

II-040 - RECUPERAÇÃO DE FÓSFORO DE ÁGUAS RESIDUÁRIAS VIA *LITHOTHAMNIUM CALCAREUM*

Ana Flavia Santos Rabelo de Melo ⁽¹⁾

Engenheira Ambiental e Sanitarista pela Universidade Federal de Lavras (UFLA). Mestrando em Engenharia Agrícola pela Universidade Federal de Lavras (UFLA).

Ivan Célio Andrade Ribeiro ⁽²⁾

Doutorando em Ciências do Solo pela Universidade Federal de Lavras (UFLA).

Fátima Resende Luiz Fia ⁽³⁾

Doutora em Engenharia Agrícola pela Universidade Federal de Viçosa (UFV).

Ronaldo Fia ⁽⁴⁾

Doutor em Engenharia Agrícola pela Universidade Federal de Viçosa (UFV).

Mateus Pimentel de Matos ⁽⁵⁾

Doutor em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos pela Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG)

Endereço⁽¹⁾: Praça João Arbex, 85, apt 201 – Centro – Lavras – MG – CEP: 37200-000 – Brasil – Tel: (35) 998112122 – e-mail: afsrmeo@gmail.com

RESUMO

A contaminação de corpos hídricos com águas residuárias ricas em fósforo (P) e a dependência do país pela importação de fertilizantes fosfatados são problemas enfrentados pelo setor agrícola brasileiro. O enriquecimento do corpo hídrico com nutrientes essenciais é conhecido como eutrofização. Tal evento leva a geração de microrganismos aquáticos que além de alterar as características da água podem produzir toxinas prejudiciais à saúde humana. Uma possível alternativa no tratamento desses efluentes é a recuperação do P via resíduos sólidos e posterior utilização do substrato formado como fonte alternativa de fertilizantes orgânicos. Dessa forma, o objetivo do presente trabalho foi avaliar o potencial de recuperação de P pela alga marinha *Lithothamnium Calcareum*. Para avaliar tal efeito, foi adicionada uma massa de 0,5 g da alga em 10 mL de soluções com concentrações variando de 0 a 1000 mg L⁻¹ de P. As suspensões foram colocadas em agitador tipo Wagner, por 24 horas, e posteriormente centrifugadas a 3000 rpm por 10 minutos. Em seguida, a quantidade de fósforo foi medida no sobrenadante. Todas as análises foram realizadas em triplicata e os dados ajustados aos modelos de Langmuir e Freundlich. Os resultados experimentais se ajustaram bem às equações, com coeficientes de determinação (R²) acima de 0,95. A capacidade máxima de remoção de fósforo (S_m) foi igual a 44,7 mg g⁻¹ de alga. Os resultados demonstraram que a alga apresenta elevado potencial para ser utilizada em mecanismos onde se precisa recuperar o P produzindo um substrato rico nesse nutriente podendo retornar a agricultura como fonte parcial de fertilizantes fosfatados.

PALAVRAS-CHAVE: Alga calcária, tratamento terciário, fertilizante alternativo, reúso.

INTRODUÇÃO

O crescimento populacional tem como consequência o aumento na produção de efluentes ricos em nutrientes que muitas vezes são aplicados sem tratamento no meio ambiente. Esta deficiência no tratamento desses efluentes contribui com a contaminação das águas.

Dentre os impactos ambientais associados à disposição de águas residuárias inadequada, pode-se citar a eutrofização dos corpos d'água. A eutrofização é o enriquecimento do corpo hídrico com substâncias essenciais para o desenvolvimento de organismos aquáticos (VON SPERLING, 2014). Sendo que, o crescimento excessivo das plantas aquáticas pode alterar os usos desejáveis do corpo d'água, além de promover o crescimento de algas que liberam toxinas, ameaçando a saúde das pessoas que utilizam da água para consumo ou outro fim. De forma a evitar que ocorra esse fenômeno, deve-se reduzir o despejo de nutrientes, principalmente fósforo, no corpo hídrico, por este ser considerado um nutriente limitante no processo de eutrofização (VON SPERLING, 2014).

De acordo com von Sperling (2014), o fósforo encontra-se presente nas fezes humanas, detergentes para limpeza doméstica e outros subprodutos das atividades humanas. Já nos efluentes industriais, a presença deste elemento varia de acordo com a tipologia da indústria. Maroneze et al. (2014) destacam que a atividade agroindustrial é uma importante geradora de fósforo, sendo que, em geral, estes efluentes apresentam composição de fósforo total variando entre 1 a 300 g m⁻³.

O efluente tratado, assim como o esgoto bruto, se apresenta como uma ameaça quando lançado nos corpos d'água, pois muitas Estações de Tratamento de Esgoto não são dimensionadas com o objetivo de remover fósforo.

Apesar dos riscos de eutrofização existentes, pelo despejo indevido de grandes quantidades de fósforo nos corpos hídricos, a legislação brasileira ainda é ineficiente no controle das emissões deste nutriente. A Resolução nº 357 de 17 de março de 2005, do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA), classifica os corpos d'água, estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências. Para o fósforo, são estabelecidos os padrões de qualidade dos corpos hídricos, de modo a assegurar seus usos preponderantes, apresentando valores diferentes para ambientes lênticos e lóticos. Porém, não é estabelecido padrões de lançamento de fósforo, deixando para que os órgãos ambientais estaduais adotem seus valores. Para o estado de Santa Catarina, a Lei nº 14.675 de 13 de abril de 2009 estabelece o limite de 4 mg L⁻¹ de P para o lançamento de efluentes tratados em corpos d'água, ou eficiência de remoção de 75% de P pelos sistemas de tratamento, desde que não altere a classe do corpo d'água. Entretanto, a maioria dos estados brasileiros, como o estado de Minas Gerais, não possuem padrão de lançamento de fósforo no corpo d'água.

Ao mesmo tempo que o fósforo é considerado um poluente, este também é um elemento essencial aos seres vivos, participando de diversos processos metabólicos e sendo fundamental em processos ligados a bioenergética celular (ELSER, 2012).

Ademais, o fósforo é um elemento fundamental na agricultura, sendo aplicado nas culturas na forma de fertilizantes fosfatados. De acordo com Krüger e Adam (2017) a demanda por fósforo tende a aumentar no futuro com o crescimento da população. Entretanto, o fósforo é um elemento de disponibilidade finita na natureza. De acordo com Maroneze et al. (2014), o fósforo é o 13º elemento mais abundante no universo, porém suas frações estão geralmente imobilizadas em rochas. Além disso, muitos países não possuem depósitos para suprir suas demandas, tornando-se dependentes da importação de fertilizantes fosfatados (KRÜGER; ADAM, 2017), como é o caso do Brasil.

Considerando o exposto, pode-se dizer que, o uso de tecnologias que promovam a recuperação do fósforo proveniente de efluentes são de suma importância pois podem, simultaneamente, realizar o controle da poluição das águas e diminuir as extrações deste elemento na natureza.

Estudos mostram o uso de algumas tecnologias, de recuperação e reúso de fósforo, com abordagens químicas (precipitação química e adsorção), biológicas (sistemas bacterianos, uso de macroalgas e microalgas) além de técnicas de fertirrigação (MARONEZE et al., 2014). Dentre os métodos citados, a adsorção é muito utilizada devido a sua alta eficiência de recuperação, implantação simples e econômica, além de fácil operação (CHEN et al., 2012).

Na literatura são encontrados trabalhos utilizando materiais alternativos na adsorção de fósforo, de fácil aquisição e baixo custo, como lodo de Estação de Tratamento de Água (BABATUNDE; ZHAO, 2010), conchas de mexilhão (ROMAR-GASALLA et al., 2016), vôngole (LO MONACO et al., 2012), casca de ovo calcinada (PANAGIOTOU et al., 2018), além de cinzas volantes geradas na queima de carvão, lama vermelha e lodo de Estação de Tratamento de água (ETA) (WANG et al., 2016).

Além dos processos de adsorção, muitos dos materiais encontrados na literatura são capazes de recuperar P em solução também por precipitação, pois apresentam Ca e Mg em sua composição. Conforme descrito por Maroneze et al. (2014), a precipitação do P pode ocorrer na presença de sais à base dos íons Ca e Mg. Wang et al. (2018) encontraram alta capacidade de adsorção de fósforo em solução utilizando biocarvão adicionado de cálcio. De acordo com os autores, estes íons em excesso no meio líquido, reagem com o fosfato, precipitando os compostos hidroxiapatita [Ca₁₀(PO₄)₆(OH)₂] e estruvita [MgNH₄PO₄·6H₂O]. Processos que podem

ocorrer em lagoas de maturação rasas, quando o pH se eleva a valores superiores a 9 (VON SPERLING, 2017).

Acerca do processo de adsorção, este é um método que envolve a ação de duas forças: forças físicas e forças químicas. Sendo que, se tratando do processo de adsorção de um elemento sobre uma partícula sólida, as forças físicas ou de Van der Waals são mais comuns de ocorrerem (BANSAL; GOYAL, 2005).

Isotermas de adsorção

Para ser possível avaliar a capacidade de um material em adsorver um elemento busca-se alcançar o equilíbrio de adsorção. Quando um adsorvente é colocado em contato com um soluto adsorvível em meio líquido, a adsorção ocorrerá até atingir um equilíbrio, ou seja, até que a concentração do soluto na fase líquida se mantenha constante (NASCIMENTO et al., 2014).

Após atingir o equilíbrio, admite-se que a diferença entre a quantidade adicionada e a remanescente na fase líquida encontra-se retida na superfície da fase sólida (CASAGRANDE; SOARES, 2009). Os dados experimentais obtidos são então utilizados na construção de isotermas, equações que descrevem o processo de adsorção. Muitas equações de isotermas são propostas na literatura, porém as mais utilizadas são as equações de Langmuir e de Freundlich (NASCIMENTO et al., 2014).

A equação modelo de Langmuir parte do pressuposto que existe um número definido de sítios de adsorção, sendo que estes têm energia equivalente e não há interação entre as moléculas adsorvidas. Também é considerado que a adsorção ocorre em uma monocamada, e que cada sítio pode comportar apenas uma molécula adsorvida (NASCIMENTO et al., 2014). Por este modelo, é possível encontrar a capacidade máxima de um material em adsorver determinado elemento.

O modelo de Freundlich, por sua vez, considera o sólido heterogêneo, aplicando uma distribuição exponencial para caracterizar os vários tipos de sítios de adsorção, os quais possuem diferentes energias adsorptivas (NASCIMENTO et al., 2014).

O uso da adsorção na recuperação de fósforo

Diversos materiais já foram testados como possíveis adsorventes de fósforo, dentre esses, se destacam: lantânio granular (CHEN et al., 2012), nanopartículas de ferrita (TU; YOU, 2014), hidróxidos de alumínio (YANG et al., 2014), precipitado com ferro e cálcio (LIN et al., 2015) e biocarvão adicionado de cálcio (WANG et al., 2018). Também já foram explorados materiais alternativos, de fácil aquisição e baixo custo, como lodo de Estação de Tratamento de Água (BABATUNDE; ZHAO, 2010), conchas de mexilhão (ROMAR-GASALLA et al., 2016) e vôngole (LO MONACO et al., 2012). Romar-Gassala et al. (2016), também avaliaram as capacidades de remoção de fósforo utilizando dois solos, um de área de floresta e outro de região de vinhedo, além de serragem de pinheiros, pirita e material com granito.

Lo Monaco et al. (2012) e Wang et al. (2018) encontraram grande capacidade de adsorção de fósforo utilizando farelo de conchas de vôngole e biocarvão adicionado de cálcio, respectivamente. Os autores consideraram que parte do fósforo foi também removido por precipitação e não somente por adsorção ao resíduo, atribuindo a alta capacidade de recuperação de fósforo encontrada à interação do P com o cálcio presente no composto utilizado. A partir destas informações, pode-se dizer que outros materiais que apresentem Ca em sua constituição podem ser promissores na recuperação de fósforo, devendo ser testados.

A alga marinha *Lithothamnium Calcareum*

O *Lithothamnium* é uma alga vermelha não articulada, pertencente à família Corallinaceae. Uma característica dessa família é a deposição de carbonato de cálcio na parede celular (LOPES, 2012). De acordo com Evangelista et al. (2016), as algas são compostas basicamente por carbonato de cálcio e carbonato de magnésio e mais de 20 micronutrientes. Franco (2015) avaliou a composição química da alga marinha, encontrando que 47,0% é representado por CaO e 2% por Mg. Dessa forma, o *Lithothamnium Calcareum* possui características favoráveis para sua utilização na recuperação de fósforo presente nos efluentes, seja por processos de adsorção quanto por precipitação.

Ali et al. (2012) citam que algas marinhas possuem grande potencial na remoção de poluentes da água. Entretanto, não foram encontrados na literatura estudos utilizando a alga marinha *Lithothamnium Calcareum* em processos de recuperação de fósforo. Foram observados, no entanto, estudos avaliando o uso de *Lithothamnium* como adubo orgânico, na produção de mudas de maracujazeiro (SOUZA et al., 2009), na produção de frutos de pimentão (EVANGELISTA et al., 2016), no cultivo de pitaia vermelha (COSTA et al., 2015), e na produção de mudas de mamoeiro (HAFLE et al., 2009).

Considerando a composição química do *Lithothamnium Calcareum*, e os trabalhos encontrados na literatura, a alga apresenta potencial de uso na adsorção de fósforo de efluentes.

OBJETIVO

O objetivo do presente trabalho foi avaliar o potencial da alga marinha, *Lithothamnium Calcareum*, em recuperar fósforo de efluentes para possível utilização do substrato formado como fonte alternativa de fertilizantes orgânicos.

METODOLOGIA

Foram utilizadas algas marinhas da espécie *Lithothamnium Calcareum* (Figura 1) na construção de isotermas de adsorção para analisar sua capacidade em recuperar fósforo.



Figura 1: Alga marinha *Lithothamnium Calcareum*.

Inicialmente, as algas marinhas foram trituradas e homogeneizadas em peneira 0,425 mm. Para obtenção das isotermas de adsorção, foi adicionado uma massa de 0,5 g de alga em 10 mL de soluções de fósforo (10; 40; 60; 80; 100; 200; 400; 600; 800 e 1000 mg L⁻¹ de P), preparadas utilizando KH₂PO₄ diluído em água destilada. Foi utilizada essa faixa de concentração pois abrange as diferentes concentrações de fósforo encontradas no esgoto doméstico e em águas residuárias da agroindústria (MATOS, 2010; VON SPERLING, 2014). As suspensões foram colocadas em agitador tipo Wagner, por 24 horas a temperatura ambiente, e posteriormente centrifugadas a 3000 rpm por 10 minutos. O sobrenadante foi coletado e o fósforo disponível foi determinado segundo metodologia proposta por Matos (2012). Como não se pode distinguir entre P adsorvido ou precipitado no meio, nesse trabalho foi adotado o termo recuperado para a quantidade de fósforo removida pelo resíduo, que pode ser descrita pela equação 1:

$$S = \frac{(C_0 - C_{eq})V}{m} \quad \text{equação (1)}$$

Em que,

S = quantidade de fósforo recuperado em mg g⁻¹ de alga;

C₀ = concentração inicial de fósforo, mg L⁻¹;

C_{eq} = concentração de P remanescente na solução de equilíbrio, $mg L^{-1}$;

V = volume de solução de P adicionado à alga, mL;

m = massa de alga, g.

A partir dos dados experimentais, foram ajustadas as isotermas de adsorção, plotando-se a quantidade de fósforo recuperado por massa de alga no eixo das ordenadas e a concentração de P remanescente na solução de equilíbrio no eixo das abcissas. As isotermas foram ajustadas aos modelos de Langmuir e Freundlich, conforme equações 2 e 3, respectivamente:

$$S = \frac{S_m * K * C_{eq}}{1 + (K C_{eq})} \quad \text{equação (2)}$$

Em que,

S = quantidade de fósforo recuperado em $mg g^{-1}$ de alga;

S_m = capacidade máxima de adsorção de fósforo, $mg g^{-1}$;

K = coeficiente relacionado à energia de ligação, $L mg^{-1}$;

C_{eq} = concentração de fósforo remanescente na solução de equilíbrio, $mg L^{-1}$.

$$S = K_F (C_{eq})^{\frac{1}{n}} \quad \text{equação (3)}$$

Em que,

S = quantidade de fósforo recuperado em $mg g^{-1}$ de alga;

K_F = coeficiente de adsorção de Freundlich, $L mg^{-1}$;

C_{eq} = concentração de fósforo remanescente na solução de equilíbrio, $mg L^{-1}$;

n = estimativa do parâmetro de ajuste, adimensional.

Após o ajuste dos dados, utilizou-se o modelo de Langmuir para determinar a capacidade máxima de adsorção de fósforo (S_m) e a constante relacionada à energia de ligação (K). Posteriormente, os parâmetros do modelo de Freundlich (K_F e n) também foram estimados.

RESULTADOS

Os valores referentes às concentrações iniciais e finais de fósforo, e a quantidade de fósforo adsorvido na alga, obtidos no experimento, podem ser observados na Tabela 1.

Tabela 1: Concentrações iniciais e finais de fósforo e quantidade de fósforo adsorvido na alga.

C ₀ (mg L ⁻¹)	C _{eq} (mg L ⁻¹)	S (mg g ⁻¹)
9,9	2,3	0,2
40,5	11,5	0,6
60,3	19,2	0,8
79,1	25,4	1,1
105,4	29,9	1,5
196,1	74,7	2,4
447,5	130,9	6,3
605,1	201,2	8,1
799,0	263,3	10,7
1039,7	382,9	13,1

Os dados apresentados na Tabela 1 foram utilizados para avaliar a capacidade de adsorção de fósforo pela alga marinha, por meio dos modelos de Langmuir e Freundlich. As equações das isotermas e os seus respectivos coeficientes de determinação são apresentados na Tabela 2.

Tabela 2: Equações das isotermas de adsorção de Langmuir e Freundlich e seus respectivos coeficientes de determinação.

Isotermas	Equação	Coeficiente de determinação
Langmuir	$S = \frac{44,74 \times 0,001 \times C_{eq}}{(1 + 0,001 \times C_{eq})}$	R ² = 0,9908
Freundlich	$S = 0,088 \times (C_{eq})^{\frac{1}{1,177}}$	R ² = 0,9865

Nota-se que, pelo modelo de Langmuir, a capacidade máxima de adsorção de fósforo (S_m) para a alga marinha foi igual a 44,7450 mg g⁻¹ de alga e o coeficiente relacionado à energia de ligação igual a 0,0011 L mg⁻¹. Para o modelo de Freundlich, o coeficiente de adsorção de Freundlich encontrado foi igual a 0,0878 L mg⁻¹ e o parâmetro de ajuste igual a 1,177.

As isotermas de adsorção de fósforo para a alga, estimadas pelo modelo de Langmuir e Freundlich, estão apresentadas na Figura 4.

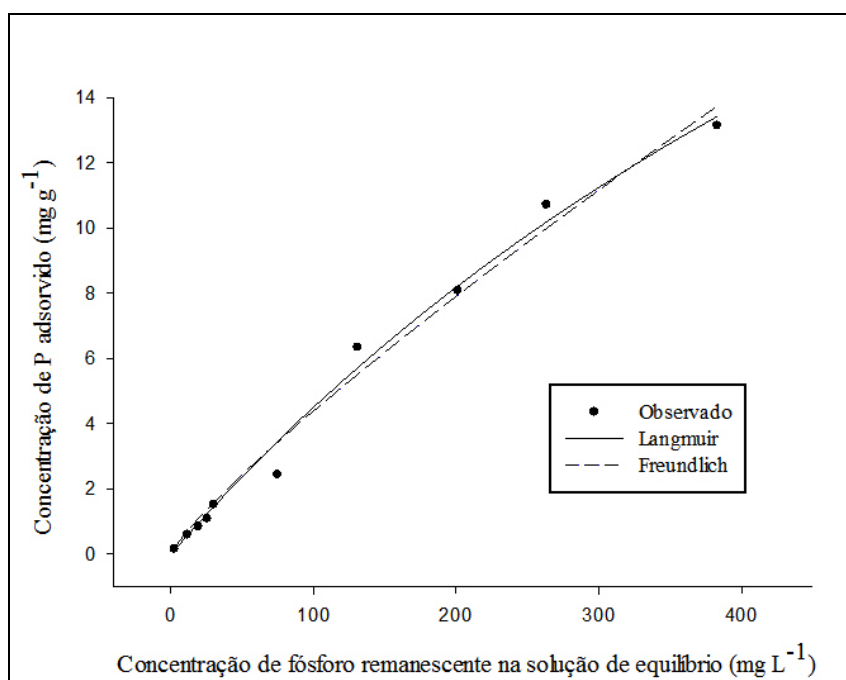


Figura 2: Isotermas de adsorção de fósforo ajustadas pelos modelos de Langmuir e de Freundlich

DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Os ajustes obtidos dos modelos de Freundlich e Langmuir podem ser considerados satisfatórios, como pode ser constatado pelos valores de coeficientes de determinação (R^2). Dessa forma essas equações podem ser utilizadas para a estimativa das quantidades de P a serem removidas em função da concentração de equilíbrio.

Dentre as duas equações, o modelo matemático mais difundido é o de Langmuir, que passou a ser utilizado em estudos de adsorção de P pois possibilita obtenção da “ S_m ” do material estudado e da constante “ K ”, relacionada à energia de ligação desse elemento ao resíduo (OLIVEIRA et al., 2014).

A capacidade máxima de adsorção de fósforo (S_m) encontrada para o *Lithothamnium Calcareum*, quando comparada aos valores de “ S_m ” de outros materiais, encontrados na literatura, pode ser considerada alta. Panagiotou et al. (2018) encontraram uma “ S_m ” igual a 31,74 mg g⁻¹ utilizando casca de ovo calcinada na recuperação de fósforo. Wang et al. (2016) avaliaram a capacidade de recuperação de fósforo para três materiais, cinzas volantes geradas na queima de carvão, lama vermelha e lodo de ETA. Os autores encontraram maior “ S_m ” para o lodo de ETA e para a lama vermelha, igual a 42,39 mg g⁻¹ e 29,12 mg g⁻¹, respectivamente. Ainda, os autores atribuem a alta interação dos resíduos com o fósforo devido a presença de Al e Ca em suas composições.

Da mesma forma, no presente trabalho, a elevada capacidade de recuperação de fósforo, obtida para o *Lithothamnium Calcareum*, pode ser atribuída à grande interação do P com o carbonato de cálcio, presente na alga marinha. De acordo com Evangelista et al. (2016), as algas são compostas basicamente por carbonato de cálcio e carbonato de magnésio e mais de 20 micronutrientes.

Com relação ao ajuste pelo modelo de Freundlich, os parâmetros estimados, “ K_F ” e “ n ”, estão relacionados, respectivamente, à capacidade de adsorção e à intensidade da adsorção. O coeficiente “ n ” é considerado importante por caracterizar a adsorção como favorável ou não. De acordo com Nascimento et al. (2014), em geral, uma adsorção favorável tende a ter um valor de n entre 1 e 10. Com isso, pode-se dizer que, o valor estimado para “ n ”, neste trabalho, igual a 1,177, mostra que houve interação satisfatória entre a alga e o fósforo.

Os coeficientes estimados para a alga marinha, nos ajustes pelos modelos de Langmuir e Freundlich, foram satisfatórios, quando comparados aos valores encontrados na literatura para outros materiais.

Ademais, Panagiotou et al. (2018) reportaram a formação de precipitado de fosfato dicálcico na recuperação de fósforo utilizando casca de ovo calcinada, resíduo que apresenta grandes quantidades de cálcio em sua composição. Os autores explicam que o composto formado apresenta alto potencial para utilização na agricultura como fertilizante. Da mesma forma, devido a presença elevada de Ca na alga marinha, o substrato formado após a recuperação de fósforo com a mesma também possui potencial para uso como fertilizante orgânico, sendo necessário estudos futuros avaliando a aplicação do *Lithothamnium* no solo.

Considerando o exposto, pode-se afirmar que o *Lithothamnium* é um material promissor se utilizado na recuperação de fósforo em sistemas de tratamento de esgoto doméstico e águas residuárias agroindustriais com possível utilização como fertilizante orgânico.

CONCLUSÕES

A alga marinha *Lithothamnium Calcareum* foi eficiente na recuperação de fósforo, apresentando elevada capacidade máxima de adsorção de fósforo, igual a 44,74 mg g⁻¹ de alga, sendo possível considerar sua utilização na remoção de fósforo em sistemas de tratamento de esgoto doméstico e águas residuárias agroindustriais, além de possível utilização do substrato formado como fonte alternativa de fertilizantes orgânicos.

AGRADECIMENTOS

À Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais – FAPEMIG pelo auxílio financeiro na divulgação científica do trabalho.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ALI, I.; ASIM, M.; KHAN, T. A. Low cost adsorbents for the removal of organic pollutants from wastewater. *Journal of Environmental Management*, v. 113, p. 170–183, 2012.
2. BABATUNDE, A. O.; ZHAO, Y. Q. Equilibrium and kinetic analysis of phosphorus adsorption from aqueous solution using waste alum sludge. *Journal of Hazardous Materials*, v. 184, p. 746–752, 2010.
3. BANSAL, R. C.; GOYAL, M. Activated carbon adsorption. *Boa Raton: Taylor & Francis*, 2005.
4. CHEN, N. et al. Preparation and characterization of lanthanum (III) loaded granular ceramic for phosphorus adsorption from aqueous solution. *Journal of the Taiwan Institute of Chemical Engineers*, v. 43, p. 783–789, 2012.
5. COSTA, A. C. et al. Adubação orgânica e *Lithothamnium* no cultivo da pitaia vermelha. *Semina: Ciências Agrárias*, v. 36, n. 1, p. 77–88, 2015.
6. ELSEER, J. J. Phosphorus: A limiting nutrient for humanity? *Current Opinion in Biotechnology*, v. 23, p. 833–838, 2012.
7. EVANGELISTA, A. W. P. et al. Irrigation and *lithothamnium* fertilization in bell pepper cultivated in organic system. v. 20, n. 9, p. 830–835, 2016.
8. FRANCO, C. S. Sistema alternativo de tratamento de água em escala descentralizada. 2015. 99p. Tese de doutorado em Saneamento Ambiental-Pós-graduação em Recursos Hídricos em Sistemas Agrícolas-Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2015.
9. HAFLE, O. M. et al. Produção de mudas de mamoeiro utilizando Bokashi e *Lithothamnium*. *Revista Brasileira de Fruticultura*, v. 31, n. 1, p. 245–251, 2009.
10. KRÜGER, O.; ADAM, C. Phosphorus in recycling fertilizers - analytical challenges. *Environmental Research*, v. 155, p. 353–358, 2017.
11. LIN, Q. et al. Phosphorus removal using ferric – calcium complex as precipitant: Parameters optimization and phosphorus-recycling potential. *Chemical Engineering Journal*, v. 268, p. 230–235, 2015.
12. LO MONACO, P. A. V. et al. UTILIZAÇÃO DO FARELO DE CONCHAS DE VÔNGOLE NA ADSORÇÃO DE FÓSFORO E COMO CORRETIVO DA ACIDEZ DO SOLO. *Engenharia Agrícola*, v. 32, n. 5, p. 866–874, 2012.
13. LOPES, N. M. Suplementação de vacas leiteiras com farinha de algas (*Lithothamnium Calcareum*). Dissertação de mestrado-Pós-graduação em Zootecnia-Universidade Federal de Lavras, Lavras, 61p, 2012.
14. MARONEZE, M. M. et al. A tecnologia de remoção de fósforo: gerenciamento do elemento em resíduos

- industriais. *Revista Ambiente e Água*, v. 9, n. 3, p. 445–458, 2014.
15. MATOS, A. T. et al. ISOTERMA DE ADSORÇÃO DE FÓSFORO EM PÓ COLETADO NO SISTEMA DE TRATAMENTO DE EFLUENTES ATMOSFÉRICOS GERADOS EM INDÚSTRIA SIDERÚRGICA. *Engenharia na Agricultura*, v. 20, n. 3, p. 258–264, 2012.
 16. MATOS, A. T. *Poluição Ambiental: Impactos No Meio Físico*. Viçosa: UFV, 2010.
 17. MATOS, A. T. *Qualidade do meio físico ambiental: Práticas de laboratório*. Viçosa: UFV, 2012.
 18. NASCIMENTO, R. F. et al. *Adsorção: Aspectos teóricos e aplicações ambientais*. Fortaleza, CE: Imprensa Universitária da Universidade Federal do Ceará, 256p, 2014.
 19. OLIVEIRA, C. M. B. DE et al. CAPACIDADE MÁXIMA DE ADSORÇÃO DE FÓSFORO E CONSTANTE DE ENERGIA DE LIGAÇÃO EM LATOSSOLO BRUNO EM RAZÃO DE DIFERENTES AJUSTES DO MODELO DE LANGMUIR. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 38, n. 6, p. 1805–1815, 2014.
 20. PANAGIOTOU, E. et al. Turning calcined waste egg shells and wastewater to Brushite: Phosphorus adsorption from aqua media and anaerobic sludge leach water. *Journal of Cleaner Production*, 2018.
 21. 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.
 22. SOUZA, H. A. DE et al. Avaliação de doses e produtos corretores da acidez em variáveis biométricas na produção de mudas de maracujazeiro. *Acta Scientiarum - Agronomy*, v. 31, n. 4, p. 607–612, 2009.
 23. TU, Y. J.; YOU, C. F. Phosphorus adsorption onto green synthesized nano-bimetal ferrites: Equilibrium, kinetic and thermodynamic investigation. *Chemical Engineering Journal*, v. 251, p. 285–292, 2014.
 24. VON SPERLING, M. *Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos*. 4. ed. Editora UFMG, 470p, 2014.
 25. VON SPERLING, M. *Lagoas de estabilização*. 3. ed. [s.l.] Editora UFMG, 2017.
 26. WANG, S. et al. Adsorption of phosphorus by calcium-flour biochar: Isotherm, kinetic and transformation studies. *Chemosphere*, v. 195, p. 666–672, 2018.
 27. WANG, Y. et al. Comparison study of phosphorus adsorption on different waste solids: Fly ash, red mud and ferric–alum water treatment residues. *Journal of Environmental Sciences (China)*, v. 50, p. 79–86, 2016.
 28. YANG, K. et al. Adsorptive removal of phosphate by Mg-Al and Zn-Al layered double hydroxides: Kinetics, isotherms and mechanisms. *Separation and Purification Technology*, v. 124, p. 36–42, 2014.