



NICOLLI SOUZA SENADOR

**REMOÇÃO DE FÓSFORO EM BIOCÁRVÕES
MODIFICADOS COM LODO DE ESTAÇÃO DE
TRATAMENTO DE ÁGUA**

**LAVRAS – MG
2019**

NICOLLI SOUZA SENADOR

**REMOÇÃO DE FÓSFORO EM BIOCARVÕES MODIFICADOS COM LODO DE
ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ÁGUA**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à
Universidade Federal de Lavras, como parte das
exigências do Curso de Engenharia Ambiental e
Sanitária, para a obtenção do título de Bacharel.

Prof. Dr. Mateus Pimentel de Matos
Orientador
Me. Ivan Célio Andrade Ribeiro
Coorientador

**LAVRAS – MG
2019**

NICOLLI SOUZA SENADOR

**REMOÇÃO DE FÓSFORO EM BIOCÁRVÕES MODIFICADOS COM
LODO DE ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ÁGUA**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à
Universidade Federal de Lavras, como parte das
exigências do Curso de Engenharia Ambiental e
Sanitária, para a obtenção do título de Bacharel.

APROVADA em 02 de dezembro de 2019.

Prof. Dra. Camila Silva Franco
Mestrando Matheus de Sá Farias

Prof. Dr. Mateus Pimentel de Matos
Orientador
Me. Ivan Célio Andrade Ribeiro
Coorientador

**LAVRAS – MG
2019**

À Deus, pelas bênçãos recebidas. Aos meus pais, por nunca terem medido esforços para ver esse sonho realizado. Ao meu irmão Diogo, por ser meu parceiro de vida. Ao Leonardo, por todo amor e companheirismo. Ao Mateus Matos, Matheus Farias, Ivan e à Maria Júlia pelo suporte, paciência e por compartilhar seus conhecimentos para o desenvolvimento desta pesquisa. À República Joia Rara, por terem tornado todos esses anos mais leves e felizes. Minhas conquistas são de todos vocês.

RESUMO

Ao mesmo tempo que se discute sobre a escassez das reservas de fósforo (P), quantidades excessivas desse elemento químico são desperdiçadas nas Estações de Tratamento de Esgoto, causando impactos ambientais negativos. Desta maneira, é importante encontrar tecnologias que permitam remover e recuperar P das águas residuárias. Neste contexto, surgem os biocarvões que se modificados, se tornam mais efetivos na redução da concentração de fosfatos em efluentes. Pela presença de Fe e Al no lodo de estações de tratamento de água (ETA), na teoria é possível ativar os resíduos orgânicos. Assim, o presente trabalho objetivou avaliar a capacidade de remoção de P de biocarvões preparados com diferentes proporções de mistura de lodo de ETA e serragem de madeira. Para a avaliação, foram testados as proporções de mistura de 50%, 33,33%, 20%, 16,67% e 0% de lodo de estação de tratamento de água, completando o restante com serragem de madeira para produção do biocarvão. Após 24 horas no agitador orbital em contato com soluções de P, quantificou-se as concentrações de fósforo disponível da solução filtrada, além do pH. Com base nos resultados, verificou-se que a adição do lodo de ETA aumenta a capacidade de sorção do biocarvão, tendo a melhor proporção de mistura com 80,0% de serragem e 20% de lodo de ETA, removendo até $45,79 \text{ mg g}^{-1}$, para uma concentração de P inicial de mg L^{-1} . Desta maneira, é possível combinar dois resíduos sólidos para remover e recuperar fósforo de águas residuárias.

Palavras chave: Tratamento de águas residuárias, sorção, biochar.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	1
2. MATERIAL E MÉTODOS.....	3
2.1 Localização	3
2.2 Obtenção do lodo e da Serragem de Madeira e preparação	3
2.3 Preparação do carvão	5
2.4 Ensaios de sorção de P	6
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO	7
4. CONCLUSÕES.....	11
REFERÊNCIAS	12

1. INTRODUÇÃO

Ao mesmo tempo que se discute sobre a escassez das reservas de fósforo (P), quantidades excessivas deste elemento químico têm sido descartadas em cursos d'água por Estações de Tratamento de Esgoto, causando impactos ambientais ao meio físico, como a eutrofização (MATOS, 2010; IWANIEC, 2016). Sendo assim, é importante que se encontrem soluções para aproveitar o elemento químico de águas residuárias e resíduos sólidos, mitigando os impactos ambientais negativos que podem ser causados pela má disposição de P no meio físico.

Dentre as fontes importantes de fósforo, que podem ser responsáveis pela contaminação de cursos d'água com P, pode-se citar os esgotos sanitários, as águas residuárias industriais, os dejetos animais, a lixiviação de solo com uso de fertilizantes, entre outros (ANDERSON; GLIBERT; BURKHOLDER, 2002; ESTEVES, 2011; PROSAB, 2009). Dada a grande geração dos esgotos sanitários, que possuem contribuições de fósforo de detergentes em pó (hoje em dia em menores proporções), detergentes utilizados na lavagem da louça, excretas humanas, alimentos e produtos de higiene pessoal (COMBER et al., 2013; QUEVEDO; PAGANINI; 2018), há grande preocupação em relação às cargas despejadas diariamente na natureza, principalmente por essa fonte pontual.

Por esta razão, pesquisas têm sido realizadas no intuito de se propor alternativas para remoção de P de águas residuárias, como do esgoto sanitário, sobretudo visando o seu aproveitamento (ATINEZA-MARTÍNEZA et al., 2014) e complementar o uso de fertilizantes (ZHENG et al. 2010).

Dentre as técnicas citadas na literatura e utilizadas para a remoção de P, pode-se citar remoção por processos biológicos (PRATT et al., 2012; YUAN; PRATT; BATSTONE, 2012), processos físico-químicos (MATOS et al., 2012; PARK et al., 2016; RITTMANN et al., 2011) ou pela combinação dos dois.

Desta forma é atrativo a utilização de materiais reativos, que proporcionem a sorção, e que sejam de baixo custo e de grande disponibilidade, como tem sido proposto em diversas pesquisas (OLADOJA et al., 2015; ROMAR-GASALLA et al., 2016; XIONG et al., 2011). Nos últimos anos, já foram avaliados na tentativa de aumentar a remoção de P, conchas de mexilhões dourados (SOUZA, 2017), fóssil do *Lithothamnium calcareum* (MELO, 2017), lodos de estação de tratamento de água (MORTULA et al, 2007; NAIR; AHAMMED, 2015;

COELHO, 2018), casca de ovo (SIQUEIRA, 2018), óxidos de ferro, carvão ativado (RAMASAHAYAM et al., 2014), dentre outros.

Nesse sentido surgem os biocarvões (BC) e biocarvões modificados (BCM) são materiais produzidos pela pirólise (queima na ausência de oxigênio) de resíduos orgânicos, com ou sem impregnação de alguma substância inorgânica, e apresentam diversas aplicações ambientais (LEHMANN; JOSEPH, 2009; LI et al., 2016; RONSSE et al., 2013; WANG et al., 2015), como para melhorar as propriedades físicas de solos, como permeabilidade, capacidade de retenção de água e nutrientes e drenagem superficial e também aumentar a sorção de P.

Além disso, ultimamente pesquisas com os BC ou BCM têm sido propostas para remover nutrientes de águas residuárias e resíduos sólidos, visando o seu aproveitamento (FIGUEREDO et al., 2017), foco de grande interesse na economia circular (DESMIDT et al., 2015; JEDELAHUSER; KASPRZYK; GAJEEWSKA, 2019). Como discutido, para o preparo desses sorventes são necessários um resíduo orgânico e um agente ativador. Como fonte de carbono, por exemplo, já foram avaliados lodo de esgoto (LI et al., 2019), borra de café (CHING et al., 2011), cascas de café (OLIVEIRA et al., 2009), biomassa de fungos (JACK et al., 2019), milho triturado (FANG et al., 2014), palha de milho (LIU et al., 2015), palha de milho (LIU; SHENG; QI, 2019), talo de algodão (JING et al., 2014), cascas de amendoim, feijão e arroz, espiga de milho (YU et al., 2016), bagaço de cana (LI, 2016) e serragem de madeira (LOU et al., 2016), dentre outros. Já para impregnação e a ativação de resíduos orgânicos para produção de carvões ativados ou de BC, comumente emprega-se ferro, alumínio, magnésio, zinco e cálcio (AGRAFIOTI et al., 2014; LI et al., 2017; LIN et al., 2019; LIU et al., 2019).

O lodo de estação de tratamento de água (ETA), por ser rico em Fe e/ou Al (AHMAD et al., 2016), poderia ser utilizado para aumentar o potencial de produção de BC e sua capacidade de sorção, assim como foi feito para a palha de arroz misturada à casca de ovo (fonte de Ca) por Liu, Sheng e Qi (2019). Assim, seria possível aproveitar um resíduo (lodo de ETA) para ativação de um resíduo orgânico, como a serragem de madeira, que é um material abundante, fácil aquisição, baixos custos e que apresenta potencial de sorção de poluentes (ALI; ASSIM, 2012; MATOS, 2013). Neste contexto, a presente proposta de trabalho visa avaliar a produção de um biocarvão, a partir da mistura de diferentes proporções de mistura de serragem, um resíduo orgânico, e lodo de ETA da Universidade Federal de Lavras, e sua capacidade de sorção de fósforo.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Localização

O estudo foi realizado no campus da Universidade Federal de Lavras (UFLA), na cidade de Lavras – MG, com ensaios de avaliação de sorção no no Laboratório de Águas Residuárias e Reúso de Água do Setor de Engenharia Ambiental e Sanitária do Departamento de Recursos Hídricos e Saneamento (DRS). As coordenadas geográficas de localização do local de estudo são: 21°13'40" de latitude Sul, 44°57'50" de longitude Oeste.

2.2 Obtenção do lodo e da Serragem de Madeira e preparação

O lodo utilizado no experimento foi cedido pela Estação de Tratamento de Água (ETA) da Universidade Federal de Lavras, sendo coletado após seu desaguamento, em leitos de secagem, onde o resíduo ficou em torno de 30 dias. A referida estação é classificada como estação de tratamento convencional, pois possui o ciclo completo de tratamento composto por captação, pré-oxidação com hipoclorito de cálcio, controle do pH com carbonato de sódio, coagulação com cloreto férrico, floculação, decantação, filtração em areia e carvão ativado e desinfecção com hipoclorito de cálcio.

Assim, possui elevados teores de ferro, como verificado por Sun et al. (2015), que encontraram uma concentração de ferro total no lodo de ETA na Austrália, cujo coagulante era o coreto férrico, era de 155 g kg⁻¹ de lodo seco, além de outros metais (Al, Mn, S, Zn, Pb, Ni, Cu e Cd) em menores quantidades, o que poderia propiciar a ativação do resíduo orgânico, para elevar sua capacidade de sorção de P.

A quantidade de lodo gerada na Estação de Tratamento de Água da UFLA, de acordo com Neris (2015) é de cerca de 13,6 kg d⁻¹, estando suas características representadas na tabela 1.

Tabela 1: Características dos efluentes dos filtros e decantador enviados para o adensador, e características dos resíduos após o adensamento

Parâmetros	Unidades	Efluente Filtro e Decantador*	Lodo Adensado	Padrões de Lançamento
Turbidez	UNT	893	-	-
Cor	UC	2.036	-	-
pH		7,5	7,6	5 – 9 ⁽¹⁾
S. Sed	mL L ⁻¹	94	1.000	1 ⁽¹⁾
ST	mL L ⁻¹	1.441	109.073	-
SD	mL L ⁻¹	505	1.561	150 ⁽²⁾
SV	mL L ⁻¹	466	22.640	-
TS	%	0,14	10,7	-
Fósforo	mL L ⁻¹	-	110	-
DQO	mL L ⁻¹	-	23.568	180 ⁽²⁾
Nitrogênio	mL L ⁻¹	-	44	20 ⁽¹⁾

*média ponderada dos valores obtidos em função da vazão dos filtros e do decantador; (1) Resolução CONAMA n° 430/2011; (2) Deliberação Normativa Conjunta COPAM/CERH-MG n°01/2008.

Fonte: Neris (2015)

A serragem de madeira foi disponibilizada pela madeireira da UFLA e foi triturada e homogeneizada em peneira com abertura de 0,475 mm, em seguida, os resíduos foram misturados ao lodo de ETA, com as proporções estabelecidas na Tabela 2.

Tabela 2: Proporções de lodo de ETA e serragem em cada tratamento

Tratamento	Lodo de ETA (g)	Serragem (g)	% de lodo de ETA
E0	0	100	0,00
E1	20	100	16,67
E2	25	100	20,00
E3	50	100	33,33
E4	100	100	50,00

Fonte: Do Autor (2019).

Cada mistura foi seca em estufa até que apresentasse massa constante e, em seguida, homogeneizada em peneira com abertura de 0,7 mm. Os materiais foram levados ao Agitador do Tipo Wagner por 24 horas para ocorrer novamente a homogeneização da mistura.

2.3 Preparação do carvão

Com as diferentes proporções de mistura, foram confeccionados os carvões, com base no proposto em Wang et al. (2017), com algumas adaptações, de acordo com os equipamentos disponíveis nos Laboratórios da UFLA. Nesta etapa, contou-se também com a utilização de equipamentos do Laboratório de Nutrição Mineral de Plantas do Departamento de Ciências do Solo (DCS) da Universidade Federal de Lavras.

Cilindros de aço com capacidade de 0,1 L, como os apresentados na Figura 1, foram preenchidos totalmente até as laterais e a tampa com cada substrato, de forma a minimizar a presença de oxigênio no meio. Esses foram fechados, acondicionados em forno tipo mufla sob temperatura de 500 °C, com taxa de aquecimento de aproximadamente 5°C min⁻¹. A temperatura máxima foi mantida por 2 h (pirólise lenta) e o resfriamento também lento, por 24 h. Em função da liberação de gases, particulados e odor, realizou-se a queima da mistura em capela, no Laboratório do DCS.

Figura 1: Cilindro de aço utilizado para confecção do biocarvão



Fonte: Do Autor (2019).

2.4 Ensaio de sorção de P

Após o preparo do biocarvão, foi determinada a capacidade de sorção de P por cada um dos resíduos e das misturas pelo método Batch de laboratório. Massas de 0,02, 0,04 e 0,08, 0,20 e 0,40 g de cada mistura foram adicionadas, separadamente e em triplicata, a tubos de polipropileno tipo Falcon, contendo um volume (V) de 40 mL de soluções de P de 100 mg L⁻¹. Essas soluções foram preparadas a partir da diluição de uma solução estoque de 1000 mg L⁻¹ de KH₂PO₄, sem correção do pH.

Em seguida, os tubos foram levadas ao Agitador do Tipo Wagner por 24 h (Figura 2), sob temperatura ambiente, com posterior filtração da solução e quantificação da concentração de P, pelo método do ácido ascórbico (APHA, 2012; MATOS, 2012), com leitura da absorbância no espectrofotômetro no laboratório do DRS.

Figura 2: Agitador do Tipo Wagner com as amostras em tubos Falcon



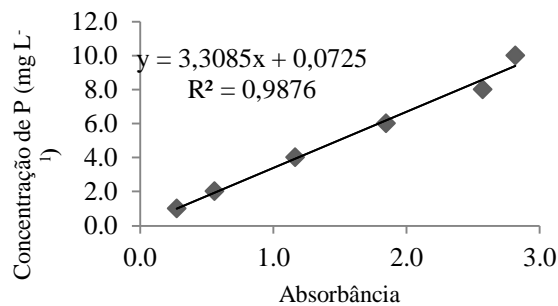
Fonte: Do Autor (2019).

Os biocarvões mais efetivos foram escolhidos para nova avaliação de sorção, com uma concentração menor de P (17 e 26 mg L⁻¹), de forma a inferir sobre o desempenho em condições mais próximas ao de esgotos sanitários, que têm tipicamente de 4 a 15 mg L⁻¹ de P total (VON SPERLING, 2014). Na nova avaliação, foi utilizada uma nova curva padrão, apresentada na

Figura 5. Durante a realização do ensaio, também foi aferido o pH das soluções, pois é uma variável de influência na remoção de P.

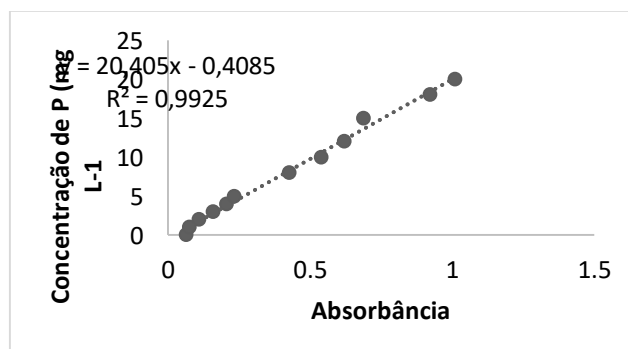
Para conversão dos valores de absorbância em mg L^{-1} , utilizou-se a curva da Figura 3, para a solução de fósforo com concentração de $100,0 \text{ mg L}^{-1}$ de P, preparada com soluções de 1,0; 2,0; 4,0; 6,0; 8,0 e $10,0 \text{ mg L}^{-1}$ de P e, para a concentração de 20 mg L^{-1} de P a curva da Figura 4, preparada através de soluções de 0,0; 1,0; 2,0; 3,0; 4,0; 5,0; 6,0; 8,0; 10,0; 12,0; 15,0, 18,0; $20,0 \text{ mg L}^{-1}$ de P. Utilizando valores de absorbância em x, estimou-se a concentração de fósforo disponível remanescente em solução.

Figura 3: Curva Padrão de solução de fósforo preparada para avaliação da concentração de P disponível no ensaio de sorção com concentrações de $100,0 \text{ mg L}^{-1}$ de P.



Fonte: Do Autor (2019).

Figura 4: Curva Padrão de solução de fósforo preparada para avaliação da concentração de P disponível no ensaio de sorção com concentrações de $20,0 \text{ mg L}^{-1}$ de P.



Fonte: Do Autor (2019).

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Tabela 3, estão apresentados os valores médios obtidos da concentração de fósforo remanescente (C_f); concentração de fósforo adsorvido (C_a), que é a diferença entre a solução preparada e a remanescente; a massa removida de P por massa de biocarvão utilizada (C_m),

calculada a partir de C_a e a massa adicionada de sorvente (m), para o ensaio com solução preparada de 100 mg L⁻¹ de P (C_p).

Tabela 3. Valores das concentrações de fósforo disponível em solução e sorvido pelo biocarvão preparado com diferentes proporções de serragem de madeira e lodo de ETA

Tratamento	m (g)	Co(mg L ⁻¹)	C _f (mg L ⁻¹)	q(mg g ⁻¹)
E4	0,02	88,00	12,00	23,99
E4	0,04	87,51	12,49	12,49
E4	0,08	84,60	15,40	7,70
E4	0,20	75,93	24,07	4,81
E4	0,40	69,07	30,93	3,09
Média				10,42 ± 8,38
E3	0,02	86,08	13,92	27,83
E3	0,04	83,04	16,96	16,96
E3	0,08	73,02	26,98	13,49
E3	0,20	68,22	31,78	6,36
E3	0,40	65,17	34,83	3,48
Média				13,62 ± 9,60
E2	0,02	77,11	22,89	45,79
E2	0,04	74,15	25,85	25,85
E2	0,08	84,40	15,60	7,80
E2	0,20	71,43	28,57	5,71
E2	0,40	102,81	-2,81	0,00
Média				17,03 ± 18,76
E1	0,02	85,95	14,05	28,10
E1	0,04	87,13	12,87	12,87
E1	0,08	85,14	14,86	7,43
E1	0,20	81,70	18,30	3,66
E1	0,40	73,46	26,54	2,65
Média				10,94 ± 10,40
E0	0,02	80,66	19,34	38,68
E0	0,04	86,75	13,25	13,25
E0	0,08	74,30	25,70	12,85
E0	0,20	74,14	25,86	5,17
E0	0,40	98,13	1,87	0,19
Média				14,03 ± 14,83

Em que, Legenda: *C_o = Concentração inicial de fósforo; C_f = Concentração de fósforo restante na amostra; C_a = Concentração de soluto (P) adsorvido; q = Concentração de fósforo adsorvida por massa de mistura adicionada, m = massa de sorvente.

Fonte: Do Autor (2019).

Com base nos resultados, verificou-se que as maiores capacidades de remoção de P foram proporcionados no tratamento E2, com os biocarvões preparados com 20% de lodo de estação de tratamento de água e 0,02g da mistura, alcançando até 45,79 mg de P sorvido por grama de sorvente adicionado.

Com o aumento da massa de mistura adicionada, a capacidade de sorção de fósforo diminuiu em todos os tratamentos, devido a redução da capacidade de absorção nos poros do biocarvão em razão da adição do lodo de ETA, um material de menor granulometria e pouco afetado pela queima, contrapondo a ativação com o Fe. Essa pode ter sido a razão pela qual Liu, Sheng e Xi (2019) observaram melhores resultados com a mistura do biocarvão de 1:1 em comparação com o sorvente preparado com 2:1, considerando a proporção de casca de ovo e palha de arroz. Segundo Lin et al. (2009) e Tan et al. (2017), a estrutura dos microporos apresenta um importante papel na área superficial específica e na absorção de poluentes.

Como a concentração de P da solução também é um fator que influencia na capacidade sorvida do biocarvão (ZHAO et al., 2017), testou-se o melhor tratamento (E2) para soluções menos concentradas (17,0 e 26,0 mg L⁻¹ de P), mais próximos dos valores que podem ser encontrados no esgoto sanitário, tendo o tratamento E0 como comparação.

Tabela 4. Avaliação do melhor tratamento (biocarvão com 80,0% de serragem) em relação ao branco para uma solução de 18 e 26 mg L⁻¹, e os valores aferidos de pH

Tratamento	q(mg g ⁻¹)	Eficiência (%)	pH
E2	5,10	9,84	4,40
E2	0,16	0,63	5,32
E2	0,45	3,50	5,53
E2	0,60	11,61	5,82
E2	0,30	11,61	6,16
Média	1,32	7,44	5,45
E0	3,40	9,76	5,91
E0	1,71	9,84	6,08
E0	1,00	11,53	6,37
E0	0,52	14,87	6,90
E0	0,20	11,59	7,36
Média	1,37	11,52	6,52

Em que, Legenda: *q = Concentração de fósforo adsorvida por massa de mistura adicionada.
Fonte: Do Autor (2019).

O melhor desempenho da amostra E2 é novamente observado, sendo superior ao do branco, com máximo de remoção de P de mg g^{-1} . No entanto, ao comparar com outros valores presentes na literatura, as eficiências podem ser consideradas baixas. Chintala et al. (2014), por exemplo, obtiveram remoções de remoção de P de 79%, ao utilizar biocarvão preparado com palha de milho, enquanto, Yao et al. (2011), com biocarvão de beterraba sacarina digerida, alcançaram remoções de 73% de fosfato. Já Takaya et al. (2016), sem ter feito a ativação do biocarvão, verificaram eficiências menores, de 0,0 a 4,4%, o que demonstra a importância do tratamento químico dos resíduos orgânicos antes da queima e produção do biocarvão.

A capacidade de sorção do material no ensaio foi superior aos encontrados por Siqueira (2018) para casca de ovo ($3,36 \text{ mg g}^{-1}$), que avaliou a inserção de material em chicanas; porém inferiores ao reportado por Ribeiro (2017) ($20,4 \text{ mg g}^{-1}$) com casca de ovo e Souza (2017) em ensaios de equilíbrio de lote com cascas trituradas de mexilhão dourado ($55,0 \text{ mg g}^{-1}$). Nos últimos trabalhos, a precipitação de fosfatos parece ter sido o mecanismo mais importante, como também sugeriu Coelho (2018), que utilizou lodo de ETA em sachês.

Outro fator que também pode alterar a capacidade do resíduo em remover fósforo é valor do pH, dado que este depende da capacidade de troca aniônica (BISWAS et al. 2007; ZHANG et al. 2009). Em um pH mais ácido, há predomínio de cargas positivas, aumentando a capacidade de sorção do ânion fosfato (YANG et al., 2006). Com o tratamento com biocarvão de 20,0% de lodo de ETA, o pH esteve em sua maioria na faixa entre 5,0 e 6,0, faixa que Maqbool et al. (2015) encontraram melhor desempenho para lodo de ETA. Deste modo, o pH pode ter influenciado na redução da capacidade de sorção de P a medida que a massa da mistura aumentou, por conta do alcalinizante adicionado na estação de tratamento de água que aumentou o pH das amostras, fazendo com que a capacidade de sorção de P diminuísse.

Além da concentração inicial de P e do pH, Ahmad et al. (2016) afirmam que o tempo de contato interfere na sorção de P. Assim, 24 horas podem ter sido insuficientes para permitir maior absorção pelo material. Nas maiores faixas de concentração do lodo de ETA (*in natura*, sem preparo de biocarvão), por exemplo, Coelho (2018) observou remoção total de P da solução somente após 20 dias de ensaio.

Diante do exposto, observa-se que a utilização de serragem e lodo de ETA proporciona importante remoção de P, possibilitando empregar dois resíduos sólidos para tratar águas residuárias e recuperar um recurso (fósforo) de grande importância para a agricultura. No entanto, requer-se mais estudos para aumentar a capacidade sorçiva do biocarvão preparado a partir da mistura de 80,0% de serragem de madeira de 20,0% de lodo de ETA.

4. CONCLUSÕES

Com base nos resultados, foi possível concluir que:

- O preparo do biocarvão com adição do lodo de ETA permite aumentar a eficiência de remoção de P, removendo até $5,10 \text{ mg g}^{-1}$ para concentrações próximas as dos esgotos sanitários (17 mg L^{-1}) e até $45,79 \text{ mg g}^{-1}$, para uma concentração de P inicial de 100 mg L^{-1} ;
- A melhor mistura encontrada é de 80,0% de serragem de madeira e 20,0% de lodo de ETA;
- A capacidade de sorção diminui com maiores quantidades de lodo de estação de tratamento de água;
- É possível combinar dois resíduos sólidos para remover fósforo de soluções aquosas, recuperando este recurso de grande importância para a agricultura.
- Para complemento desta pesquisa, podem ser feitos trabalhos futuros de isoterma de sorção, cinética de sorção, outras formas de ativar o biocarvão, a caracterização do lodo de ETA, e o deslocamento miscível.

REFERÊNCIAS

- AHMAD, T. et al. Characterization of water treatment sludge and its reuse as coagulant. **Journal of Environmental Management**, v. 182, p. 606–611, 2016.
- ALI, Imran *et al.* Low cost adsorbents for the removal of organic pollutants from wastewater. **Journal of Environmental Management**, India, p. 170-183, 27 jul. 2012.
- ANDERSON, D.M.; GLIBERT, P.M.; BURKHOLDER, J.M. (2002) Harmful algal blooms and eutrophication: nutrient sources, composition, and consequences. *Estuaries*, v. 25, n. 4, p. 704-726.
- ATIENZA-MARTÍNEZA, M.; GEA, G.; ARAUZO, J.; KERSTEN, S. R. A.; KOOSTRA, A. M. J. Phosphorus recovery from sewage sludge char ash. **Biomass and Bioenergy**, v.65, p-42-50, 2014.
- COELHO, M. G. **Eficiência de remoção de fósforo pelo uso do lodo da estação de tratamento de água em sachês**. 21 p. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Ambiental e Sanitária) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2018.
- CHING, Sim Lan *et al.* Influence of impregnation ratio on coffee ground activated carbon as landfill leachate adsorbent for removal of total iron and orthophosphate. **Desalination**, Austrália, p. 225-234, 24 jun. 2011.
- COMBER, Sean et al. Domestic source of phosphorus to sewage treatment works. **Environmental Technology**, Reino Unido, p. 1349-1358, 14 dez. 2012.
- DESMIDT, Evelyn et al. Global Phosphorus Scarcity and Full-Scale PRecovery Techniques: A Review. **Critical Reviews in Environmental Science and Technology**, p. 1547-6537, 2015.
- ESTEVES, Francisco. **Fundamentos de Limnologia**. 3. ed. Rio de Janeiro: Editora Interciencia, 2011. 790 p.
- FANG, Ci *et al.* Application of Magnesium Modified Corn Biochar for Phosphorus Removal and Recovery from Swine Wastewater. **International Journal of Environmental Research and Public Health**, p. 9217-9237, 2014.
- FIGUEREDO, N. A.; COSTA, L. M.; MELO, L. C. A. Z.; SIEBENEICHLERD, E. A.; TRONTO, J. Characterization of biochars from different sources and evaluation of release of nutrients and contaminants. **Revista Ciência Agronômica**, v. 48, n. 3, p. 395-403, 2017
- Iwaniec T, Kaczor MP, Celińska-Löwenhoff M, Polański S, Musiał J. Identification of patients with triple antiphospholipid antibody positivity is platform and method independent. **Polskie Archiwum Medycyny Wewnętrznej** 2016;126(1-2):19-24.
- JACK, Joshua *et al.* Production of magnetic biochar from waste-derived fungal biomass for phosphorus removal and recovery. **Journal of Cleaner Production**, p. 100-106,00202019.

JEDELHAUSER, Michael *et al.* The spatial impact of socio-technical transitions e The case of phosphorus recycling as a pilot of the circular economy. **Journal of Cleaner Production**, p. 856-869, 2018.

JING, Ren *et al.* Granulation and ferric oxides loading enable biochar derived from cotton stalk to remove phosphate from water. **Bioresource Technology**, p. 119-125, 1 jan. 2014.

JING, Li *et al.* Removal of phosphate from aqueous solution by dolomite-modified biochar derived from urban dewatered sewage sludge. **Science of the Total Environment**, [S. l.], p. 460-469, 22 mar. 2019.

KANGYI, Lou *et al.* Pyrolysis temperature and steam activation effects on sorption of phosphate on pine sawdust biochars in aqueous solutions. **Chemical Speciation & Bioavailability**, p. 42-50, 24 mar. 2016.

KASPRZYK, Magda *et al.* Phosphorus removal by application of natural and semi-natural materials for possible recovery according to assumptions of circular economy and closed circuit of P. **Science of the Total Environment**, p. 249-256, 1 mar. 2018.

LEHMANN, J.; JOSEPH, S. **Biochar for environmental management : An introduction. Biochar for Environmental Management - Science and Technology**, v. 1, p. 1–12, 2009.

LI, R. *et al.* Recovery of phosphate from aqueous solution by magnesium oxide decorated magnetic biochar and its potential as phosphate-based fertilizer substitute. **Bioresource Technology**, v. 215, p. 209–214, set. 2016.

LIN, X. F.; ZHANG, J.; YIN Y.S. Study on fractal characteristics of biomass chars. **Biomass Chem. Eng.** v.43, p.10–12, 2009.

MATOS, A. T. de. **Poluição Ambiental: Impactos no Meio Físico**. 1 ed. Viçosa: Editora UFV, 2010. 260 p.

MATOS, A. T. **Qualidade do meio físico ambiental: práticas de laboratório**. Viçosa: Ed. UFV, 2012.

MELO, T.V. *et al.* Calidad del huevo de codornices utilizando harina de algas marinas y fosfato monoamónico. **Archivos de Zootecnia**, v.57, n.219, p.313319, 2008.

MORTULA, M.; GIBBONS, M.; GAGNON, G. Phosphorus adsorption by naturally-occurring materials and industrial by-products. **Journal of Environmental Engineering and Science**, v. 6, p. 157-164, 2007.

NAIR, T.; AHAMMED, M. M. Water treatment sludge for phosphate removal from the effluent of UASB reactor treating municipal wastewater. **Process Safety and Environmental Protection**, v. 94, p. 105-112, mar. 2015.

OLADOJA, N. A. et al. Phosphorus recovery from aquaculture wastewater using thermally treated gastropod shell. **Process Safety and Environmental Protection**, v. 98, p. 296–308, 2015.

OLIVEIRA, Luiz C et al. Preparation of activated carbons from coffee husks utilizing FeCl₃ and ZnCl₂ as activating agents. **Journal of Hazardous Materials**, p. 87-94, 27 maio 2009.

PARK, J.-H. et al. Enhancement of phosphorus removal with near-neutral pH utilizing steel and ferronickel slags for application of constructed wetlands. **Ecological Engineering**, v. 95, p. 612–621, 2016.

PRATT, C. et al. Biologically and chemically mediated adsorption and precipitation of phosphorus from wastewater. **Current opinion in Biotechnology**, v. 23, n. 6, p. 890–896, 2012.

QUEVEDO, C. M. G.; PAGANINI, W. S. A disponibilização de fósforo nas águas pelo uso de detergentes em pó: aspectos ambientais e de Saúde Pública. **Ciência & Saúde Coletiva**, v.23, n.11, p.3891-3902, 2018.

PROSAB – Programa de pesquisa em saneamento básico. Disponível em: <http://www.finep.gov.br/prosab/index.html>. Acesso em: 23 outubro de 2019, 14:21:00.

RAMASAHAYAM, S. K. et al. A Comprehensive Review of Phosphorus Removal Technologies and Processes. **Journal of Macromolecular Science, Part A: Pure and Applied Chemistry**, Abingdon, v. 6, n. 51, p. 538-545, jan. 2014.

RITTMANN, B. E. et al. Capturing the lost phosphorus. **Chemosphere**, v. 84, n. 6, p. 846–853, 2011.

ROMAR-GASALLA, A. et al. Phosphorus retention on forest and vineyard soil samples, mussel shell, pine-sawdust, and on pyritic, granitic and waste materials. **Geoderma**, v. 280, p. 8–13, 2016.

RONSSSE, F. et al. **Biomass pyrolysis and biochar characterization**. 1st Forebiom Workshop: Potentials of biochar to mitigate climate change, p. 1–24, 2013.

SIQUEIRA, J. C. **Avaliação do potencial de remoção de fósforo de esgoto sanitário por meio de diferentes formas de contato com cascas trituradas de ovo de galinha**. 2018. 29 p. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Ambiental e Sanitária) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2018.

SOUZA, D. A. **Avaliação da capacidade de remoção de fósforo por esgotos domésticos pelo uso de cascas trituradas**. 2017. 54 p. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Ambiental e Sanitária) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2017.

SUN, J. et al. Feasibility of sulfide control in sewers by reuse of iron rich drinking water treatment sludge. **Water Research**, Oxford, v. 15, p. 150-159, Mar. 2015.

TAKAYA, C. et al. Recovery of phosphate 1 with chemically modified biochars. **Journal of Environmental Chemical Engineering**, 2016

UNIVERSIDADE FEDERAL DE LAVRAS. **Biblioteca Universitária. Manual de normalização e estrutura de trabalhos acadêmicos: TCCs, monografias, dissertações e teses**. 2. ed. rev., atual. e ampl. Lavras, 2016. Disponível em: <<http://repositorio.ufla.br/jspui/handle/1/11017>>. Acesso em: 10 nov. 2019.

VON SPERLING, M. de. **Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos: Princípios do Tratamento Biológico de Águas Residuárias**. 4^a ed. Belo Horizonte: Ed. UFMG, 2014.

WANG, H. et al. Engineered biochar derived from eggshell-treated biomass for removal of aqueous lead. **Ecological Engineering**, 2017.

WANG, Y. et al. Phosphorus release behaviors of poultry litter biochar as a soil amendment. **Science of the Total Environment**, The, v. 512–513, p. 454–463, 2015.

XIAONING, Liu et al. Adsorption recovery of phosphate from aqueous solution by CaO-biochar composites prepared from eggshell and rice straw. **Science of the Total Environment**, p. 694-702, 12 nov. 2019.

XIONG, J. et al. Phosphate removal from solution using powdered freshwater mussel shells. **Desalination**, v. 276, n. 1–3, p. 317–321, ago. 2011.

YUAN, Z.; PRATT, S.; BATSTONE, D. J. Phosphorus recovery from wastewater through microbial processes. **Current opinion in Biotechnology**, v. 23, n. 6, p. 878–883, 2012.

ZHANG, Zhaoran et al. Adsorption of phosphate from aqueous solution by vegetable biochar/ layered double oxides: Fast removal and mechanistic studies. **Bioresource Technology**, p. 65-71, 21 mar. 2019.