nutrientes. Em contraste, os *biochars* produzidos a menores temperaturas possuem pH mais baixo (Albalasmeh *et al.*, 2020).

O *biochar* produzido foi caracterizado pela análise imediata, o que permitiu determinar o teor de cinzas, voláteis, carbono fixo e umidade do mesmo. Os resultados encontram-se resumidos na Tabela 2.

Tabela 2: Resultado da análise imediata

Temp. (°C)	Umidade	Cinzas	Voláteis	Carbono fixo
500 5 °C/min	2,15 ± 0,0005	10,25 ± 0,78	70,20 ± 0,42	19,55 ± 1,2
500 15 °C/min	3,84 ± 0,0002	12,15 ± 3,04	66,00 ± 4,24	21,85 ± 1,2
700 5 °C/min	1,93 ± 0,003	11,15 ± 0,64	60,90 ± 0,28	27,85 ± 0,92
700 15 °C/min	1,46 ± 0,0004	11,55 ± 3,75	65,10 ± 3,25	23,35 ± 0,49

Para os *biochars* analisados, os resultados de análise imediata apresentaram um baixo teor de umidade e baixo teor de cinzas. O *biochar* produzido com uma taxa de aquecimento de 5 °C/min apresentou um menor teor de cinzas quando comparado ao produzido com a taxa de aquecimento de 15 °C/min. Nesse sentido, os *biochars* produzidos com uma taxa de aquecimento de 5 °C/min apresentam baixos teores de substâncias inorgânicas (Guimarães, 2006).

O teor de voláteis está relacionado com a quantidade de matéria orgânica presente na biomassa que se decompõe na primeira etapa da pirólise, passando posteriormente por processos de craqueamento e muitos rearranjos químicos, gerando compostos condensáveis que constituirão o bio-óleo (Teixeira *et al.*, 2014).

O teor de carbono fixo está associado ao material restante após a saída dos compostos voláteis e das cinzas, bem como, a umidade da biomassa. Depende muito mais dos materiais

voláteis, já que normalmente os teores de cinzas são menos expressivos. Dessa forma, observando os resultados obtidos podemos perceber que dos *biochars* analisados, o produzido a 500 °C/5 °Cmin⁻¹ apresentou um alto teor materiais voláteis com relação aos outros e o *biochar* obtido nas condições de 700 °C/5 °Cmin⁻¹ apresentou um alto teor de carbono fixo comparado com os demais.

O *biochar* gerado foi caracterizado pela análise elementar, o que permitiu obter os resultados da composição elementar do *biochar*, que expressa os valores de carbono (C), hidrogênio (H), nitrogênio (N) e oxigênio (O) presentes nos *biochars* estudados. Tais resultados estão dispostos na Tabela 3.

Tabela 3: Resultado da análise elementar

Temp. (°C)	Taxa aquec. (°C/min)	N(%)	C(%)	H(%)
500	5	1,60	61,13	2,50
700	5	1,49	74,35	1,59

De acordo com Macedo (2014), a importância de fazer um mapeamento dos constituintes químicos inorgânicos presentes na biomassa reside no fato de que estes são os elementos base para formação dos polímeros de celulose, hemicelulose e lignina. As amostras analisadas apresentaram um alto teor de carbono elementar o que sinaliza que o resíduo lignocelulósico analisado possuem teores mais elevados de lignina.

A partir dos dados da Espectroscopia no Infravermelho com Transformada de Fourier (FTIR), foi possível gerar um gráfico conforme Figura 2, permitindo a identificação dos grupos funcionais presentes no *biochar*.

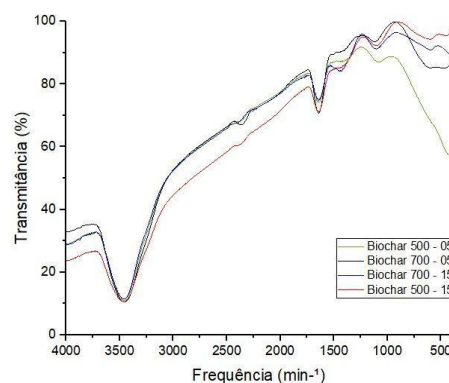


Figura 2: Resultado FTIR

Nanda *et al.* (2012) cita que as faixas de comprimento de onda entre 700 a 900 cm^{-1} representam os grupos aromáticos com hidrogênio (H) para fora do plano. Entre 1400 a 1600 cm^{-1} , se encontram as duplas ligações em cadeias aromáticas. Nas faixas entre 1600 a 1750 cm^{-1} , temos os grupos funcionais com dupla ligação com oxigênio: as carboxilas (-COOH) como o ácido carboxílico e as carbonilas (-C=O) como as cetonas e os ésteres. Segundo Chen *et al.* (2012) nas faixas entre 3600 a 3200 cm^{-1} representam grupos funcionais (O-H) contendo moléculas de água e hidroxilas como alcoóis e fenóis, em 2400 - 2200 cm^{-1} , o que corresponde ao grupo de vibração de isocianato (N=C=O). Os números de ondas presentes em torno de 2300 cm^{-1} correspondem ao estiramento das amins e amidas (C-N). Faixas de onda entre 1180 a 1360 cm^{-1} apresentam alquinos (C≡C) (SKOOG, 2006). É perceptível a partir dos resultados que os biochars produzidos apresentam comportamentos semelhantes e possuem grupos funcionais como: cadeias aromáticas com duplas ligações, amins, amidas, ácido carboxílico, cetonas, ésteres, álcoois e fenóis que são facilmente encontrados na estrutura da lignina, visto que ela é composta por álcoois sinapílico, coniferílico e cumérico.

A partir da análise de EDX (Espectroscopia de fluorescência de Raios X por energia dispersiva) foi possível identificar os elementos presentes no *biochar* e no resíduo lignocelulósico, como pode ser observado na Figura 3.

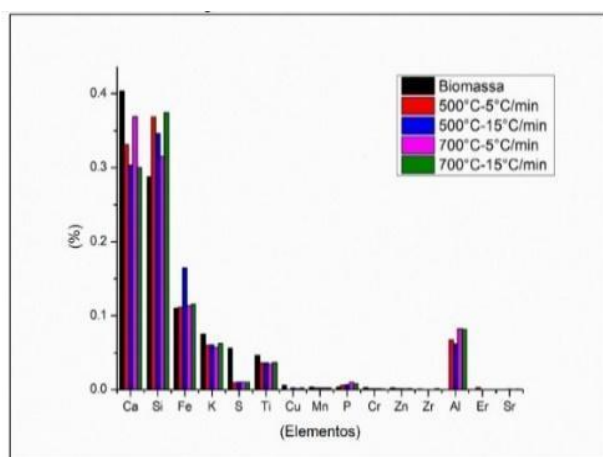


Figura 3: Resultado análise de EDX

Os principais elementos químicos inorgânicos encontrados na biomassa e nos carvões produzidos são cálcio (Ca), silício (Si), ferro (Fe) e potássio (K). Diferente dos carvões, a biomassa não apresenta alumínio (Al) e Estrôncio (Sr). O *biochar* produzido a 500°C e 5°C/min é o único que apresenta érbio (Er) em sua composição, mas também é o único que não apresenta cobre (Cu). O zircônio (Zr) só aparece na biomassa e no *biochar* produzido a 700°C e 15°C/min. O titânio (Ti) e o enxofre (S) também aparecem em todas as amostras. O enxofre (S) aparece em alta quantidade na biomassa enquanto o alumínio (Al) só aparece em alta quantidade nos carvões.

O *biochar* proveniente da pirólise foi analisado através do ponto de carga zero a fim de identificar o pH na superfície do *biochar*. Nesse sentido, os resultados obtidos permitiram identificar o pH na superfície do *biochar* em contato com a solução. De acordo com a figura 4 é possível perceber que o pH do *biochar* se aproxima de 7,5. Assim, o ponto de carga zero é realizado com o intuito de investigar a faixa em que o pH se mantém constante (Almeida *et al.*, 2021).

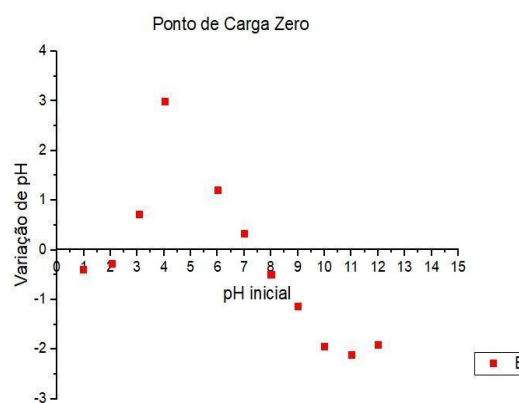


Figura 4: Resultado do ponto de carga zero.

Dessa forma, o *biochar* por ter pH em torno de 7,5 pode ser utilizado para ajudar a melhorar as propriedades do solo ligadas a acidificação, ou seja, ele pode ser aplicado para prevenir ou reverter a acidificação de solos que acabam prejudicando a fertilidade e como consequência a produtividade destes solos (Zhongmin *et al.*, 2017).

O estudo da cinética de adsorção foi determinado com objetivo de mensurar a taxa de adsorção do 17 β -estradiol pelo carvão ativado B. A Figura 5 evidencia o efeito do

tempo de contato na adsorção do hormônio pelo carvão ativado e são utilizados os modelos de pseudo-primeira ordem e de pseudo-segunda ordem para predição do comportamento.

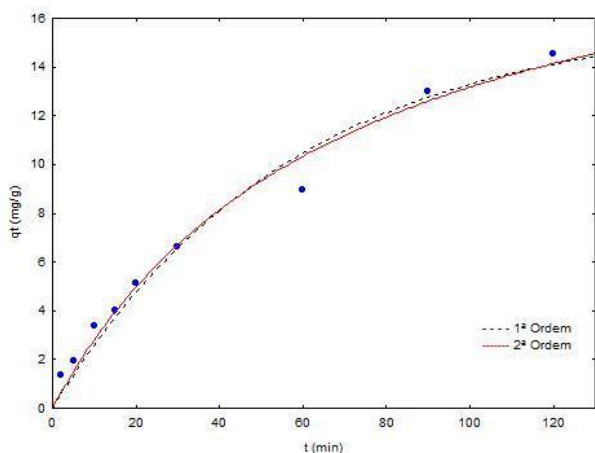


Figura 5: Cinética de adsorção

Os estudos cinéticos revelaram que o tempo de equilíbrio da reação foi em cerca de 90 minutos e que os ajustes proporcionados pelo modelo pseudo-segunda ordem é o mais adequado para o processo de adsorção do 17 β -Estradiol no carvão ativado 700°C/5°min, na concentração estudada, o que permite propor que 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).

CONCLUSÃO

Ao analisar os resultados obtidos, pode-se concluir que foi possível produzir o *biochar* através do processo de pirólise, no qual, percebeu-se que as taxas de aquecimento e temperatura influenciam diretamente no rendimento dos produtos obtidos. Assim, em menores temperaturas ocorreu maior rendimento de produção de *biochar*, este bio-carvão foi caracterizado, e a partir da análise imediata observou-se que este apresentou baixos teores de cinzas e altos teores de voláteis e carbono fixo, ou seja, o mesmo possui baixos teores de substâncias inorgânicas e altos teores de substâncias orgânicas. A partir da análise elementar foi realizada a identificação da composição elementar do biocarvão, onde foi constatado que as amostras apresentaram um alto teor de carbono elementar, confirmando

que no resíduo lignocelulósico advindo da produção de álcool 2G predomina a presença de lignina, ainda assim, o FTIR permitiu a identificação dos grupos funcionais como: grupos aromáticos, ácidos carboxílicos, alcoóis e fenóis presentes na estrutura da lignina.

O *biochar* produzido possui elementos químicos (Ca, N, P, K) que podem favorecer a sua aplicação na agricultura. Após a análise do ponto de carga zero foi possível identificar o pH na superfície do biocarvão que se aproximou de 7,5.

O estudo cinético mostrou que o equilíbrio de adsorção foi alcançado em torno de 90 minutos. Com base na aplicação dos modelos cinéticos, foi possível confirmar que o modelo de pseudo-segunda ordem é o mais adequado para o processo de adsorção do 17 β -Estradiol no carvão ativado. Dessa forma, o carvão ativado obtido demonstrou ser efetivo no tratamento de águas residuais contaminadas com o hormônio 17 β -estradiol.

REFERÊNCIAS

- ALBALASMEH, A. et al. (2020). Characterization and Artificial Neural Networks Modelling of methylene adsorption of biochar derived from agricultural residues: effect of biomass type, pyrolysis temperature, particle size. *Journal of Saudi Chemical Society*. v. 24, p. 811-823.
- ABNT 2003. NBR14929: Madeira: concentração da umidade da madeira. Rio de Janeiro, 2003.
- ALMEIDA, A. S. et al. (2021). Caffeine removal using activated biochar from açai seed(*Euterpe oleracea* Mart): Experimental study and description of absorbate properties using Density Functional Theory (DFT). *Journal of Environmental Chemical Engineering*. v. 9.
- CHEN, Y. et al. (2012) Biomass-based pyrolytic polygeneration system on cotton stalk pyrolysis: influence os temperature. *Bioresource Technology*, v. 107, p. 411-418, 2012.
- DEL RIO, J. C. et al. (2015). Differences in the chemical structure of the lignins from

- sugarcane bagasse and straw. *Biomass and Bioenergy*, v 81, p. 322-338.
- ESPINOZA, J. L. et al. (2014). Ionic liquids and organic solvents for recovering lignin from lignocellulosic biomass. *BioResources*, v. 9, p.3660-3687.
- GUIMARÃES, I. DA, S. (2006). Oxidação de carvões ativados de endocarpo de coco da Bahia com solução de HNO₃ e uma investigação sobre o método de Boehm. Dissertação (Mestrado em Química). Universidade Federal da Paraíba. João Pessoa - PB.
- GUOZHAN, J. et al. (2010). A systematic study of the kinetics of lignin pyrolysis. *Thermochimica Acta*. v. 498, p. 61-66
- JAVAID, A.; NorAishah, S. A. A review on operating parameters for optimum liquid oil yield in biomass pyrolysis. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. V. 16, p. 5101-5109, 2012.
- JINKIAT, C. et al. (2020). Biochar-based fertilizer: supercharging root membrane potential and biomass yield of rice. *Science of the total environment*. v. 713, p. 136431.
- KARTHIK, R. et al. (2019). Chapter 5 – influential aspects in waste Management practices. *Sustainable Resource Recovery and Zero waste Approaches*. p. 65-78.
- KAUSTUBH, C. et al (2021). Bioconversion of sugarcane tops to bioethanol and Other value added products: Na overview. *Materials science for energy Technology*. v. 4, p. 54- 68.
- MACEDO, L. A et al. (2014). Influência da composição da biomassa no rendimento em condensáveis da torrefação de resíduos vegetais. *Brazilian Journal of Forestry Research*, v. 34, p. 417–424.
- MARINA, O. et al. (2012). Integrated versus stand-alone second Generation ethanol production from sugarcane bagasse and trash. *Bioresource Technology*. v. 103, p. 152-161.
- NANDA, S. et al. (2012). Characterization of North American lignocellulosic biomass and biochars in terms of their candidacy for alternate renewable fuels. *Bioenergy Research*, New York, v. 6, n. 2, p. 663-677.
- SKOOG, WEST, HOLLER, CROUCH, *Fundamentos de Química Analítica*, Tradução da 8ª Edição norte-americana, Editora Thomson, São Paulo-SP, 2006.
- TEIXEIRA, L. F. et al. (2014). Rendimento dos produtos da pirólise de lodo de esgoto anaeróbio em reator de leito fixo em diferentes temperaturas, *Anais do XX Congresso brasileiro de engenharia química*. p.8, Florianópolis - SC.
- ZANELLA, I OLIVEIRA, P.V.O., BULHÕES, L.O., FAGAN, S.B.,(2021) 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.
- ZHONGMIN, D.;XIAOJIE, Z.; C TANG; NIAZ, M.; JIANJUN W.; PHILIP C. B.; JIANMING X. (2017). Potential role of biochars in decreasing soil acidification. A critical review, p. 581-611.