

Adsorção de fósforo em efluentes com elevada concentração por meio de resíduos de construção e demolição (RCD) termicamente ativados

Rogério Pires Santos^{1*} 

1 Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Sul Riograndense - IFSU - Campus Camaquã. R. Ana Gonçalves da Silva, 901 - Olaria, Camaquã - RS, 96785-130

*Autor para correspondência: rogeriosantos@ifsul.edu.br

Recebido em 07 de agosto de 2023.

Aceito em 09 de janeiro de 2024.

Publicado em 24 de janeiro de 2024.

Resumo - Efluentes industriais provenientes do beneficiamento de arroz parboilizado possuem elevadas concentrações de fósforo (P) de até 100 mg.L^{-1} , o que reforça a necessidade de sua recuperação. Produtos resultantes da recuperação de fósforo são promissores para agricultura e indústria, proporcionando alternativa a produção de fertilizantes de baixo custo e reduzido impacto ambiental em comparação a extração mineral de fosfato. O presente artigo tem como objetivo analisar a recuperação de fósforo em efluente sintético através de adsorção, utilizando resíduo de construção e demolição (RCD) como adsorvente. Foi utilizado um efluente sintético a partir de fosfato monopotássico (KH_2PO_4) em concentração de 100 mg.L^{-1} . A utilização dos Modelos de Langmuir e Freundlich foi utilizada para descrever o comportamento de adsorção de fósforo. Após os ensaios de adsorção foi possível concluir que a isoterma de Freundlich foi a mais apropriada para descrever o processo de adsorção. RCD termicamente ativados podem remover com eficiência P de efluentes com elevada concentração, contribuindo para a obtenção de componente para a fertilização de áreas agrícolas e proporcionar alternativa de fechamento do ciclo de resíduos de forma sustentável.

Palavras-chave: Eutrofização. Fosfato. Arroz parboilizado.

Phosphorus adsorption in effluents with high concentration through thermally activated construction and demolition waste (CDW)

Abstract - Industrial effluents from the processing of parboiled rice have high concentrations of phosphorus (P) of up to 100 mg.L^{-1} , which reinforces the need for its recovery. Products resulting from phosphorus recovery are promising for agriculture and industry, providing an alternative to the production of low cost fertilizers and reduced environmental impact compared to phosphate mineral extraction. This article aims to analyze the recovery of phosphorus in synthetic effluent through adsorption, using construction and demolition waste (CDW) as adsorbent. A synthetic effluent from monopotassium phosphate (KH_2PO_4) at a concentration of 100 mg.L^{-1} was used. The use of the Langmuir and Freundlich Models was used to describe the phosphorus adsorption behavior. After

the adsorption tests it was possible to conclude that the Freundlich isotherm was the most appropriate to describe the adsorption process. Thermally activated RCD can efficiently remove P from effluents with high concentration, contributing to obtaining a component for the fertilization of agricultural areas and providing an alternative for closing the waste cycle in a sustainable way.

Keywords: Eutrophication. Phosphate. Parboiled rice.

Adsorción de fósforo en efluentes con alta concentración a través de residuos de construcción y demolición activados térmicamente (RCD)

Resumen - Los efluentes industriales del procesamiento del arroz sancochado tienen altas concentraciones de fósforo (P) de hasta 100 mg.L^{-1} , lo que refuerza la necesidad de su valorización. Los productos resultantes de la recuperación de fósforo son prometedores para la agricultura y la industria, brindando una alternativa a la producción de fertilizantes de bajo costo y un impacto ambiental reducido en comparación con la extracción de minerales de fosfato. Este artículo tiene como objetivo analizar la recuperación de fósforo en efluentes sintéticos mediante adsorción, utilizando como adsorbente residuos de construcción y demolición (RCD). Se utilizó un efluente sintético a partir de fosfato monopotásico (KH_2PO_4) a una concentración de 100 mg.L^{-1} . Se empleó el uso de los Modelos de Langmuir y Freundlich para describir el comportamiento de adsorción del fósforo. Luego de las pruebas de adsorción se pudo concluir que la isoterma de Freundlich era la más adecuada para describir el proceso de adsorción. RCD activado térmicamente puede remover eficientemente P de efluentes con alta concentración, contribuyendo a obtener un componente para la fertilización de áreas agrícolas y brindando una alternativa para cerrar el ciclo de los desechos de manera sustentable.

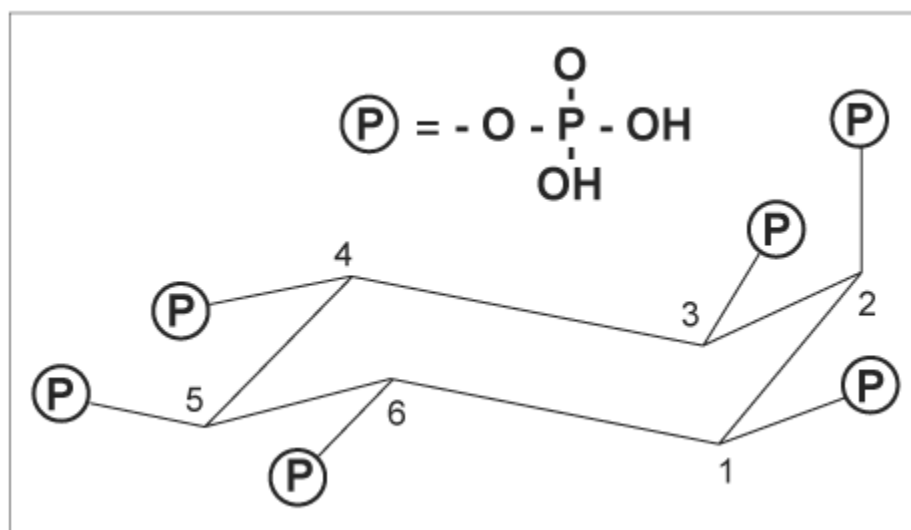
Palabras clave: Eutrofización. Fosfato. Arroz sancochado.

Introdução

A eutrofização de corpos hídricos é um fenômeno que causa grandes prejuízos aos mananciais, sendo o excesso de fósforo o principal causador deste problema ambiental (Trindade e Mendonça, 2014). O fósforo está presente em efluentes industriais e domésticos, sendo que na indústria de arroz parboilizado pode atingir concentrações de até 100 mg L^{-1} , sendo o padrão de lançamento estipulado em 1 mg L^{-1} (Brasil 2005), o que não é atendido pela maioria das empresas, em função do elevado custo das tecnologias capazes de remover tal quantidade do elemento, inviabilizando economicamente o processo (Faria et al. 2006).

O fósforo no efluente industrial provém da adubação, defensivos agrícolas e da hidrólise da fitina, componente que está presente nas cascas dos grãos de arroz, que após hidrolise pelo encharcamento dos grãos, libera o fósforo como fosfato (Belitz and Grosch, 1988). O fósforo, nos cereais encontra-se de 70% a 75% na forma de ácido fítico. O ácido fítico ou ácido inositol hexafosfórico (Figura 1) e a fitase o transforma em inositol e ácido fosfórico livre. A fitase é definida como uma esterase que hidrolisa o ácido fítico (Hoseney 1991).

Figura 1. Estrutura do ácido fítico.



Fonte: FARIA et al., 2006.7

Além de fósforo, estão presentes no efluente nitrogênio total (média de 91 mg); nitrogênio amoniacal (média de 35 mg); sulfatos (média de 141 mg) e ácidos voláteis totais e cloretos (média de 672 mg e 162,7 mg respectivamente) (Faria et al. 2006).

Cerca de 25% do arroz consumido no Brasil é proveniente do processo de parboilização, sendo que para cada quilo de arroz produzido são gerados em média quatro litros de efluente (Bull et al. 2021). O consumo per capita de arroz no Brasil em 2022 foi de 33,1 kg, sendo o Brasil o 9º maior produtor, 10º maior exportador, 18º maior importador (Nery e Cella, 2022).

A parboilização do arroz é um processo hidrotérmico, onde o arroz em casca é imerso em água potável, com temperatura superior a 58°C, seguido de gelatinização parcial ou total do amido e de secagem (Brasil 1988). O arroz parboilizado apresenta aumentos em valor nutritivo, apresentando cada vez mais importância quantitativa e qualitativa, como processo de beneficiamento (Gutkoski 1991).

Uma alternativa a ser considerada na remoção de fosfatos e sua correspondente recuperação é a adsorção, pois mesmo sendo a maior preocupação a remoção de fósforo das águas residuárias para atender os padrões ambientais de lançamento de efluentes, combatendo a eutrofização (Verstraete et al. 2009), o fósforo ao ser removido pode ser reutilizado como um substituto para o fósforo mineral, principalmente como matéria prima na composição de fertilizantes (Di Bernardo e Dantas 2005).

A adsorção é uma das técnicas desenvolvidas para a remoção de fósforo de águas residuárias e efluentes, no entanto, a utilização de carvão ativado comercial é onerosa financeiramente e impacta o meio ambiente, por ser derivado de materiais não renováveis (Di Bernardo e Dantas, 2005).

Desta forma, surgem pesquisas na busca de obtenção de adsorventes de baixo custo (Hamzah et al. 2018). Entre os materiais com potencial de utilização estão resíduos como o de construção e demolição – RCD (Reis et al. 2020; Caicedo et al. 2020; Reis et al. 2021).

A adsorção de fósforo por RCD ocorre principalmente por quimiosorção, apresentando adsorção mais elevada do que muitos outros materiais adsorventes e de maior custo (Reis et al. 2020).

RCD são definidos pela Resolução CONAMA 307/2002 como:

(...)

Art. 2º Para efeito desta Resolução são adotadas as seguintes definições:

I - Resíduos da construção civil: são os provenientes de construções, reformas, reparos e demolições de obras de construção civil, e os resultantes da preparação e da escavação de terrenos, tais como: tijolos, blocos cerâmicos, concreto em geral, solos, rochas, metais, resinas, colas, tintas, madeiras e compensados, forros, argamassa, gesso, telhas, pavimento asfáltico, vidros, plásticos, tubulações, fiação elétrica etc., comumente chamados de entulhos de obras, caliça ou metralha;

(...)

Neste sentido, a disposição final de resíduos da construção e demolição (RCD) pode gerar impactos ambientais negativos (Fernandez Naranjo 2016; Reis et al. 2018; Bao e Lu 2020; Santos e Tubino 2021). Assim, para utilização como elemento de adsorção, a fim de evitar danos ao meio ambiente deve-se utilizar mediante correta segregação, prevista na Resolução CONAMA 307/2002, resíduos da classe “A” (Brasil 2002):

(...) resíduos de construção, demolição, reformas e reparos de pavimentação e de outras obras de infraestrutura, inclusive solos provenientes de terraplanagem; de construção, demolição, reformas e reparos de edificações: componentes cerâmicos (tijolos, blocos, telhas, placas de revestimento), argamassa e concreto; de processo de fabricação e/ou demolição de peças pré-moldadas em concreto (blocos, tubos, meios-fios) produzidas nos canteiros de obras.

A elevada geração de RCD é um problema global, atingindo elevados valores de geração, chegando a 50% do volume de resíduos gerados nos centros urbanos, causando impactos ambientais graves, havendo necessidade de encontrarem-se soluções para seu reaproveitamento, tratando-se de um material abundante e de baixo custo (Tam et al. 2018).

RCD devidamente segregados em conformidade com a Resolução CONAMA 307/2002, compostos por resíduos da classe “A”, cominuídos a fração de 2 mm, podem ser adicionados a solos degradados de forma segura e com aporte de micro e macro nutrientes essenciais ao desenvolvimento vegetal, com elevação do pH e aporte de potássio, porém com deficiência de fósforo, como descrito com sucesso por Santos e Tubino (2021). Os autores utilizaram RCD reciclados, classe A (Brasil 2002) em consórcio com casca de eucalipto compostada, em solo de área degradada por mineração, com resultados positivos para elevação da fertilidade, com aporte de micro e macronutrientes, destacando-se a elevação do teor de potássio com aporte equivalente a 388 kg ha⁻¹ de K₂O, além da elevação do pH com aporte equivalente a 1,483 t ha⁻¹ de CaO. Não houve translocação de metais tóxicos para sistema foliar das plantas de *avena strigosa* utilizadas como bioindicadoras e não houve contaminação da água percolada pelo sistema de irrigação, corroborando a utilização de RCD em solo, como componente para condicionamento de solos degradados.

Os mecanismos de dessorção de nutrientes ocorrem de forma natural, com absorção pelas plantas, potencializados pela atividade orgânica no solo, com formação de diferentes ácidos e complexação de substâncias promovidas pela biota presente no solo (Santos e Tubino 2021).

Desta forma, com a utilização correta destes resíduos, a adsorção de fósforo favorece a reutilização dos resíduos e fechamento do ciclo destes e de efluentes, com impacto positivo na recuperação de

fósforo e condições para redução da mineração de fosfato, elemento mineral não renovável e com reservas limitadas em escala global.

Neste contexto, o objetivo do presente estudo é investigar a viabilidade de remoção de P em efluentes com elevada concentração do elemento e proporcionar alternativa para utilização do resíduo na agricultura, como componente fertilizante, favorecendo a economia circular.

Material e métodos

Amostra de RCD foi coletada em uma central de reciclagem de RCD, no município de Criciúma, SC, de acordo com a NBR 10007 (ABNT 2004). O RCD na central de reciclagem é cominuído à fração areia grossa (2 mm). O RCD reciclado na unidade obedece a classificação da Resolução CONAMA 307 (Brasil 2002) para classe “A”, composto por material “cinza” (concreto e argamassa) e material “vermelho” (cerâmica, tubos cerâmicos, telhas cerâmicas e blocos cerâmicos).

Foram coletados 5 kg de RCD, sendo posteriormente obtida por quarteamento, uma amostra de 200 g, que após secagem em estufa a temperatura de 60°C por 48 horas foi armazenada em embalagem plástica para posterior análise por DRX, FRX, MEV e utilização no presente experimento.

Para a ativação por tratamento térmico, a amostra de RCD foi submetida ao forno mufla a temperatura de 800°C por 2 horas, sendo o resfriamento efetuado dentro do forno após período de calcinação.

Os resultados da FRX foram obtidos através de análise quantitativa com curva de calibração a partir de padrões de rocha tabelados da Geostandards 1. A metodologia de preparo de amostra foi a de pastilha prensada. A análise de elementos maiores foi no método GRP2 (método dos parâmetros fundamentais (FP) com curvas de calibração. O espectrômetro de fluorescência de raios X modelo RIX 2000 da marca Rigaku, WDS com tubo de raios X de Rh. A análise de FRX e DRX foi efetuada no Laboratório de Geoquímica da Universidade Federal do Rio Grande do Sul-UFRGS.

A análise por difração de raios X (DRX) foi realizada em um difratômetro de raios X marca Siemens (BRUKER AXS), modelo D-5000 equipado com tubo de ânodo fixo de Cu ($\lambda = 1.5406 \text{ \AA}$), operando a 40 kV e 30 mA no feixe primário e monocromador curvado de grafite no feixe secundário. A amostra em pó foi analisada no intervalo angular de 2.3 a $72^\circ 2\theta$ em passo de $0.02^\circ/1s$ utilizando-se fendas de divergência e anti-espalhamento de 1° e 0.6 mm no detector.

A análise de microscopia eletrônica de varredura (MEV) foi efetuada no Laboratório de microscopia de Universidade Federal de Goiás (LabMic).

Para os ensaios de adsorção foi preparada uma solução de fosfato monopotássico (KH_2PO_4) de modo a constituir concentrações de fósforo iguais a 100 mg.L^{-1} de P. Desta solução sintética transferiu-se 500 mL a erlenmeyers de 1000 ml. Aos erlenmeyers foram adicionados RCD calcinados a 800°C (RCDr) com concentrações variando entre $0,1$ a $0,5 \text{ mg.L}^{-1}$. As quantidades foram escolhidas em adaptação a metodologia proposta por Reis et al. (2020).

Após o processo de adsorção que ocorreu durante o período de 240 minutos, com agitação de 170 RPM e temperatura de 40° C , em um *shaker*, as amostras foram filtradas e submetidas a análise para determinação do teor de P por meio de ICP-OES.

A quantidade de fósforo adsorvido na superfície adsorvente foi calculada pela (Eq. 1):

$$qe = \frac{(co - ce)V}{m} \quad (1)$$

Onde qe é a quantidade de fósforo adsorvido no adsorvente (mg.g^{-1}); Co e Ce ; (mg.L^{-1}) são as concentrações de fósforo inicial e em equilíbrio, respectivamente; V é o volume da solução (L) e m é a concentração de adsorvente adicionado à solução (g).

A eficiência de remoção de fósforo foi calculada pela Equação 2:

$$\text{Eficiência \%} = \frac{co - ce}{co} \cdot 100 \quad (2)$$

Para os mesmos ensaios também foram determinadas as isotermas de adsorção, onde a quantidade de fosfato adsorvido por unidade de massa do adsorvente (em mg.g^{-1}) foi calculada usando a equação de balanço de massa. A quantidade de fósforo adsorvido (mg.g^{-1}) foi obtido através da razão entre o produto e volume e diferença entre as concentrações iniciais e a de equilíbrio na solução (mg.L^{-1}) e a concentração de RCD utilizada. Modelos de Langmuir (Eq. 3) e Freundlich (Eq. 4) foram utilizadas para descrever o comportamento de adsorção de fósforo.

$$qe = qmax * b * \frac{ce}{1 + b * ce} \quad (3)$$

$$qe = kf * C^{1/n} \quad (4)$$

Onde, qe é a quantidade de fósforo adsorvida (mg.g^{-1}), Ce é a concentração de fósforo em solução em equilíbrio (mg.L^{-1}), $qmax$ (mg.g^{-1}) é a máxima capacidade de adsorção no RCD ativado; b (L.mg^{-1}) é a constante de Langmuir; kf é o parâmetro de capacidade de adsorção de Freundlich [$(\text{mg adsorvato.g}^{-1} \text{ adsorvente}).(\text{L.mg}^{-1} \text{ de adsorvato})^{1/n}$] e n é a constante de Freundlich relacionada à capacidade de adsorção (mg.g^{-1}) e intensidade de adsorção (L.mg^{-1}).

As equações descritas foram transformadas em expressões de forma linear, tanto para a isoterma de Langmuir (Eq. 05), quanto à de Freundlich (Eq. 06):

$$\frac{ce}{qe} = \frac{1}{b} * qmax + \frac{Ce}{qmax} \quad (5)$$

$$\ln qe = \ln kf * \frac{1}{n} * \ln Ce \quad (6)$$

As constantes $qmax$ e b foram calculadas a partir do gráfico linear Ce/qe x Ce . Já as constantes kf e $1/n$ foram estimadas a partir de gráfico $\ln qe$ x $\ln Ce$.

Resultados e discussão

A análise por FRX, DRX e MEV corroboraram a constituição do material utilizado como adsorvente, sendo constituído majoritariamente por óxidos de cálcio, magnésio, alumínio e sílica. Os resultados encontram-se na Tabela 1.

Tabela 1: Resultado de elementos maiores % em peso (g/100g)

Elemento/ Amostra	SiO ₂	AlO ₃	TiO ₂	FeO ₃	MnO	CaO	MgO	Na ₂ O	K ₂ O	P ₂ O ₅	LOI	Total
RCD	58,79	6,48	0,71	3,25	0,05	24,40	3,18	0,16	1,39	0,08	1,50	100,00

A DRX complementa a análise (Figura 2), assim como a MEV, demonstrando a elevada superfície específica do RCD após tratamento térmico, como a constituição química do material (Figura 3).

Figura 2. Análise de DRX

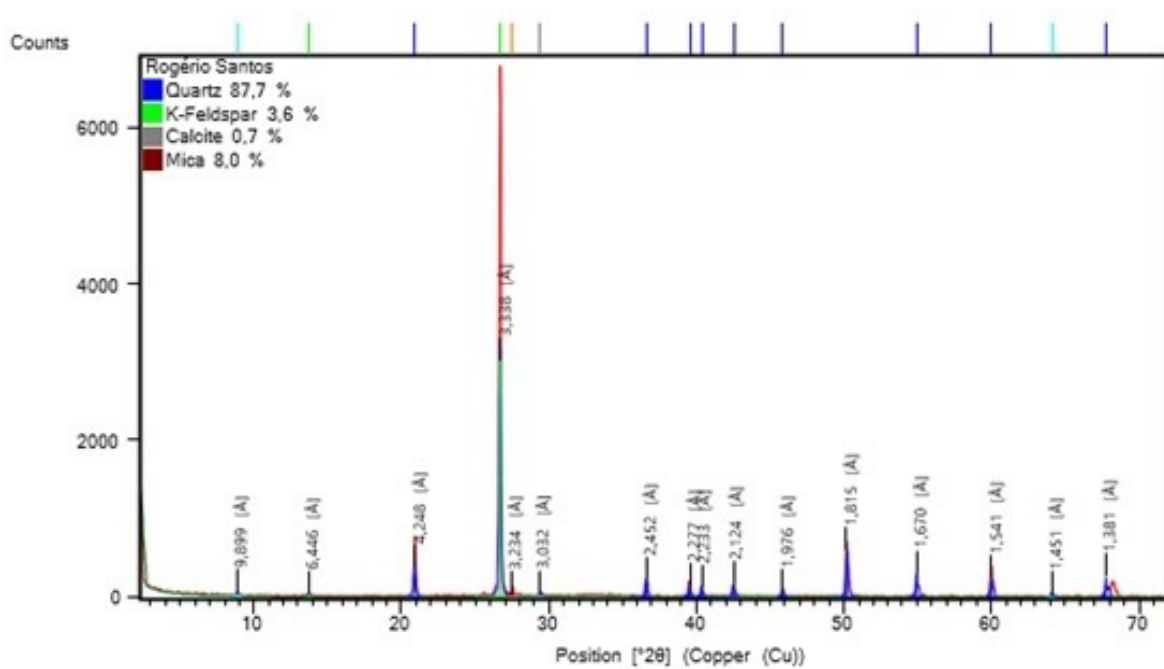
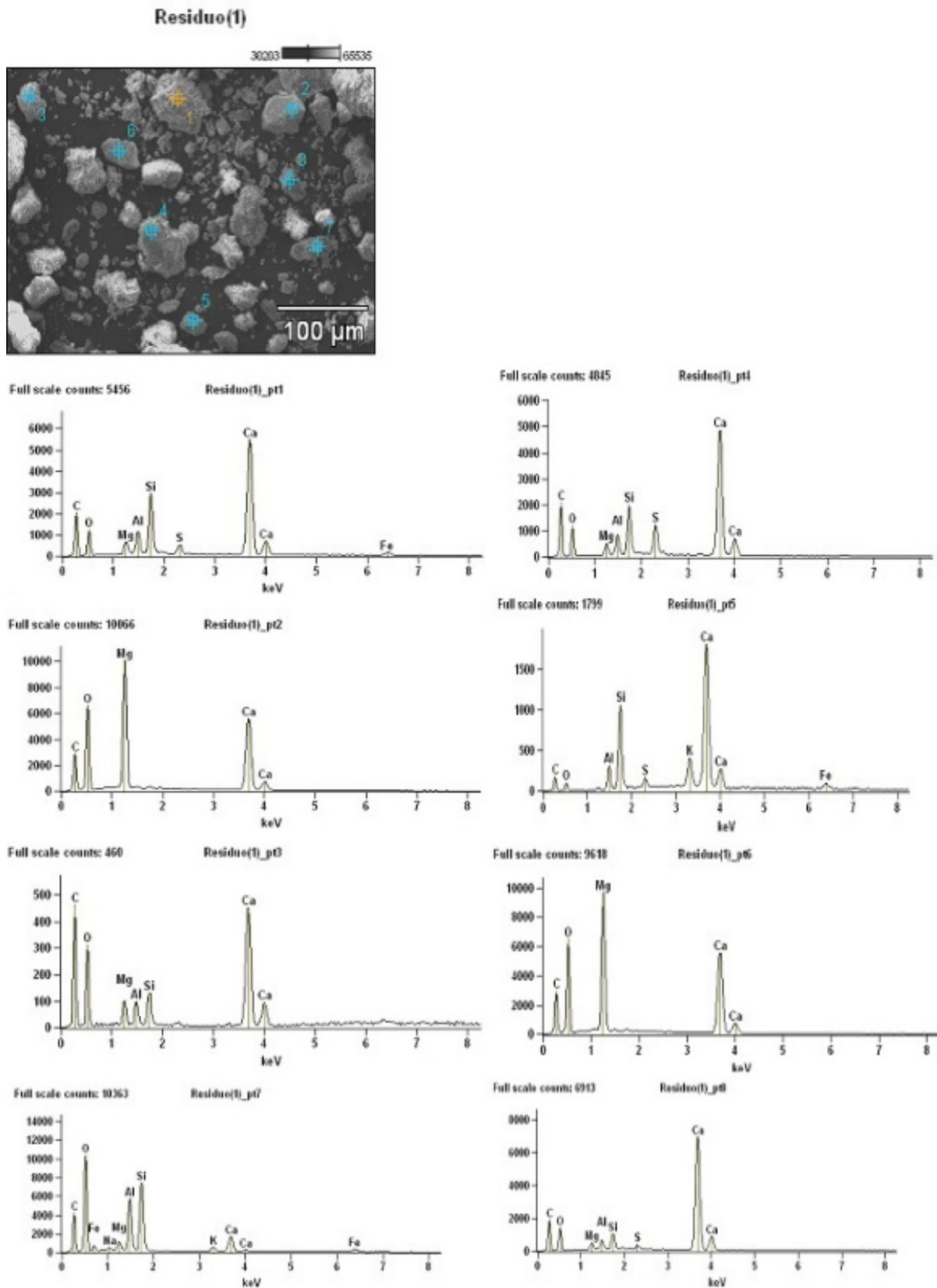


Figura 3. Microscopia Eletronica de Varredura – MEV da amostra de RCD: Accelerating Voltage: 15.0 KV. Magnification: 300

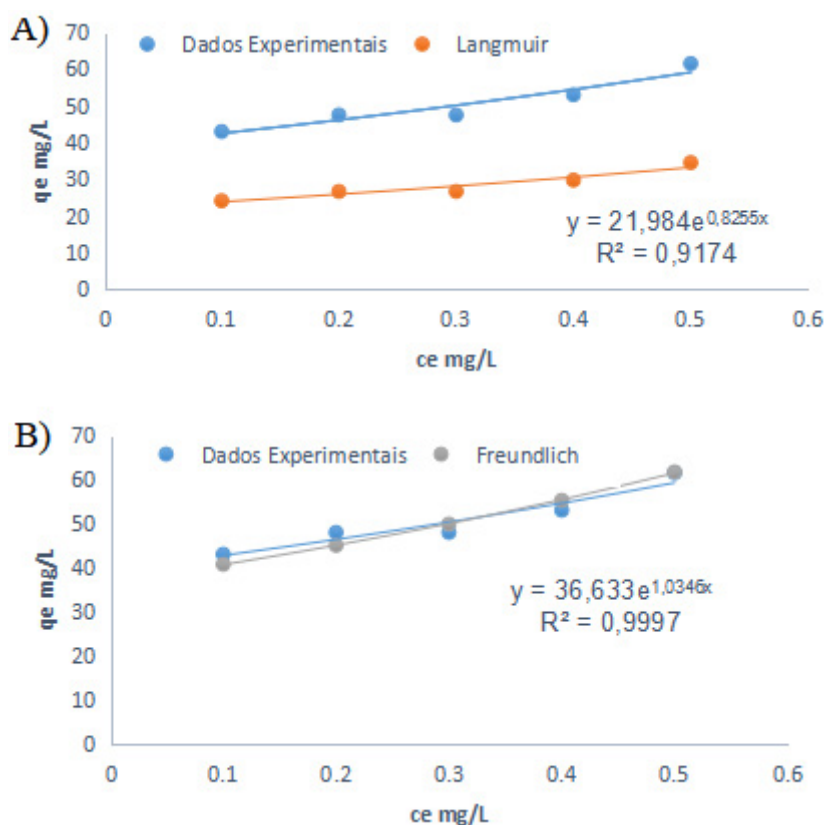


Com o processo da adsorção do efluente sintético na concentração de 100 mg.L⁻¹ de P, adicionado a concentrações de 0,1; 0,2; 0,3; 0,4; 0,5 mg.L⁻¹ de RCD reciclado, termicamente ativado, obteve-se as seguintes isotermas, conforme Tabela 2 e Figura 4.

Tabela 2. Constantes das Isotermas de adsorção

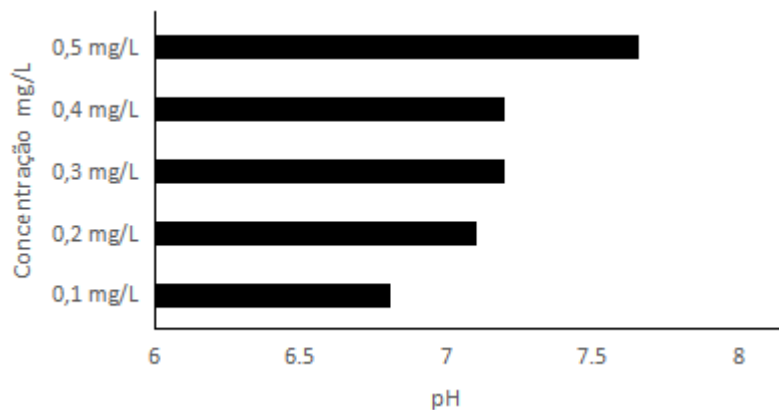
Isotermas	Lamguir (constantes)			Freundlich (constantes)		
	q _{max}	b	R ²	K _f	1/n	R ²
RCD rec.	56,49	1,92	0,917	59,68	0,0059	0,997

Figura 4. Dados experimentais e isotermas lineares: A) ajustadas de adsorção R² (Langmuir) para RCD a uma concentração inicial de P de 100 mg.L⁻¹; B) ajustadas R² de adsorção (Freundlich) para RCD a uma concentração inicial de P de 100 mg.L⁻¹



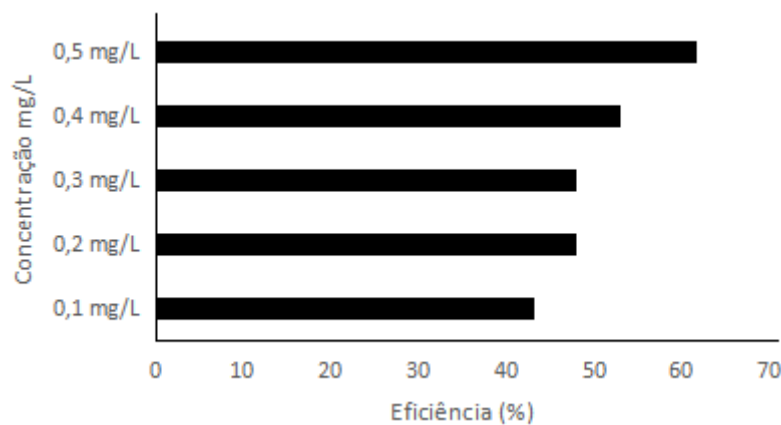
Observa-se que os dados experimentais se ajustam melhor as isotermas de Freundlich (Figura 4B), que apresentaram coeficientes de regressão linear superiores a 0,999. O melhor ajuste a isoterma de Freundlich pode ser explicado pelo efeito de multicamadas, ao contrário da isoterma de Langmuir (Figura 4A), que considera a adsorção em monocamadas.

Um fator relevante para a adsorção é o pH (Reis et al. 2020), o qual apresentou valores crescentes em razão da dosagem de RCDr, devido a elevada concentração de óxidos de cálcio no material (Figura 5).

Figura 5. Análise de pH nas soluções

Os resultados corroboram os dados constantes da literatura, devido a característica típica dos RCD, compostos por argamassa, concreto, blocos e materiais cerâmicos. Materiais constituídos majoritariamente por cálcio, alumínio, potássio, magnésio e sílica (Santos e Tubino 2021). A análise de MEV (Figura 2) demonstra a elevada superfície específica dos fragmentos de RCD amostrado, sendo constituídos por cálcio, elemento que contribuí para a elevação do pH e processo de adsorção (Pierangreli 2005).

A eficiência de adsorção máxima obtida foi referente a concentração de $0,5 \text{ mg.L}^{-1}$ de RCD, onde obteve-se o percentual de 61,5% de remoção de P da solução sintética, conforme Figura 6.

Figura 6. Eficiência na remoção de P com diferentes concentrações de adsorvente, em agitação (170 RPM, 40°C , 240 minutos).

Pode-se observar que a isoterma de Langmuir não foi eficiente para descrever o comportamento da adsorção, corroborando Reis et al. (2020), quando os autores concluíram em experimento de adsorção com RCD que a isoterma mais eficiente foi a de Liu, no entanto com remoção percentual de fósforo próxima a do presente estudo. O modelo de isoterma de Langmuir apresenta uma superfície homogênea e a adsorção em sua superfície possui a mesma energia de ativação, ao passo que a isoterma de Freundlich é adequada para superfícies elevadamente heterogêneas (Fritzen 2020).

As isotermas apresentaram comportamento linear, definindo que a quantidade adsorvida é proporcional a concentração do fluido, não indicando uma capacidade máxima para adsorção. Pela

classificação de Giles, podem ser definidas como isotermas do tipo C: possuem um início linear indicando que o número de sítios ativos é constante (Oliveira et al. 2018).

A isoterma de Langmuir admite a adsorção em monocamada, o que pode explicar os índices de adsorção maiores obtidos no presente estudo, sendo mais plausível a adsorção multicamadas, conforme determinado para isotermas de Freundlich, corroborando os dados obtidos.

A isoterma de Freundlich no presente caso foi eficiente, apresentando um elevado coeficientes de regressão linear de 0,9997 conforme Figura 5.

A concentração de P testada foi elevada (100 mg.L^{-1}), de forma proposital, simulando a quantidade média de P em efluentes da indústria de arroz parboilizado (Faria 2006). Assim, o percentual de remoção pode ser considerado significativo em razão da baixa quantidade de adsorvente utilizada, sendo maior que muitos adsorventes relatados na literatura.

Conclusões

O RCD ativado termicamente demonstrou viabilidade técnica para remoção de P a partir dos modelos e estudos efetuados, sendo a isoterma de Freundlich adequada para explicar os processos de adsorção por RCD reciclado, no presente estudo. A remoção de 61,5% de P da solução demonstra que o adsorvente utilizado é eficiente para remoção de P em efluentes com alta concentração do elemento.

Recomenda-se a continuidade dos experimentos com efluente industrial ou doméstico e a execução de estudos com outros modelos de isotermas, a exemplo da isoterma de Liu, além do reaproveitamento de diferentes resíduos como adsorventes.

Demonstrado o potencial de adsorção de P, o RCD pós adsorção pode ser utilizado de forma direta como componente fonte de P, além de corretivo de pH e fonte de nutrientes essenciais a vegetação, em uso agrícola, na recuperação de solos degradados, plantio de mudas, jardins ou cultivos florestais, mediante análises prévias quanto a potencial presença de elementos tóxicos nos RCD.

Sugere-se, a possibilidade de estudos de desorção e obtenção de compostos fosfatados como insumos à produção de fertilizantes, otimizando o processo e fomentando a economia circular.

Participação do autor: Redação, revisão e edição. Metodologia e investigação.

Aprovação ética ou licenças de pesquisa: não se aplica.

Disponibilidade dos dados: os dados não estão disponíveis em nenhuma base de dados ou repositórios.

Fomento: não houve nenhuma via de financiamento

Conflito de Interesses: o autor declara não haver conflito de interesses.

Referências

Associação Brasileira de Normas Técnicas. 2004. ABNT NBR 10.007 – Amostragem de Resíduos sólidos. Rio de Janeiro: Associação Brasileira de Normas Técnicas.

Bao Z, Lu W. 2020. Developing efficient circularity for construction and demolition waste management in fast emerging economies: Lessons learned from Shenzhen, China. *Science of the Total Environment*, v. 724, p. 138-264. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.138264>.

- Belitz H, Grosch W. 1988. Química de los alimentos Zaragoza: Acríbia, 549 p.
- Brasil. 2002. Ministério do Meio Ambiente. Resolução Conama no 307, de 5 de julho de 2002. Estabelece diretrizes, critérios e procedimentos para a gestão dos resíduos da construção civil. Diário Oficial da União, Brasília.
- Brasil. 1988. Portaria nº 269, de 17 de novembro de 1988. Norma de Identidade, Qualidade, Embalagem e Apresentação do Arroz. Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil, Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, Brasília (DF), 22 nov. 1988. Seção 1, p. 22.531.
- Bull VN, Pilatti FK, Schwartz E, Cassana FF. 2021. Sludge from rice parboiling wastewater treatment plant as alternative substrate for the production of *araucaria angustifolia* seedlings. Revista Árvore, 45, e4510. <https://doi.org/10.1590/1806-908820210000010>
- Caicedo DF, Reis GS, Lima EC, de Brum IAS, Pascal S, Cazacliu BG, Lima DR, Santos AH, Dotto GL. 2020. Efficient adsorbent based on construction and demolition wastes functionalized with 3-aminopropyltriethoxysilane (APTES) for the removal ciprofloxacin from hospital synthetic effluents. Journal of Environmental Chemical Engineering, v. 8, n. 4, p. 103875. <https://doi.org/10.1016/j.jece.2020.103875>
- Cornel P, Schaum C. 2009. Phosphorus recovery from wastewater: needs, techniques and costs. Water Science and Technology, v. 59, p. 1069-1076. <https://doi.org/10.2166/wst.2009.045>
- Di Bernardo L, Dantas ADB. 2005. Métodos e Técnicas de Tratamento de Água. 2ª ed. São Carlos: RiMa.
- Faria OLV, Koetz PR, Santos MS, Nunes WA. 2006. Remoção de fósforo de efluentes da parboilização de arroz por absorção biológica estimulada em reator em batelada sequencial (RBS). Food Science and Technology, 26(2), 309–317. <https://doi.org/10.1590/S0101-20612006000200013>
- Fernández-Naranjo FJ, Alberruche E, Rodríguez V, Arranz JC, Vadillo L. 2016. Recycled construction and demolition waste in mining rehabilitation. Translation on Ecology and the Environment: Wit Press, vol.202: 28-35.
- Fritzen R. 2020. Aplicação de casca de ovo calcinada na recuperação de fósforo em estações de tratamento de esgotos domésticos aplicação de casca de ovo calcinada na recuperação de fósforo em estações de tratamento de esgotos domésticos. Dissertação de Mestrado. UFRGS. Porto Alegre, 95 fl.
- Gutkoski LC. 1991. Efeitos das condições de maceração e de autoclavagem na qualidade industrial e comercial dos grãos de arroz (*Oryza sativa* L.) parboilizados. 1991. 122 p. Dissertação (mestrado em Ciência e Tecnologia Agroindustrial) – DCTA, Faem, Universidade Federal de Pelotas, Pelotas.
- Hamzah S, Razali N, Yatim N, Alias M, Ali A, Zaini N, Abuhabib AA. 2018. Characterisation and performance of thermally treated rice husk as efficient adsorbent for phosphate removal. Journal of Water Supply: Research and Technology-Aqua. 67. 10.2166/aqua.2018.087. <https://doi.org/10.2166/aqua.2018.087>
- Hosenery RC. 1991. Principios de ciência y tecnología de los cereales. Zaragoza: Acríbia, 321 p.
- Nery IBD, Cella D. 2022. Arroz: uma descrição do mercado. Revista Interface Tecnológica, 19(2), 549–460. <https://doi.org/10.31510/infa.v19i2.1436>
- Oliveira FM, Coelho LM, Melo EI. 2018. Avaliação de processo adsorptivo utilizando mesocarpo de coco verde para remoção do corante azul de metileno. Matéria (Rio de Janeiro), v. 23, n. 4, p. e12223. <https://doi.org/10.1590/S1517-707620180004.0557>
- Pierangreli MAP, Guilherme LRG, Curi N, Silva MLN, Lima JM, Costa ET. 2005. Efeito do pH na adsorção e dessorção de cádmio em Latossolos brasileiros. Revista Brasileira De Ciência Do Solo, 29(4), 523–532. <https://doi.org/10.1590/S0100-06832005000400005>
- Reis GS, Cazacliu BG, Correa CR, Ovsyannikova E, Kruse A, Hoffmann Sampaio C, Lima EC, Dotto GL. 2020. Adsorption and recovery of phosphate from aqueous solution by the construction and demolition wastes sludge and its potential use as phosphate-based fertiliser. Journal of Environmental Chemical Engineering. n.8. <https://doi.org/10.1016/j.jece.2019.103605>

Adsorção de fósforo em efluentes com elevada concentração por meio de resíduos de construção e demolição (RCD) termicamente ativados

Reis GS, Quattrone M, Ambrós WMG, Cazacliu B, Hoffmann Sampaio C. 2021. Current Applications of Recycled Aggregates from Construction and Demolition: A Review. Romania, v. 1. <https://doi.org/10.3390/ma14071700>

Santos RP, Tubino R. 2021. Potential evaluation of the use of construction and demolition waste (CDW) in the recovery of degraded soils by mining in Brazil, Resources, Conservation & Recycling Advances, Volume 12 : 2667-3789. <https://doi.org/10.1016/j.rcradv.2021.200060>.

Tam VWY, Soomro M, Evangelista ACJ. 2018. A review of recycled aggregate in concrete applications (2000–2017). Construction and Building Materials, v. 172, Pages 272-292. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2018.03.240>.

Trindade PBCB, Mendonça ASF. 2014. Eutrofização em reservatórios: estudo de caso reservatório Rio Bonito-ES. Eng. Sanit. Ambient. v. 19 (3). <https://doi.org/10.1590/S1413-41522014019000000537>

Verstraete W, Van de Caveye P, Diamantis V. 2009. Maximum use of resources present in domestic “used water”. Bioresource Technology 100 (23), 5537–5545. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2009.05.047>



Esta obra está licenciada com uma *Licença Creative Commons Atribuição Não-Comercial 4.0 Internacional*.