

TRATAMENTO TERCIÁRIO DE EFLUENTE INDUSTRIAL COM BIOSORVENTE DE PEQUI COMO AUXILIAR DE COAGULAÇÃO/FLOCULAÇÃO E ADSORÇÃO

Data de aceite: 03/06/2024

Josias do Espírito Santo Coringa

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Mato Grosso, campus Cuiabá Bela Vista, Av. Juliano Costa Marques, S/N, Cuiabá – MT

Elaine de Arruda Oliveira Coringa

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Mato Grosso, campus Cuiabá Bela Vista, Av. Juliano Costa Marques, S/N, Cuiabá – MT

Fátima dos Santos Moreira

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Mato Grosso, campus Cuiabá Bela Vista, Av. Juliano Costa Marques, S/N, Cuiabá – MT

ABSTRACT: The objective of the present study was to optimize the effluent treatment process of a soft drink manufacturing industry by using pequi residues as an adsorbent in the removal of contaminants from the effluent, in tertiary treatment. For this purpose, the dry biomass of pequi residues (mesocarp and epicarp) was prepared from drying in an oven (70°C) and grinding in a ball mill, and the physicochemical characteristics were determined: pH, ash content, titratable acidity, pH in the zero charge point

(pHPCZ), Maximum Adsorption Capacity with methylene blue dye and determination of acidic and basic groups. The coagulation/flocculation assays were carried out in the treated effluent from the industry, using the coagulant PolyAluminum Chloride (PAC) and the pequi biosorbent, in predetermined dosages, using Jar-Test equipment, in order to evaluate the efficiency in relation to the main effluent release parameters and the optimal dosage of the biosorbent. The results of the tests using the combination of PAC coagulant in the dosage of 60 mg.L⁻¹ and pequi biomass in the dosage of 15 mg.L⁻¹ showed an efficiency above 70% for most of the parameters analyzed in the effluent. With the use of the biosorbent, the total phosphorus concentration in the effluent reached 0.01 mg.L⁻¹, reaching a reduction of 96.5% in relation to the conventionally treated effluent.

KEYWORDS: effluent, soft drink, biosorbent.

RESUMO: O objetivo do presente estudo foi otimizar o processo de tratamento de efluentes de uma indústria de fabricação de refrigerantes ao utilizar os resíduos do pequi como adsorvente na remoção de contaminantes do efluente, em tratamento terciário. Para tanto, foi preparada a

biomassa seca dos resíduos do pequi (mesocarpo e epicarpo) a partir da secagem em estufa (70°C) e trituração em moinho de bolas, e determinadas as características físico-químicas: pH, teor de cinzas, acidez titulável, pH no ponto de carga zero (pHPCZ), Capacidade Máxima de Adsorção com corante azul de metileno e determinação de grupos ácidos e básicos. Os ensaios coagulação/floculação foram realizados no efluente tratado da indústria, empregando-se o coagulante PolíCloreto de Alumínio (PAC) e o biosorvente de pequi, em dosagens pré-determinadas, utilizando equipamento Jar-Test, a fim de avaliar a eficiência em relação aos principais parâmetros de lançamento do efluente e a dosagem ótima do biosorvente. Os resultados dos ensaios utilizando a combinação do coagulante PAC na dosagem de 60 mg. L⁻¹ e biomassa do pequi na dosagem 15 mg. L⁻¹ mostraram uma eficiência acima de 70% para a maioria dos parâmetros analisados no efluente. Com o emprego do biosorvente, a concentração de fósforo total no efluente chegou a 0,01 mg. L⁻¹, atingindo uma redução de 96,5% com relação ao efluente tratado convencionalmente.

PALAVRAS-CHAVE: efluente, refrigerante, biosorvente

INTRODUÇÃO

A água será fator impactante para crises internacionais no século XXI, uma vez que o consumo total de água para as atividades humanas (agrícola, industrial, doméstica e outras) aumentou exponencialmente. Esse aumento no consumo de água é maior nos países em desenvolvimento, em virtude do maior crescimento da população. A Organização das Nações Unidas (ONU) prevê que população global deverá atingir 8,5 bilhões em 2030 e 9,7 bilhões em 2050, de acordo com o relatório “*World Population Prospects 2022*” (UNITED NATIONS, 2022).

O consumo de água pela indústria chega a representar de 10 a 57% do consumo total, dependendo do país. Várias alternativas podem ser adotadas pela indústria para práticas sustentáveis do uso da água, tais como a reutilização interna da água de alguns processos, o reciclo, o aproveitamento da água da chuva, bem como o reuso com a utilização segura dos efluentes gerados. Todas essas alternativas são opções que buscam minimizar a captação de água e o lançamento de efluentes.

O uso de biomassas de origem vegetal no tratamento de águas e efluentes via mecanismo de adsorção é comprovadamente um excelente método para remoção de contaminantes, especialmente corantes e metais, pois é de fácil operação e alta eficiência, ambientalmente correto e economicamente viável, pois são biodegradáveis e não tóxicos, geram um menor volume de lodo no processo.

Dentre os materiais adsorventes podem ser citados as bentonitas, zeólitas, argilas e diatomitas, óxidos e hidróxidos metálicos, carvão ativado, resinas de troca iônica, derivados de celulose, alumina, subprodutos industriais como escória, cinzas e lamas, biomassas vegetais (cinzas de casca de arroz, bagaço de cana, biocarvão, dentre outros (BACELO et al, 2020).

Neste estudo foi empregada a adsorção como tratamento terciário do efluente, utilizando a biomassa do pequi. O fruto do pequi (*Caryocar brasiliense*) é um fruto do Cerrado brasileiro, e sua casca, formada pelo epicarpo e mesocarpo, geralmente é descartada durante a comercialização do fruto, gerando grande volume de resíduos no ambiente (AKSU, 2005). Daí a importância do reaproveitamento dessa biomassa em aplicações tecnológicas como a biossorção de contaminantes orgânicos e inorgânicos em meio aquoso. Alguns estudos mostraram resultados que comprovaram a eficiência da farinha de pequi como material adsorvente de metais e corantes em solução aquosa (NASCIMENTO et al., 2014; CORINGA et al., 2017; BARROSO et al., 2019).

Os resíduos de frutas e vegetais são produzidos em grandes quantidades pelas indústrias de processamento de alimentos e na agricultura, e muitas vezes causam incômodo em aterros municipais devido à sua alta biodegradabilidade. A adsorção com o uso de adsorventes à base desses resíduos pode se tornar uma técnica econômica e eficiente para a remoção de metais pesados tóxicos e corantes das águas residuais (PATEL, 2012).

A adsorção é um processo no qual átomos, moléculas ou íons são retidos na superfície de um sólido através de interações químicas ou físicas, tais como: troca de íons (reversível/superfície de esfera externa), troca de ligante (irreversível/superfície de esfera interna), ligações de hidrogênio (interações H-O), precipitação em superfície na presença de íons cálcio, ferro, alumínio ou zinco e difusão no interior dos microporos do adsorvente (LOGANATHAN et al, 2014).

De forma geral, os biossorventes são compostos por íons e os grupos funcionais (carboxila, carbonila, hidroxila, amino ou sulfidril) presentes na sua superfície que favorecem a interação físico-química para biossorção dos íons metálicos, o que faz com que esse material possa ser utilizado na remoção de contaminantes em meio aquoso, como corantes, compostos orgânicos, fármacos, esteroides e metais pesados (LONG et al., 2017).

Nesse contexto, empregou-se a biomassa dos resíduos do fruto pequi (*Caryocar brasiliense*) como biossorvente no processo de tratamento terciário do efluente de uma indústria de refrigerantes de grande porte, em associação com um coagulante convencional, a fim de auxiliar na remoção de contaminantes no efluente industrial, especialmente o fósforo.

METODOLOGIA

O estudo foi conduzido no Instituto Federal de Mato Grosso em parceria com uma indústria de bebidas de grande porte localizada no município de Várzea Grande, MT, tendo o efluente tratado oriundo da Estação de Tratamento de Efluentes da fábrica como matriz de estudo. O efluente utilizado no experimento foi coletado ao final do tratamento secundário,

diretamente da ETE (Estação de Tratamento de Efluentes) e a cada ensaio foi submetido ao monitoramento dos parâmetros físicos e químicos de acordo com a legislação ambiental e rotina da ETE.

A matéria prima para elaboração do biosorvente foi adquirida nas feiras da região de Cuiabá, onde os frutos maduros do pequi foram previamente selecionados e submetidos ao tratamento térmico em estufa à temperatura de 68-70°C por 24 horas e redução de tamanho por moagem para obtenção do biosorvente.

O material biosorvente foi caracterizado quanto às suas propriedades químicas, adsorptivas e eletroquímicas, onde foram analisados: o pH pelo método potenciométrico, teor de cinzas e acidez titulável (IAL, 2008), determinação de grupos funcionais básicos e ácidos de superfície segundo a metodologia de Boehm (1994) modificada por Nascimento et al. (2014), a capacidade máxima de adsorção em corante azul de metileno (ALFREDO, 2013) e a determinação do ponto de carga zero – PCZ (DEOLIN et al., 2013).

O experimento se desenvolveu em batelada, sob escala laboratorial com equipamento Jar-Test, com testes semanais de coagulação/adsorção empregando-se concentrações otimizadas de biosorvente e coagulantes PAC (policloreto de alumínio) e sulfato de alumínio. A otimização dos ensaios foi realizada pelo método univariado no qual foi fixado um fator por vez, variando-se os demais fatores do experimento, até que fosse obtido o melhor resultado em termos de máxima remoção de contaminantes do efluente e adequação dos parâmetros físico-químicos para destinação do efluente tratado.

Após a determinação do tipo e da dosagem eficiente do coagulante, foram testados no equipamento Jar Test a adição do biosorvente da farinha do pequi em associação com coagulante escolhido, a fim de determinar a dosagem ótima que possibilitasse a redução nos parâmetros físico-químicos do efluente, principalmente com relação ao fósforo. As concentrações do biosorvente de pequi testadas variaram de 0,5 a 3,0 mg L⁻¹, sendo aplicados em cada jarro uma dosagem diferente junto com o coagulante, após a mistura rápida (1 minuto), com tempo na floculação de 15 minutos e velocidade de rotação a 45 rpm.

Após cada tratamento, o efluente tratado foi analisado quanto aos parâmetros (STANDARD METHODS FOR THE EXAMINATION OF WATER AND WASTEWATER, 2012): Cor pelo método colorimétrico utilizando colorímetro HANNA; Turbidez pelo método turbidimétrico utilizando Turbidímetro HANNA; pH pelo método potenciométrico utilizando potenciômetro HANNA após calibração com tampão pH 4 e 7; Fósforo Total através de kit de análise Merck para determinação Fósforo total em água e efluente utilizando espectrofotômetro para quantificação (Método Vanadomolibdico); Nitrogênio total através de kit de análise Merck para determinação Nitrogênio Total com digestão nitrato em água e efluente utilizando espectrofotômetro para quantificação (Método do Persulfato).

RESULTADOS

Os resultados das análises químicas e eletroquímicas do biosorvente do pequi encontram-se na Tabela 1.

Variáveis analisadas	Resultado
pH	3,60 ± 0,02
Cinzas (%)	2,90 ± 0,124
Acidez titulável	32,67 ± 1,84
PCZ (ponto de carga zero)	3,5
Capacidade adsortiva (Qeq, mg.g ⁻¹)	9,98
Grupos ácidos fenólicos (Gf, mEq.g ⁻¹)	0,0
Grupos ácidos carboxílicos (Gc, mEq.g ⁻¹)	17,2
Grupos ácidos lactônicos (Gl, mEq.g ⁻¹)	4,8
Grupos básicos (mEq.g ⁻¹)	2,74

Tabela 1 - Resultados das variáveis químicas e eletroquímicas do biosorvente de pequi.

O biosorvente de pequi possui mais grupos funcionais ácidos do que grupos básicos, sendo que os grupos carboxílicos dominam em sua superfície. A biosorção é capacidade da biomassa em adsorver metais em sua superfície através de grupos funcionais carboxílicos e fenólicos. Estes resultados são semelhantes ao encontrado por Nascimento et al. (2014), onde os grupos carboxílicos estavam presentes em maior quantidade na casca do pequi in natura, e não foram detectados grupamentos lactônicos e fenólicos.

Neste estudo observou-se o PCZ do biosorvente na faixa de 3,5, o que significa que, nessa faixa de pH a superfície do biosorvente tem carga nula, sendo, portanto, de caráter neutro. Em faixas de pH da solução (por exemplo, o efluente) abaixo de 3,5, a biosorção ocorre com espécies de cargas negativas, e acima do pH 3,5, a biosorção é predominante de espécies de cargas positivas. O valor do pHPCZ do biosorvente em estudo é semelhante ao encontrado por outros autores, para farinha da casca e pequi: 2,77 (Amorim, 2015); 3,54 (Coringa et al., 2017); 3,9 (Nascimento et al., 2014); 4,33 (Barroso et al., 2019).

A adsorção pode ser influenciada por diversos fatores, e para que o processo obtenha uma alta eficiência e alta capacidade adsortiva é necessário o estudo das variáveis operacionais que influenciam ao longo do processo. E uma dessas variáveis é o pH. Na figura 1 verifica-se que o pH exerce efeito significativo sobre a remoção do corante azul de metileno pelo biosorvente: quanto maior o pH da solução maior será a concentração do azul de metileno retido na superfície do biosorvente à base do pequi.

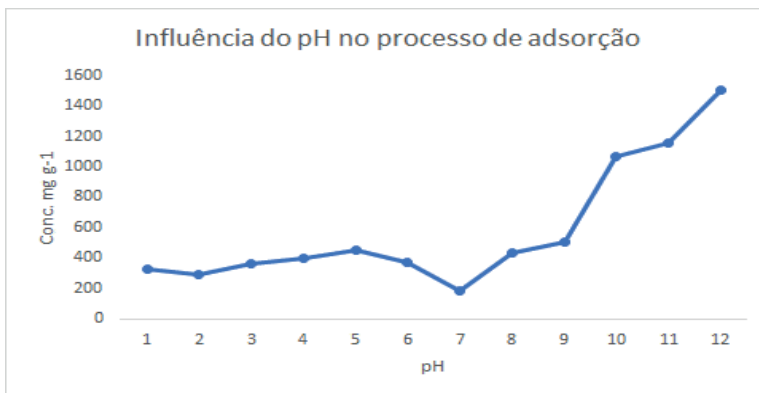


Figura 1 – Influência do pH no processo de adsorção do corante azul de metileno pelo biosorvente de pequi.

Os ensaios preliminares de coagulação/floculação foram realizados com o intuito de determinar qual tipo e concentração do coagulante (sulfato de alumínio e o policloreto de alumínio (PAC) que seria utilizado no experimento visando a eficiência do tratamento, com base no índice de turbidez e cor do efluente. Pelos resultados de redução da turbidez, optou-se por utilizar o coagulante Policloreto de alumínio (PAC) na dosagem de 60 mg L⁻¹ para os ensaios juntamente com o biosorvente, uma vez que a turbidez e a cor reduziram, reduziram em 86% e 75% com esse coagulante, respectivamente, ao invés de 47% e 25% com o sulfato de alumínio.

Nos ensaios de coagulação/floculação e adsorção no efluente foram utilizadas soluções do coagulante PAC na concentração ótima de 60 mg L⁻¹ e do biosorvente em solução a 15, 20, 25 e 30 mg L⁻¹ cujas diluições foram efetuadas diretamente em cada jarro do equipamento Jar Test.

Efluente / Dosagens do coagulante + biosorvente	pH	Cor (mg Pt L ⁻¹)	Turbidez (UNT)	Nitrogênio (mg N L ⁻¹)	Fosforo total (mg P L ⁻¹)
Efluente tratado (controle)	7,96±0,09	106,67±5,77	9,45±0,01	3,13±0,21	1,04±0,02
Coagulante PAC (60 mg/L)	7,428±0,21	30±5,70	0,86±0,32	2,14±0,00	0,05±0,01
PAC 60 mg L ⁻¹ + Biosorvente na Dosagem 15mg L ⁻¹	7,59±0,14	23,33±5,77	1,10±0,18	1,9±0,10	0,01±0,01

Tabela 2 – Resultados dos parâmetros do efluente antes e após a coagulação/floculação e adsorção com coagulante PAC e biosorvente de pequi na dosagem ótima.

Observou-se que a eficiência na redução dos parâmetros físico-químicos do efluente tratado com o biosorvente foi maior para o fósforo, obtendo um valor de 99% de redução com o uso do PAC associado ao biosorvente de pequi. A redução significativa desse parâmetro com os tratamentos é de maior interesse para a indústria de bebidas devido ao

poder poluidor do fósforo quando lançado no ambiente e à adequação aos parâmetros de lançamento do efluente no ambiente.

Quanto aos outros parâmetros, a eficiência variou de 39% para o nitrogênio, 88% para a turbidez e 78% para a cor, para o mesmo tratamento.

CONCLUSÃO

Constatou-se que o tratamento terciário do efluente com o biosorvente de pequi obteve melhor eficiência que o uso isolado do coagulante tradicional, com redução da turbidez, cor, nitrogênio e fósforo sem agregar quantidades de alumínio no efluente tratado. Isso demonstra o potencial agregado do uso do biosorvente natural a partir de um resíduo de fruta associado com um coagulante comercial.

O melhor desempenho observado foi na remoção do fósforo (acima de 90% para todos os tratamentos com relação ao efluente tratado que atualmente é gerado na fábrica), e que foi o objetivo principal do estudo.

Dessa forma, o uso da farinha de pequi analisado pode ser eficiente no de efluentes industriais com finalidade de água para reuso, sendo de fácil aquisição, são biodegradáveis, não tóxicos, de baixo custo e efetivos em baixas concentrações.

O estudo contribuirá futuramente para o reuso do efluente reduzindo o indicador hídrico na indústria em que se realizou o estudo, contribuindo também com agregação de valor a um produto normalmente descartado como resíduo, proporcionando um aproveitamento tecnológico e ambientalmente correto.

REFERÊNCIAS

AKSU, Z., Application of biosorption for the removal of organic pollutants: a review. *Process Biochemistry*, vol. 40, p. 997- 1026, 2005.

ALFREDO, A.P.C. Adsorção de azul de metileno em casca de batata utilizando Sistema em batelada e coluna de leito fixo. 2013. Trabalho de conclusão de curso. UTFPR, campus Toledo, 2013.

AMORIM, Dayane de Jesus. Caracterização e avaliação da potencialidade das cascas trituradas de pequi (Caryocar Brasiliense camb.) na adsorção de Íons Pb(II) em águas. Anápolis, 2015.

BACELO, H. et al. Performance and prospects of different adsorbents for phosphorus uptake and recovery from water. *Chemical Engineering Journal*, v. 381, p. 122566, 2020.

BARROSO, J. A. D. Et al. Estudo da adsorção de azul de metileno utilizando cascas de pequi. *Braz. J. of Develop.*, Curitiba, v. 5, n. 12, p. 29349-29356, dec. 2019

BOEHM, H. P. Some aspects of the surface chemistry of carbon blacks and other carbons. *Carbon*, v. 32, n.5, p. 759-769, 1994.

CORINGA, E. A. O.; CORINGA, J. E. S. dos. uso de farinhas vegetais como adsorventes e coadjuvantes de floculação. XXIII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos (ISSN 2318-0358), 2017.

DEOLIN, M. H. S. Et al. Obtenção do ponto de carga zero de materiais adsorventes. In: VIII EPCC, 2013, Maringa, p. 13.

IAL - Instituto Adolfo Lutz (São Paulo – Brasil). Normas Analíticas do Instituto Adolfo Lutz. *Métodos químicos e físicos para análise de alimentos*. 4ª ed. [1ª edição digital]. São Paulo: Instituto Adolfo Lutz, 2008.

LOGANATHAN, P. Et al. Removal and recovery of phosphate from water using sorption. *Critical Reviews in Environmental Science and Technology*, v. 44, n. 8, p. 847-907, 2014.

LONG, J.; CHEN, D.; XIA, J.; LUO, D.; ZHENG, B.; CHEN, Y. Equilibrium and kinetics studies on biosorption of thallium (I) by dead biomass of *Pseudomonas fluorescens*. *Polish Journal of Environmental Studies*, v.26(4), p.1591-1598, 2017

NASCIMENTO, J. M. et al. - Biossorção dos ions Cd²⁺ e Pb²⁺ utilizando a biomassa casca de pequi (Caryocar Brasiliense Camb) modificada com ácido cítrico. *Revista de Ciências Ambientais*, vol. 8, p. 57-69, 2014.

PATEL, S. Potential of fruit and vegetable wastes as novel biosorbents: Summarizing the recent studies. *Reviews in Environmental Science and Bio/Technology*, 11, pp. 365-380, 2012.

UNITED NATIONS. United Nations Department of Economic and Social Affairs, Population Division. World Population Prospects 2022: Summary of Results. UN DESA/POP/2022/TR, New York - USA, 2022, 52p.