

## REMOÇÃO DE NITROGÊNIO AMONICAL EM EFLUENTE INDUSTRIAL USANDO BIOCHAR

Amanda Simões Souza de Oliveira<sup>1</sup>

Cintia da Silva Santos<sup>2</sup>

Fabiana Soares dos Santos<sup>3</sup>

Gilmar Clemente Silva<sup>4</sup>

### Reaproveitamento, Reutilização e Tratamento de Resíduos

#### *Resumo*

A contaminação de cursos d'água com nitrogênio amoniacal apresenta grande perigo, sendo a causa de intoxicação de espécies animais e vegetais e de processos de eutrofização. O objetivo do trabalho foi avaliar o potencial de remoção de nitrogênio amoniacal presente em efluente industrial usando biochar produzido com a planta aquática alface d'água (*Pistia stratiotes*). Para isso foram realizados ensaios de adsorção usando 0,15 g, 0,25 g e 0,40 g de biochars produzidos a 400°C, 500°C e 600°C de temperatura de pirólise, que passaram por modificação com lavagem ácida, separadamente, em 120 ml de efluente, sendo agitado a 200 rpm durante 6 h com amostras sendo retiradas nos tempos de 10, 30, 60, 120, 240, 360 minutos. Foram obtidos resultados positivos para todas as temperaturas de biochar testadas, onde o biochar feito com temperatura de pirólise de 400°C obteve as maiores porcentagens de adsorção. A dosagem com melhor desempenho foi 0,40 g de biochar para 120 ml de efluente, adsorvendo 47% da concentração inicial de  $\text{NH}_4^+$ . O modelo cinético mais adequado foi o de pseudo-segunda ordem, onde a maior parte do processo de adsorção ocorre quimicamente. A avaliação dos dados obtidos demonstrou que o biochar feito com alface d'água (*Pistia stratiotes*) é capaz de adsorver nitrogênio amoniacal presente em efluente industrial, sendo uma alternativa para a remoção do mesmo de meios líquidos.

**Palavras-chave:** Contaminação Aquática, Tratamento de Efluente, Pirólise de Biomassa.

<sup>1</sup>Aluna do Curso de mestrado em Tecnologia Ambiental, Universidade Federal Fluminense - UFF, amanda\_simoes@id.uff.br.

<sup>2</sup>Aluna de curso de graduação em Engenharia de Agronegócios, Universidade Federal Fluminense - UFF, cintiasantos@id.uff.br

<sup>3</sup>Prof. Dr. da Universidade Federal Fluminense - UFF - Campus de Volta Redonda, Departamento de Engenharia de Agronegócios, fabianasoes@id.uff.br.

<sup>4</sup>Prof. Dr. da Universidade Federal Fluminense - UFF - Campus de Volta Redonda, Departamento de Ciências Exatas, gilmarcs@id.uff.br.



## INTRODUÇÃO

Nitrogênio amoniacal é o termo utilizado para a especificação de duas substâncias, a amônia e o íon amônio, a presença e concentração de cada um deles é controlada pelo pH e temperatura do meio (BORGES *et al.*, 2014). A amônia pode ser de extrema toxicidade mesmo em baixas concentrações (NAVAL e COUTO, 2005), enquanto o amônio pode ser considerado essencial para algumas espécies, mas em altas concentrações pode desencadear processos de eutrofização (HU *et al.*, 2020).

A presença de nitrogênio amoniacal em cursos d'água pode ser tóxica para espécies animais e vegetais, além de contribuir com a redução de oxigênio encontrado na água (HISCOCKET *et al.*, 1991). Segundo a Resolução CONAMA Nº 430/2011, qualquer efluente contendo nitrogênio amoniacal só poderá ser lançado em um corpo receptor se sua quantidade total não ultrapassar 20mg/L N (BRASIL, 2011).

Existem diversas maneiras de remover nitrogênio amoniacal encontrado em efluentes, no entanto grande parte desses métodos é prejudicada pelo seu alto custo e baixa eficiência. A adsorção com biochar é conhecida por ser uma forma econômica e efetiva que vem sendo estudada de forma abrangente atualmente (CHEN *et al.*, 2021).

Biochar é um subproduto produzido através da queima de biomassa, de origem animal ou vegetal, em altas temperaturas controladas num ambiente com condições de oxigênio limitado ou sem a presença de oxigênio de biomassa, conhecido como pirólise (KAMBO e DUTTA, 2015). As características encontradas no biochar são inerentes ao tipo de biomassa utilizada e a temperatura de pirólise aplicada. De maneira geral, trata-se de uma material de granulometria fina, alta porosidade, cor escura, pH alcalino e rico em carbono (JHA *et al.*, 2010; SONG e GUO, 2012), tendo como primeira e principal aplicação na agricultura como condicionador de solo (REZENDE *et al.*, 2011).

A utilização de biochar como material adsorvente tem crescido significativamente mostrando a versatilidade do material (GAI *et al.*, 2014; KAMBO e DUTTA, 2015). Contudo, a capacidade de adsorção do biochar pode ser influenciada por diversos fatores, entre eles o tipo de biomassa, a temperatura de pirólise, o pH do biochar e do meio durante o processo, a proporção adsorvente/adsorvato e o tempo de atuação, o que torna

de extrema necessidade a adequação de cada um desses fatores para otimizar o processo e garantir a eficiência de adsorção do mesmo (ZHAO *et al.*, 2013).

Estudos sobre a adsorção de  $\text{NH}_4^+$  por biochar apresentam resultados positivos onde os fatores com maior influência sobre o processo vem sendo detalhadamente estudados e melhor compreendidos levando em consideração as características intrínsecas de cada caso (HU *et al.*, 2020)

Portanto, o presente trabalho tem como objetivo verificar o potencial do biochar produzido com alface d'água (*Pistia stratiotes*), com diferentes temperaturas de pirólise e dosagens, como material adsorvente de nitrogênio amoniacal presente em efluente industrial.

## METODOLOGIA

### EFLUENTE

A concentração de  $\text{NH}_4^+$  presente na amostra do efluente usada no experimento foi de 41,89 ( $\pm 0,8$ )  $\text{mg L}^{-1}$ , ficando acima dos limites máximos exigidos pela legislação federal, a Resolução CONAMA N° 430/2011, que é de 20  $\text{mg L}^{-1}$  N (BRASIL, 2011).

A determinação foi realizada por cromatografia de íons, utilizando um equipamento modelo 940 Professional IC Vario, Metrohm, com coluna C4 e, como eluente, solução contendo 0,7 mM de ácido dipicolínico e 1,7 mM de ácido nítrico. Previamente à análise, as amostras foram filtradas em membranas de 0,45 $\mu\text{m}$ , Millipore.

### PREPARO DO BIOCHAR

O biochar foi produzido a partir da planta aquática alface d'água (*Pistia stratiotes*), que foi lavada com água deionizada, seca em estufa, tritura e peneiradas em malha 2mm antes de passar pelo processo de pirólise. As temperaturas de pirólise utilizadas foram 400°C, 500°C e 600°C, sendo realizada em tubo de vidro colocado em um forno mufla sob condições limitadas de  $\text{O}_2$ , mantendo um fluxo constante de  $\text{N}_2$  de 200  $\text{ml min}^{-1}$ . O experimento foi conduzido com uma rampa de aquecimento de 10 °C  $\text{min}^{-1}$  até que a temperatura final desejada fosse atingida, sendo mantida por 60 minutos.

A análise da superfície do biochar foi realizada por fisissorção de  $\text{N}_2$  utilizando



um equipamento Micromeritics – ASAP, 2020 (Pereira, 2020).

O pH do biochar foi verificado com água deionizada na proporção de 1:20 (p:v), sendo a suspensão agitada por um período de 1h, seguido de 5 minutos de repouso antes da análise.

Considerando o pH alcalino dos biochars (9,10, 10,09 e 10,24 para os biochars de 400, 500 e 600, respectivamente), a faixa de pH recomendada para lançamento de efluente industrial que é de 5-9 de acordo com a legislação federal (BRASIL, 2011), e o valor máximo de pH em que o N-amoniaco tende a estar na forma de  $\text{NH}_4^+$  em solução, que é de aproximadamente 7,0 segundo especificação química de nitrogênio amoniacal, foi realizada a lavagem ácida do biochar utilizando  $\text{HNO}_3$  0,1M, visando reduzir o pH dos biochars para aproximadamente 7,0.

#### **LAVAGEM ÁCIDA**

O biochar foi suspenso na proporção de 0,5g de biochar para 100 mL de solução ácida. Para o biochar de 400 °C foi utilizada uma solução de 5% de  $\text{HNO}_3$  0,1M, e para o biochar de 500°C e 600°C foi utilizado uma solução de 25% de  $\text{HNO}_3$  0,1M. As misturas foram agitadas à 200rpm por 2h, filtradas e lavadas com água ultrapura até estabilização do pH em 7,0. Posteriormente, o biochar foi seco em estufa à 90°C por 12h e denominado BCA400, BCA500 e BCA600.

#### **ENSAIO DE ADSORÇÃO**

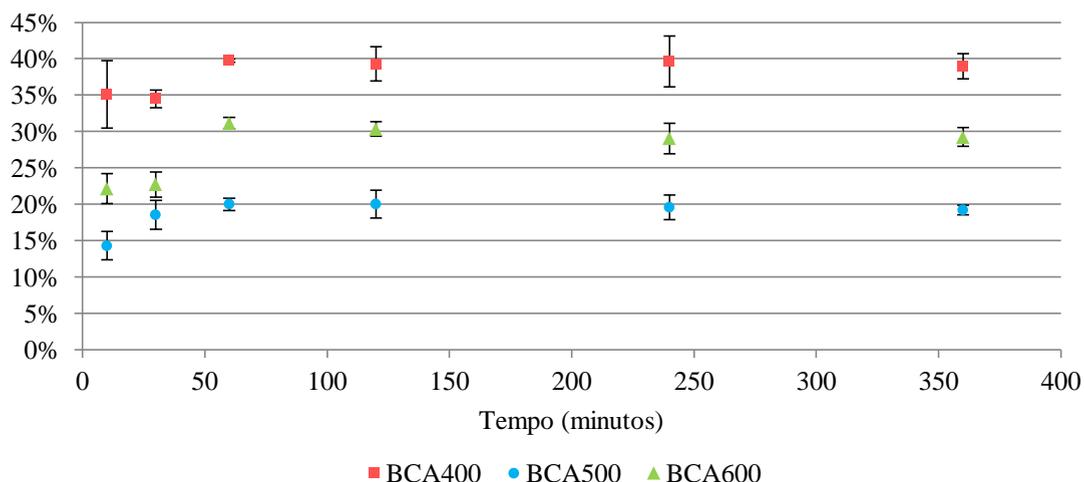
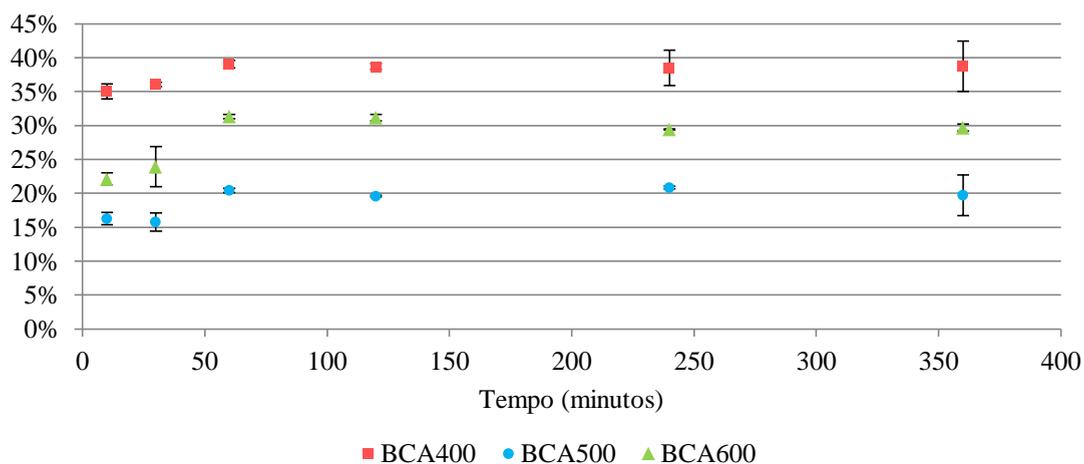
No ensaio de adsorção, foi realizado o teste de massa, onde 0,15; 0,25 e 0,40g de BCA 400, BCA 500 e BCA 600 foram suspensos em 120 mL de efluente e agitados a 200 rpm, com alíquotas sendo coletadas em intervalos de tempo pré-estabelecidos de 10, 30, 60, 120, 240, 360 minutos, que foram filtradas antes da análise. O experimento foi conduzido a uma temperatura de aproximadamente 25 °C e foram utilizadas três repetições para cada tratamento. A concentração de  $\text{NH}_4^+$  foi analisada por cromatografia de íons.

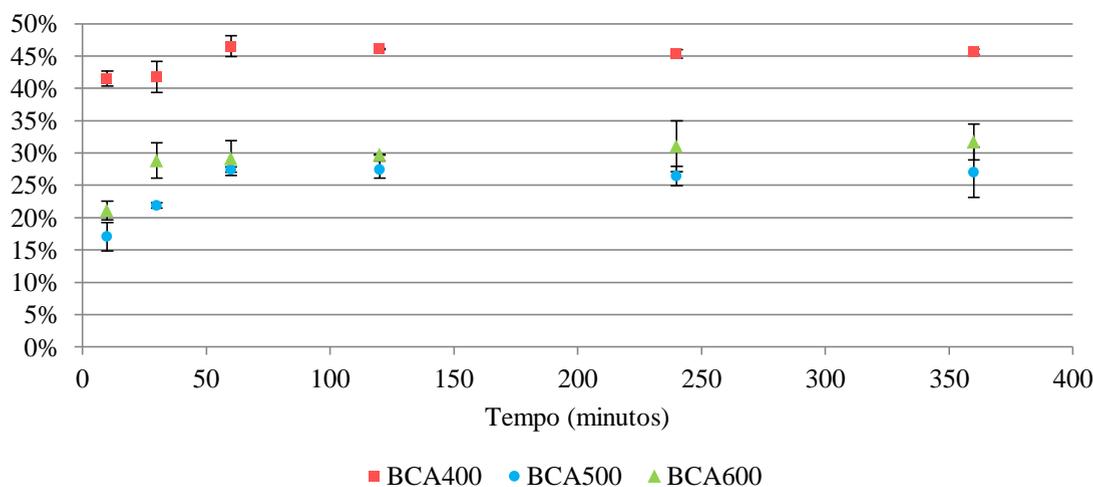
Os resultados foram aplicados às equações dos modelos de cinética de pseudo-primeira-ordem e pseudo-segunda-ordem a fim de verificar em qual dos dois modelos se encaixa o processo de adsorção.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Figura 01 apresenta os resultados do ensaio de adsorção usando diferentes massas de biochars (BCA400, BCA500 e BCA600), com a porcentagem de adsorção durante 360 minutos. É possível perceber que o biochar produzido com uma temperatura de pirólise de 400°C apresentou porcentagens de adsorção superiores aos de 500°C e 600°C para todas as massas utilizadas.

Comparando os resultados obtidos para cada uma das massas nota-se um aumento na capacidade de adsorção concomitante ao aumento da massa, atingindo porcentagens de 39%, 40% e 47%, respectivamente, sendo 0,40 g de biochar em 120 ml de efluente a dosagem com o melhor desempenho.





BCA400: Biochar produzido a 400°C e submetido à lavagem ácida com HNO<sub>3</sub> para atingir pH 7,0.  
BCA500: Biochar produzido a 500°C e submetido à lavagem ácida com HNO<sub>3</sub> para atingir pH 7,0.  
BCA600: Biochar produzido a 600°C e submetido à lavagem ácida com HNO<sub>3</sub> para atingir pH 7,0.  
Barras de desvio padrão são indicadas no gráfico.

Figura 01: Porcentagem de remoção de NH<sub>4</sub><sup>+</sup> de efluente industrial usando 0,15g (A), 0,25g (B) e 0,4g (C) de biochar produzido com temperatura de pirólise de 400, 500 e 600°C e pH 7,0.

O melhor desempenho do BCA400 pode ter ocorrido devido aos prejuízos causados por temperaturas de pirólise mais altas. Apesar de apresentarem um maior volume de poros e área superficial, BCA500 e BCA600 possuem um maior tamanho médio de poro (Tabela 01), o que influencia na adsorção uma vez que a presença de poros menores facilita a interação de grupos funcionais presentes na superfície do biochar (XU *et al.*, 2019).

Tabela 01: Parâmetros obtidos pela análise da estrutura porosa dos biochars.

Biochar	S <sub>BET</sub>	V <sub>P</sub>	I <sub>BET</sub>	I <sub>BET</sub>
	m <sup>2</sup> g <sup>-1</sup>	cm <sup>3</sup> g <sup>-1</sup>	Å	nm
400 °C	2,448	0,010006	54,3193619	5,431
500 °C	3,4448	0,014155	68,78880479	6,879
600 °C	4,1252	0,020112	72,66804772	7,267

S<sub>BET</sub>: área superficial BET; V<sub>P</sub>: volume de poros; I<sub>BET</sub>: tamanho médio de poro.  
Fonte: Pereira, 2020.

A presença de grupos funcionais no biochar é um dos fatores de maior influência no processo adsorção química (ZHANG, LI e MAHMOOD, 2014). A adsorção de NH<sub>4</sub><sup>+</sup>

por biochar ocorre física e quimicamente, no entanto existe grande prevalência de processos químicos (AHMED *et al.*, 2016; XU *et al.*, 2019), o que reforça o fato de um maior volume de poros e área superficial não indicarem uma porcentagem final de adsorção (CUI *et al.*, 2016; TAKAYA *et al.*, 2016).

A redução da quantidade de grupos funcionais juntamente ao aumento da temperatura de pirólise é uma afirmativa defendida pela maior desidrogenação, desidratação e condensação devido ao uso de temperaturas mais altas (TANG *et al.*, 2019), resultando numa menor quantidade de grupos fenol, hidroxila e carboxila na superfície do biochar (AHMED *et al.*, 2016; CHEN *et al.*, 2021).

A superfície negativamente carregada do biochar possui relevância na adsorção de  $\text{NH}_4^+$  por se tratar de uma espécie catiônica (YAO *et al.*, 2012). A carga da superfície do biochar está diretamente ligada com a temperatura de pirólise, onde quanto mais alta a temperatura menos negativamente carregada será a superfície (XU *et al.*, 2019), tendo influenciado na redução da porcentagem adsorção com o aumento da temperatura durante a pirólise da biomassa vegetal.

Considera-se necessário apontar a influência da lavagem ácida nos resultados de adsorção encontrados, já que a lavagem utilizando  $\text{HNO}_3$  pode promover influências variáveis na adsorção de  $\text{NH}_4^+$ . A utilização de  $\text{HNO}_3$  em dosagens semelhantes às aplicadas no presente trabalho tende a provocar um aumento no tamanho dos poros do biochar (AHMED *et al.*, 2016) o que, como apontado anteriormente, prejudica a interação com grupos funcionais superficiais do biochar (XU *et al.*, 2019). Logo, a lavagem ácida pode ter influenciado de maneira negativa o BCA500 e BC600 na adsorção de  $\text{NH}_4^+$  (GAI *et al.* 2014; VU *et al.* 2017), visto que para redução o pH até níveis aceitáveis foi preciso utilizar uma dosagem superior a utilizada para o BCA400.

A aplicação dos resultados à modelos cinéticos demonstrou coeficientes de correlação para a pseudo-segunda ordem superiores aos de pseudo-primeira ordem, com o maior valor de  $R^2=0,99783$ . O resultado encontrado reforça a constatação de que a grande maioria dos processos de adsorção de  $\text{NH}_4^+$  seguem o modelo cinético de pseudo-segunda ordem, tratando de um processo químico com presença de compartimento ou troca de cátions (VU *et al.*, 2017; SHANG *et al.*, 2018).



Com as curvas do modelo cinético (Figura 02) é possível inferir que adsorção de  $\text{NH}_4^+$  atingiu o equilíbrio no tempo de 60 minutos, depois desse período a porcentagem de adsorção manteve-se sem grandes alterações (GAI *et al.*, 2014; VU *et al.*, 2017; SHANG *et al.*, 2018). Tal característica demonstra uma alta eficiência do processo, atingindo, com 0,40 g de BCA400, uma eficiência de remoção (Re) de 87% depois de 60 minutos.

## CONCLUSÕES

O uso de biochar modificado com lavagem ácida mostrou ser capaz de adsorver  $\text{NH}_4^+$  presente em efluente industrial, sendo o BCA400 aquele que apresentou maior porcentagem de adsorção dentre as variações verificadas.

O modelo cinético gerada pela equação de pseudo-segunda ordem foi o que mais se adequou segundo os resultados encontrados com processo de adsorção de  $\text{NH}_4^+$  utilizando biochar.

## REFERÊNCIAS

AHMED, Mohammad Boshir; ZHOU, John L.; NGO, Huu H.; GUO, Wenshan; CHEN, Mengfang. Progress in the preparation and application of modified biochar for improved contaminant removal from water and wastewater. **Bioresource Technology**. v. 214, p. 836–851. Elsevier, 2016.

ARCHELA, Edison; CARRARO, Adalberto; FERNANDES, Fernando; BARROS, Omar Neto Fernandes; ARCHELA, Rosely Sampaio. Considerações Sobre a Geração de Efluentes Líquido sem Centros Urbanos. v. 12, n. 1, p. 517-525. **Geografia**, 2003.

BORGES, J. A. *et al.* **Determinação de Nitrogênio Amoniacal em Efluente Líquido da Digestão Anaeróbia de Macro e Microalgas**. Universidade Federal do Rio Grande. XX Congresso Brasileiro de Engenharia Química. Florianópolis, SC. 2014.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. **Resolução CONAMA nº357**, de 17 de março de 2005. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências. Alterada pela Resolução 410/2009 e pela 430/2011, do Conselho Nacional do Meio Ambiente-CONAMA. Diário Oficial da União, n. 053, p.58-63, 18 mar. 2005.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. **Resolução CONAMA nº430**, de 13 de maio de 2011. Dispõe sobre as condições e padrões de lançamento de efluentes. Complementa e altera a

Resolução nº 357, de 17 de março de 2005, do Conselho Nacional do Meio Ambiente - CONAMA. Diário Oficial da União, n. 92, p.89, 16 mai. 2011.

CHEN, Mei; WANG, Fang; ZHANG, De-li; YI, Wei-ming; LIU, Yi. Effects of acid modification on the structure and adsorption  $\text{NH}_4^+$ -N properties of biochar. **Renewable Energy**. v. 169, p. 1343–1350. Elsevier, 2021.

CUI, Xiaoqiang; HAO, Hulin; ZHANG, Changkuan; HE, Zhenli; YANG, Xiao. Capacity and mechanisms of ammonium and cadmium sorption on different wetland-plant derived biochars. **Science of the Total Environment**. v. 539, p. 566–575. Elsevier, 2016.

FANGMEIER, Michele; HOEHNE, Lucélia. Avaliação de Carvão Ativado e de Sílica como Adsorventes para Amostras com Corantes e com Sódio. **Revista Destaques Acadêmicos**. v. 4, n. 4. CETEC/UNIVATES, 2012.

GAI, Xiapu; WANG, Hongyuan; LIU, Jian; ZHAI, Limei; LIU, Shen; REN, Tianzhi; LIU, Hongbin. Effects of Feedstock and Pyrolysis Temperature on Biochar Adsorption of Ammonium and Nitrate. **PLoS ONE**, 2014.

GIORDANO, G. **Tratamento e Controle de Efluentes Industriais**. 2004.

HISCOCK, K. M.; LLOYD, J. W.; LERNER, D. N. Review of Natural and Artificial Denitrification of Groundwater. University of Birmingham, School of Earth Sciences. **Water Research**. v. 25, n. 9. p. 1099-1111. Elsevier, 1991.

HU, Xiaojian; ZHANG, Xinbo; NGO, Huu Hao; GUO, Wenshan; WEN, Haitao; LI, Chaocan; ZHANG, Yongchao; MA, Chanjuan. Comparison study on the ammonium adsorption of the biochars derived from different kinds of fruit peel. **Science of the Total Environment**. v. 707, p. 13554- 13564. Elsevier, 2020.

JHA, P., BISWAS, A.K., LAKARIA, B.L., RAO, A.S. Biochar in agriculture – prospects and related implications. **Current Science**. v. 99, n. 9, p. 1218–1225. EBSCOhost, 2010.

KAMBO, Harpreet Singh; DUTTA, Animesh. A Comparative Review of Biochar and Hydrochar in Terms of Production, Physico-Chemical Properties and Applications. University of Guelph, Canada. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**. v. 45. p. 359-378. Elsevier, 2015.

KIZITO, Simon; WU, Shubiao; KIRUI, W. Kipkemoi; LEI, Ming; LU, Qimin; BAH, Hamidou; DONG, Renjie. Evaluation of Slow Pyrolyzed Wood and Rice Husks Biochar for Adsorption of Ammonium Nitrogen from Piggery Manure Anaerobic Digestate Slurry. **Science of the Total Environment**. v. 505. p. 102-112. Elsevier, 2014.

LI, Xiaoming; SHEN, Qirong; ZHANG, Dongqing; MEI, Xinlan; RAN, Wei; XU, Yangchun; YU, Guanghui. Functional Groups Determine Biochar Properties (pH and EC) as Studied by Two-Dimensional  $^{13}\text{C}$  NMR Correlation Spectroscopy. **PloS One**. v. 8, n. 6. 2013.

NAVAL, Lillian Pena; COUTO, Thaiza Clemente. **Remoção de Nitrogênio Amoniacal em Efluentes de Sistemas Anaeróbios**. Universidade Federal do Tocantins. 2005.



PEREIRA, Ellen Jessica Monteiro. **Remoção de metais pesados de solução aquosa usando biochar e biomassa seca de planta aquática**. 2020. 97f. Dissertação (Mestrado em Tecnologia Ambiental) – Programa de Pós-graduação em Tecnologia Ambiental (PGTA/UFF), Universidade Federal Fluminense, Volta Redonda, RJ.

REZENDE, E. I. P.; ANGELO, L. C.; dos SANTOS, S. S.; MANGRICH, A. S. Biocarvão (Biochar) e Sequestro de Carbono. **Revista Virtual de Química**. v. 3, n. 5, p. 426-433. 2011.  
SHANG, Lu; XU, Hao; HUANG, Shaobin; ZHANG, Yongqing. Adsorption of Ammonium in Aqueous Solutions by the Modified Biochar and its Application as an Effective N-Fertilizer. **Water, Air, & Soil Pollution**. v. 229, n. 320, p. 1-15. Springer, 2018.

SONG, Weiping; GUO, Mingxin. Quality Variations of Poultry Litter Biochar Generated at Different Pyrolysis Temperatures. **Journal of Analytical and Applied Pyrolysis**. v. 94, p. 138-145. Elsevier, 2012.

TAKAYA, C. A.; FLETCHER, L. A.; SINGH, S.; ANYIKUDE, K. U.; ROSS, A. B. Phosphate and ammonium sorption capacity of biochar and hydrochar from different wastes. **Chemosphere**. v. 145, p. 518-527. Elsevier, 2016.

TAN, Xiaofei; LIU, Yunguo; ZENG, Guangming; WANG, Xin; HU, Xinjiang; GU, Yanling; YANG, Zhongzhu. Application of biochar for the removal of pollutants from aqueous solutions. **Chemosphere**. v. 125, p. 70-85. Elsevier, 2015.

TANG, Yao; ALAM, Md Samrat; KONHAUSER, Kurt O.; ALESSI, Daniel S.; XU, Shengnan; TIAN, WeiJun; LIU, Yang. Influence of pyrolysis temperature on production of digested sludge biochar and its application for ammonium removal from municipal wastewater. **Journal of Cleaner Production**. v. 209, p. 927-936. Elsevier, 2019.

VU, Thi Mai; TRINH, Van Tuyen; DOANC, Dinh Phuong; VAND, Huu Tap; NGUYENE, Tien Vinh; VIGNESWARAN, Saravanamuthu; NGOE, Huu Hao. Removing ammonium from water using modified corncob-biochar. **Science of the Total Environment**. v. 579, p. 612-619. Elsevier, 2017.

XU, Defu; CAO, Junmin; LI, Yingxue; HOWARD, Alan; YU, Kewei. Effect of pyrolysis temperature on characteristics of biochars derived from different feedstocks: A case study on ammonium adsorption capacity. **Waste Management**. v. 87, p. 652-660. Elsevier, 2019.

YAO, Ying; GAO, Bin; ZHANG, Ming; INYANG, Mandu; ZIMMERMAN, Andrew R. Effect of biochar amendment on sorption and leaching of nitrate, ammonium, and phosphate in a sandy soil. **Chemosphere**. v. 86, p. 1467-1471. Elsevier, 2012.

ZHANG, Yang; LI, ZIFU; MAHMOOD, Ibrahim B. Recovery of  $\text{NH}_4^+$  by corn cob produced biochars and its potential application as soil conditioner. **Front. Environ. Sci. Eng.** v. 8, n. 6, p. 825-834. Springer, 2014.

ZHAO, Ling; CAO, Xinde; MASEK, Ondrej; ZIMMERMAN, Andrew. Heterogeneity of biochar properties as a function of feedstock sources and production temperatures. **Journal of Hazardous Materials**. v. 256-257, p. 1-9. Elsevier, 2013.

ZHENG, Hao; WANG, Zhenyu; DENG, Xia; ZHAO, Jian; LUO, Ye; NOVAK, Jeff; HERBERT, Stephen; XING, Baoshan. Characteristics and nutrient values of biochars produced from giant reed at different temperatures. **Bioresource Technology**. v. 130, p. 463–471. Elsevier, 2013.