

**Casca de maracujá como adsorvente de íons metálicos em efluente de galvanoplastia****Passionfruit shell as adsorbent of metal ions in electroplating effluent**

DOI:10.34117/bjdv5n6-119

Recebimento dos originais: 01/03/2019

Aceitação para publicação: 26/04/2019

**Bianca de Paula Ramos**

Graduanda em Engenharia Ambiental

Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” FCT – UNESP Campus de Presidente Prudente.

Roberto Símonsens, 305, Centro Educacional, Presidente Prudente - SP. CEP 19060-900.

E-mail: bia.raamos@hotmail.com

**Gabrielle Oriente Menezes**

Graduanda em Engenharia Ambiental na Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” FCT – UNESP Campus de Presidente Prudente.

Roberto Símonsens, 305, Centro Educacional, Presidente Prudente - SP. CEP 19060-900.

E-mail: gabih.menezes@hotmail.com

**Rosane Freire Boina**

Professora Doutora

Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” FCT – UNESP Campus de Presidente Prudente.

Roberto Símonsens, 305, Centro Educacional, Presidente Prudente - SP. CEP 19060-900.

E-mail: rosane.freire@unesp.br

**Murillo Silva Paiano**

Assistente de Suporte Acadêmico II.

Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” FCT – UNESP Campus de Presidente Prudente.

Roberto Símonsens, 305, Centro Educacional, Presidente Prudente - SP. CEP 19060-900.

E-mail: murillo.paiano@unesp.br

**RESUMO**

A poluição por íon metálico tem se agravado uma vez que estes materiais não são biodegradáveis, levando o fenômeno de bioacumulação. As atividades de galvanoplastia são uma das maiores contribuintes para o lançamento desses compostos no meio ambiente. Assim, este trabalho avaliou a capacidade da casca do maracujá amarelo em atuar como material adsorvente dos íons de cobre, zinco, chumbo, níquel e cromo em efluente de galvanoplastia, bem como a capacidade de dessorção do mesmo empregando ácido nítrico, ácido clorídrico e bicarbonato de sódio como eluentes. O tratamento teve tempo ótimo em 60 minutos, quantidade mássica apropriada de 1,0g e pH 8. Para a dessorção, os eluentes ácidos foram mais apropriados na maioria dos casos, com exceção do íon chumbo.

**Palavras-Chave:** Tratamento de efluentes; adsorção; metais pesados.

## ABSTRACT

Pollution by metal ion has been aggravated since these materials are not biodegradable, leading to the phenomenon of bioaccumulation. Electroplating activities are one of the biggest contributors to the release of these compounds into the environment. Thus, this research evaluated the ability of yellow passion fruit bark to act as adsorbent material for copper, zinc, lead, nickel and chromium ions in effluent from electroplating, as well as its desorption capacity with nitric acid, hydrochloric acid and sodium bicarbonate, as eluents. The treatment had as optimal time stipulated in 60 minutes, appropriate mass quantity of 1,0g and pH 8. For desorption, acid eluents were more appropriate in most cases, except for lead.

**Keywords:** Wastewater treatment; Adsorption; heavy metals.

## 1 INTRODUÇÃO

O lançamento de íons metálicos na natureza por via antropogênica tem sido um dos problemas mais sérios que afetam o meio ambiente, uma vez que o prejuízo para a vida aquática se mantém mesmo após a interrupção das fontes poluidoras (MIMURA, et al. 2010).

A gestão destes resíduos na sua forma líquida se agrava por estes não serem compatíveis com a maioria dos processos convencionais de tratamento de efluentes, visto que dependem das condições de pH, força iônica, temperatura, presença de ligantes disponíveis, entre outros aspectos (AGUIAR E NOVAIS, 2002).

Além disso, segundo Vieira et al. (2014), o tratamento desses efluentes normalmente apresentam alto custo de implantação ou execução e, muitas vezes, geram resíduos tóxicos. Nesse contexto, a adsorção tem sido considerada superior às demais técnicas de tratamento de efluentes tanto para reutilização de água quanto pela possibilidade de regeneração de muitos adsorventes após seu uso (VIEIRA et al, 2014).

Quanto ao material adsorvente, a casca de maracujá se destaca pela sua composição química rica em pectina como pelos benefícios econômicos agregados em seu uso, já que é um resíduo importante na agroindústria (MEDINA et al., 1980).

A pectina apresenta também a capacidade de formação de gel na presença de íons, açúcares e ácidos (PINHEIRO, 2007). Destaca-se que, quando a ela contém menos de 50% de seus grupos carboxílicos esterificados, a geleificação ocorre pela formação de ligações entre íons carboxílicos e íons de metal bi ou trivalente, os quais também podem se ligar covalentemente a grupos hidroxila (CHARLEY, 1982). Portanto, o metal passa a atuar como ligante entre as cadeias de pectina, formando a estrutura do gel.

Vale destacar que um ponto crucial na retenção de íons metálicos por processo adsorptivo, visando manter os custos baixos e abrir a possibilidade de recuperar os metais extraídos da solução, é a regeneração do adsorvente. Esse procedimento é feito por dessorção: liberação da substância ou material de uma interface entre uma superfície sólida e uma solução aquosa (FREITAS et al., 2010).

Adsorção deve permitir o retorno da casca do maracujá com características próximas as iniciais - sem danificações estruturais e com baixa concentração metálica embutida - possibilitando seu reuso e tornando o processo mais ecológico (VILAR, 2006). Além disso, traz informações importantes a respeito da superfície adsorvente, auxiliando na elucidação dos mecanismos de sorção envolvidos (MAGDALENA, 2010).

Dessa forma, esse trabalho visou avaliar a eficiência adsorptiva da casca do maracujá amarelo para os íons de cobre, zinco, chumbo, níquel e cromo presentes em efluentes de galvanoplastia, a fim de aliar o tratamento de efluentes líquidos com a gestão de resíduos sólidos agrícolas de forma vantajosa tanto para o meio ambiente como para a economia.

## **2 MATERIAIS E MÉTODOS**

O adsorvente utilizado, casca de maracujá amarelo, foi adquirido na forma comercial: pó triturado industrialmente. Inicialmente, foi realizada a determinação do ponto de carga zero (PCZ) do material adsorvente no efluente real a ser tratado. Neste procedimento, 0,02g de pó de maracujá foram postos em contato com 20 mL de solução, sob 11 diferentes condições de pH inicial (2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12), ajustados pelo pHmetro digital (HANNA, HI9126), com soluções de HCl ou NaOH a 0,1 mol/L. Após um tempo de equilíbrio de 24, 48 e 72 horas, a 25°C, o pH foi novamente medido. A partir de um gráfico de pH final versus pH inicial, o pH-PCZ corresponde à faixa na qual o pH final se mantém mais constante, independentemente do pH inicial, ou seja, a superfície comporta-se como um tampão (ANDERSON E SPOSITO, 1991).

Quanto ao efluente analisado, optou-se por coletar resíduos de galvanoplastia, uma vez que estes geram quantidades significativas de resíduos líquidos com elevada carga tóxica metálica (SIMAS, 2007). O efluente foi coletado de uma empresa da região de Presidente Prudente-SP, o qual teve a carga metálica inicial determinada – considerando a presença dos metais em estudo: cobre, zinco, chumbo, níquel e cromo - por espectrometria de absorção atômica (PERKIN-ELMER, modelo AAAnalyst200) nas condições exigidas para a determinação dos metais de interesse. O zero foi acertado com prova em branco (água

destilada) e a curva de calibração determinada conforme a sensibilidade do método, descrita no manual do equipamento (PELKIN ELMER, 2008).

Para o tratamento do efluente foram estabelecidas as seguintes condições: o pH foi mantido no valor determinado pelo PCZ; a quantidade mássica variou em 1,0 e 5,0g (medidas em balança de precisão SHIMADZU, AY220e); a velocidade de agitação manteve-se constante, a 120rpm; e o tempo de contato variou em 5/10/15/20/30/40/60/80/100/120 minutos. Com esses dados pode-se avaliar a eficiência do adsorvente na remoção de íons metálicos através da equação 1.

$$E = \frac{(C_0 - C_f) * 100}{C_0} \quad (1)$$

Realizaram-se, também, comparativos entre a concentração inicial e a concentração metálica final, o volume do efluente, a massa de pó do maracujá e a taxa de adsorção por unidade de massa (q) (Equação 2), em função do tempo de contato.

$$q = \frac{(C_0 - C_f) * V}{m} \quad (2)$$

Em que:  $C_0$  é a concentração inicial (mg/L),  $C_f$  a concentração final (mg/L),  $V$  o volume (mL), e  $m$  a massa (g).

Para realização dos experimentos de dessorção foi utilizada a massa adsorvente saturada, ou seja, aquela que apresentou maior retenção de carga metálica: possui taxa de adsorção por unidade de massa mais elevada. Sob esta se empregou os seguintes eluentes: bicarbonato de sódio ( $\text{NaHCO}_3$ ) a 0,4N; ácido nítrico ( $\text{HNO}_3$ ) a 0,1N; e ácido clorídrico (HCl) a 0,1N. Com essas variações foi possível prever qual o melhor eluente para cada íon metálico e determinar a afinidades dos centros ativos na ligação do metal ao adsorvente (VILAR, 2006).

As amostras sólidas saturadas tiveram 0,1g de massa coletados e misturados a 10mL de eluente - a fim de manter-se a proporção original estabelecida na adsorção (1:100). O produto foi então agitado, a temperatura ambiente, por 5/10/15/20/30/40/60/80/100/120 minutos, a 120rpm, sendo posteriormente filtrado e submetido à digestão nitro-perclórica antes da determinação da concentração final (Equação 3).

$$\%Dessorção = \frac{C_{des}}{C_{ads}} * 100 \quad (3)$$

Em que:  $C_{des}$  é a concentração dessorvida, ou seja, a constante no líquido após o processo de dessorção; e  $C_{ads}$  é a concentração inicialmente retida no biossorvente durante o processo de adsorção.

### 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

De acordo com a caracterização inicial, a concentração metálica do efluente de galvanoplastia ante do tratamento foi de: 13,38ppm de cobre, 2,80ppm de zinco, 0,66ppm de chumbo, 860,73ppm de níquel e 911,60ppm de cromo.

OpH adotado para o tratamento foi próximo ao resultado do PCZ, o qual mostrou maior constância em pH 8,5, sendo adotado o valor de pH 8 para a execução dos experimentos.

É importante notar que os íons metálicos estão presentes no meio aquoso na forma de cátions, assim, a adsorção dependerá da presença de grupos aniônicos na superfície do adsorvente. Dessa forma, em valores de pH muito menores que o do PCZ os grupos superficiais ionizáveis estarão protonados, resultando em uma carga líquida positiva que pode promover repulsão entre a superfície e os íons metálicos.

Por outro lado, em valores de pH mais altos que o do PCZ, as cargas de superfície são predominantemente negativas, favorecendo a aproximação dos cátions metálicos. Entretanto, quando o pH é muito básico, pode ocorrer precipitação de hidróxidos metálicos insolúveis, tanto na solução como na superfície do adsorvato. Neste caso, não se pode avaliar apenas a adsorção do íon metálico em relação ao adsorvente, que é o interesse desse trabalho.

As Figuras 1 e 2 apresentam as porcentagens de eficiência de remoção metálica encontradas para cada um dos metais analisado ao longo do tempo em cada quantidade de massa empregada. Em geral, notou-se elevada adsorção da casca de maracujá para os metais do efluente removendo: 93,92% das cargas de cobre; 98,86% das de chumbo; 80,91% das de zinco, 72,42% das de níquel e 58,65% das de cromo.

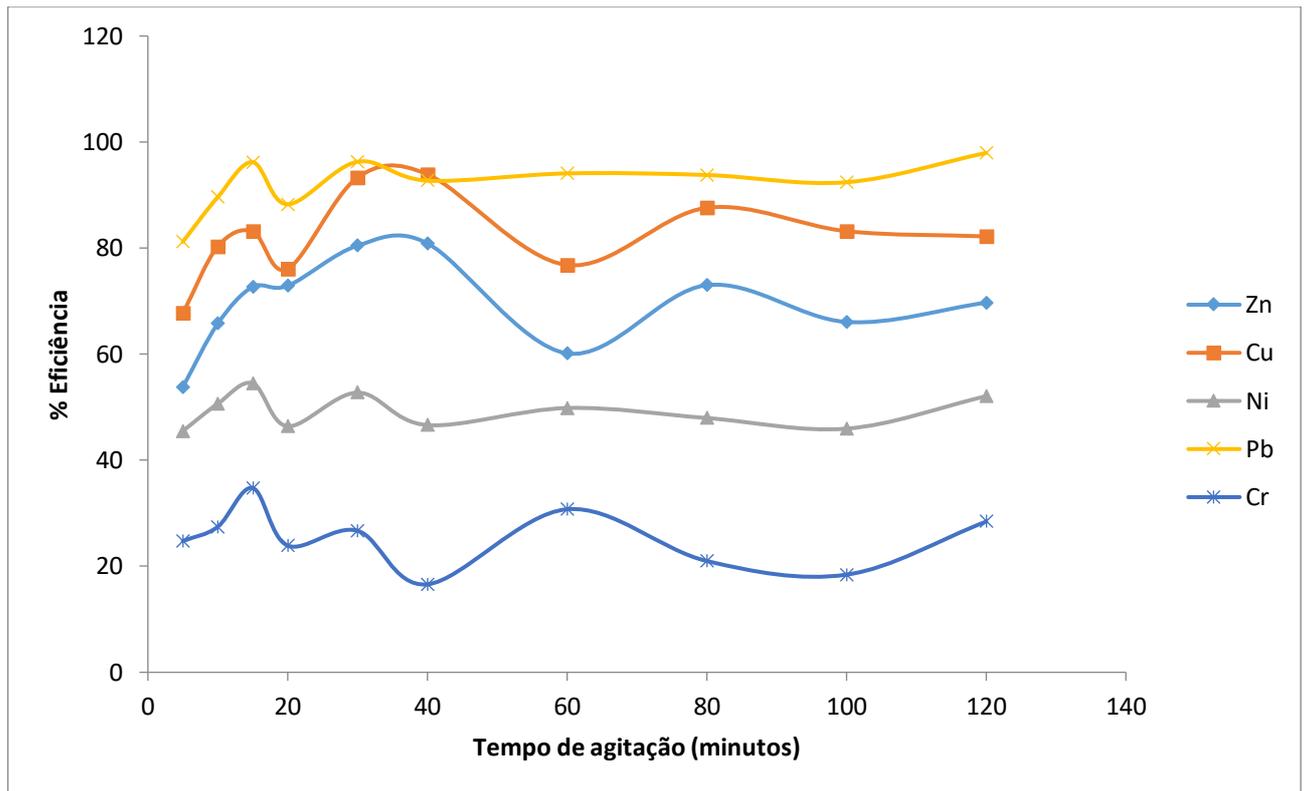


Figura 1: Eficiência adsortiva para massa de 1,0g

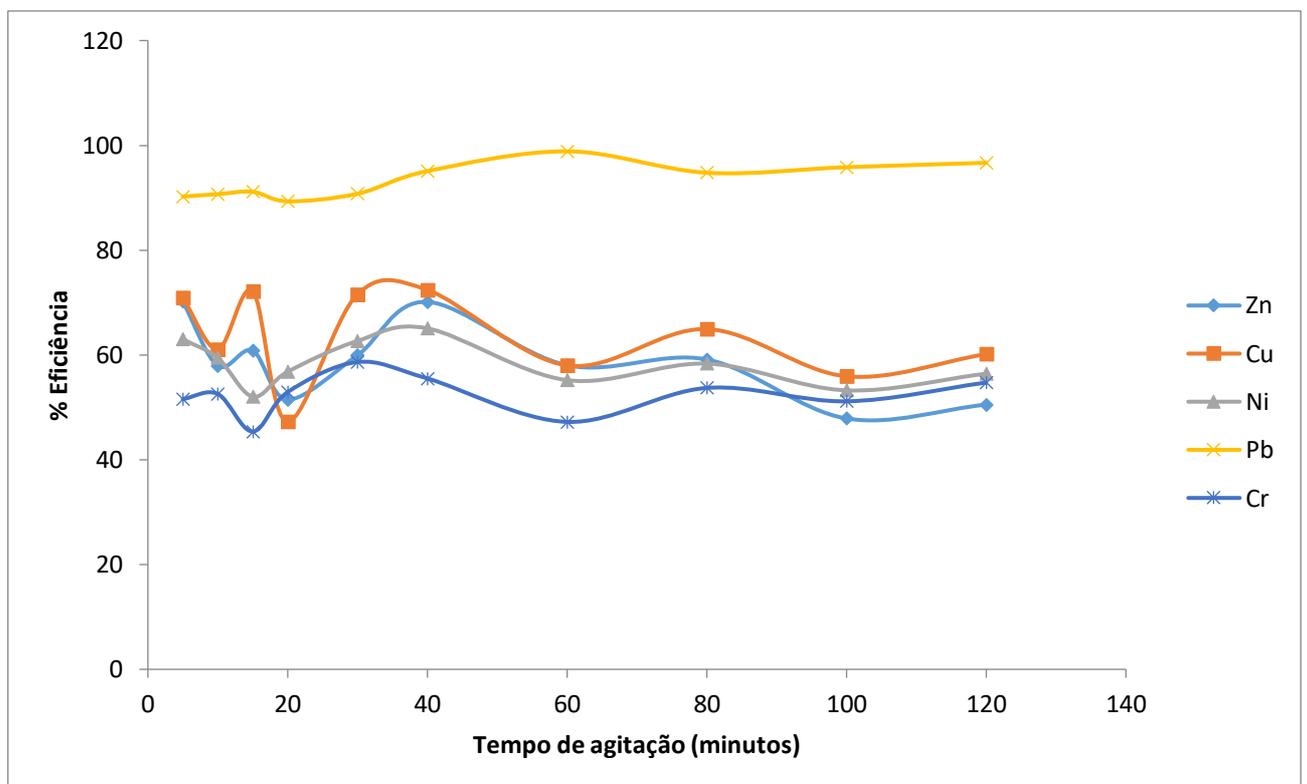


Figura 2: Eficiência adsortiva para massa de 5,0g.

Figueiredo (2013), utilizando zeólita, obteve um máximo de 80% de eficiência na remoção de zinco, a 50mg/L do poluente. Vasquez (2005) empregou bactérias do gênero *Rhodococcus* na retenção deste metal e também alcançou 83% de eficiência em concentrações de 5ppm a 15ppm. Assim, pode-se perceber que a remoção de zinco alcança um equilíbrio em torno de 80%.

Quanto ao chumbo, a eficiência se manteve acima de 90% em praticamente todas as condições. Altos índices de retenção deste metal também foram constatados por Yokota e Coppola (2015) ao empregar casca de laranja como biossorvente, atingindo 100% de eficiência no tratamento; por Bueno et al. (2009) que ao utilizar a bactéria *Rhodococcus Opacus* obtiveram 95% de eficiência biossorbitiva; e, por Moraes et al. (2011) que usaram como adsorvente casca de laranja, banana e sabugo de milho e obtiveram resultados entre 80% e 98% de remoção do íon chumbo.

Silva e Santos (2010), ao estudar a remoção de íons cobre utilizando lodo de esgoto como adsorvente, também verificaram maior desempenho a pH acima de 7, e obtiveram resultados entre 85,75% e 97,5% de eficiência de remoção metálica em concentrações de até 100ppm, mostrando o alto grau de afinidade do cobre em processos adsorptivos.

Vale ressaltar que o índice covalente é uma das propriedades de maior significância estatística na correlação com capacidade máxima de adsorção, garantindo grande eficiência no processo (FERRAZ, 2007). O cobre, assim como muitos metais de transição, tem característica de ligação iônica intermediária e, por esse motivo, conseguem estabelecer ligações com um caráter covalente maior e mais forte (VILAR, 2006).

Para o níquel e o cromo, embora a porcentagem de eficiência adsorptiva (72,42% e 58,65%, respectivamente) tenha sido inferior à dos outros metais, deve-se levar em conta que a concentração inicial desses metais no efluente estava mais elevada. Assim, a carga metálica retida, também foi alta. Jimenez et al. (2004) ao utilizar zeólita como adsorvente dos metais cromo e níquel – individualmente - encontrou, respectivamente, 96,5% e 75% de eficiência de retenção do íon, sendo que para ambos os metais a concentração inicial foi de 50ppm. Os autores afirmam que a alta remoção de cromo se deve ao fato de suas cargas serem trivalentes, interagindo melhor com a superfície, enquanto que, para o níquel, a energia de hidratação do metal (-2.106 kJ/mol) dificulta sua remoção e, conforme a concentração aumenta a eficiência de remoção metálica tende a cair.

Pode-se notar ainda que os íons cobre e zinco obtiveram melhores resultados ao empregar 1,0g de massa adsorvente. O chumbo e o cromo por sua vez foram melhores adsorvidos com

5,0g de pó de maracujá, sendo que o primeiro também apresentou alta eficiência com 1,0g. Já o níquel, no geral, foi melhor adsorvido com 5,0g, porém com 1,0g apresentou um pico de eficiência máxima (com 60 minutos de agitação) que se sobressaiu as demais condições.

A taxa de adsorção por unidade de massa foi calculada para todas as situações, com cada um dos metais. Os valores encontrados para cada metal dentro da mesma situação de massa e tempo de agitação foram somados, obtendo assim a taxa de adsorção total que o pó de maracujá possuía. Esse valor, ao longo do tempo, está ilustrado na Figura 3, com cada uma das massas empregadas.

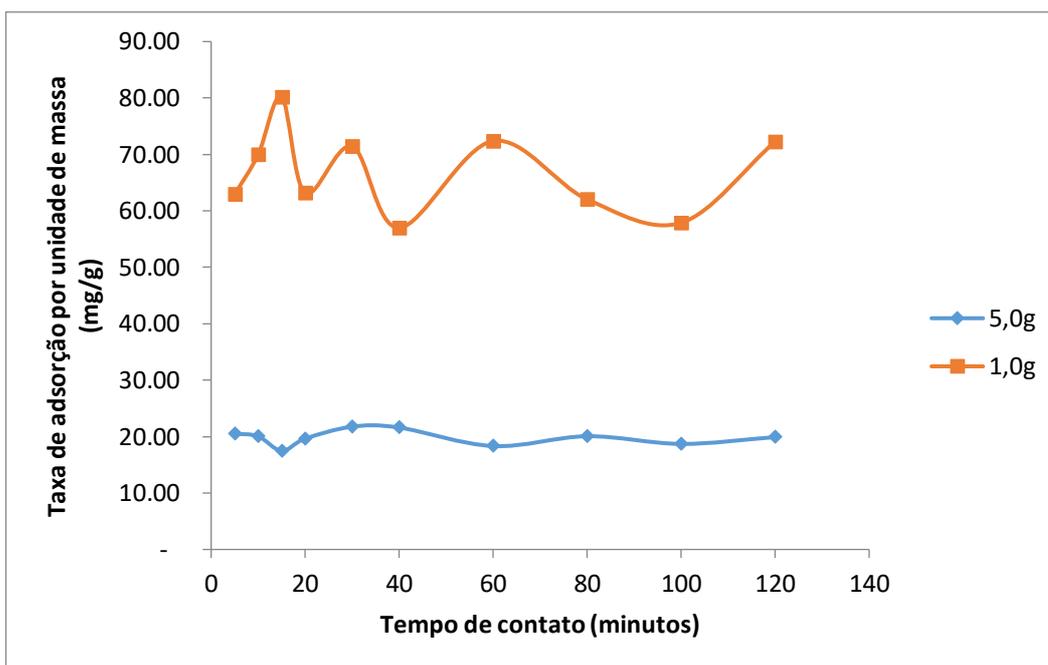


Figura 3: Avaliação do tratamento quanto ao tempo de contato e massa.

Por meio da Figura 3 percebe-se que a massa de 1,0g reteve um maior número de cargas – máximo de 80,17mg/g- sendo por isso a mais indicada para o tratamento.

Observou-se que houve alta retenção metálica já nos primeiros minutos de agitação, alcançando picos de eficiência máxima com 15 e 30 minutos e tendo um elevado pico aos 60 minutos de agitação. Assim, 60 minutos foi estipulado como tempo apropriado ao tratamento.

Alta eficiência no início da agitação também foi notada por Sousa Neto et al. (2011) durante a adsorção de cobre iônico em bagaço de coco, em que nos primeiros 2 minutos a sorção chegou a atingir 50% e o tempo de equilíbrio foi constatado em 40 minutos.

Para todos os metais, ao atingir os pontos máximos de adsorção, a eficiência do tratamento declina. Esse fenômeno também foi observado por Vidal et al. (2013) ao realizar

adsorção de BTEX (benzeno, tolueno, etileno e xileno) em zeólita modificada hidrofobicamente. Quanto a isso, os autores afirmaram que o evento foi devido ao fato de a adsorção ocorrer preferencialmente na superfície do material adsorvente, e depois seguir em uma etapa mais lenta, onde acontece a adsorção intrapartícula.

Devido às diferentes afinidades para os centros ativos, a ligação de cada íon à superfície adsorvente é seletiva. Do mesmo modo, existe seletividade na operação de dessorção, sendo possível prever qual o melhor eluente para cada íon metálico retido no adsorvente. Pode-se observar esse fenômeno – neste estudo – nos gráficos apresentados nas Figuras de 4 a 8.

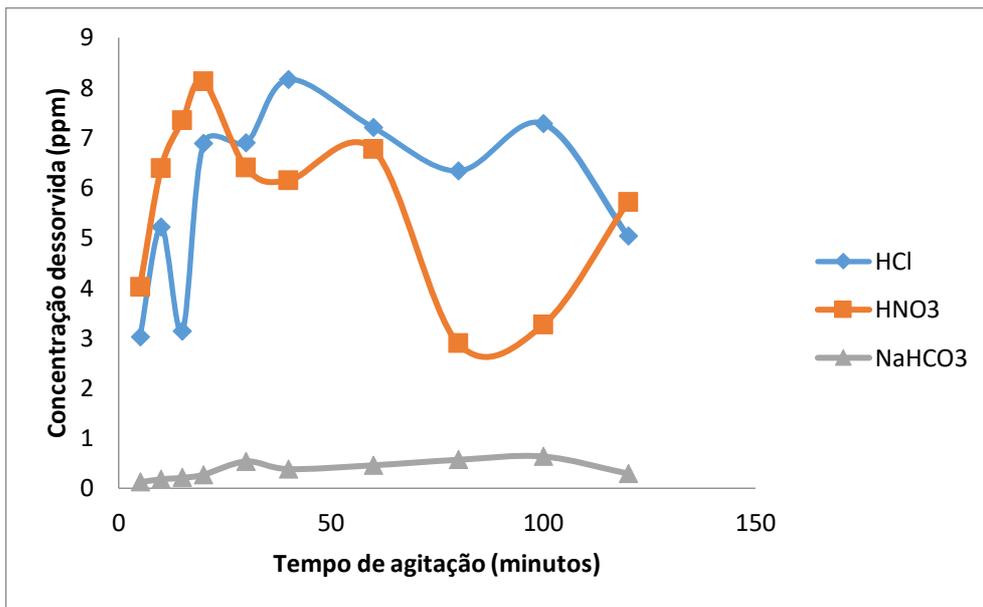


Figura 4: Comparação dos eluentes na dessorção de cobre.

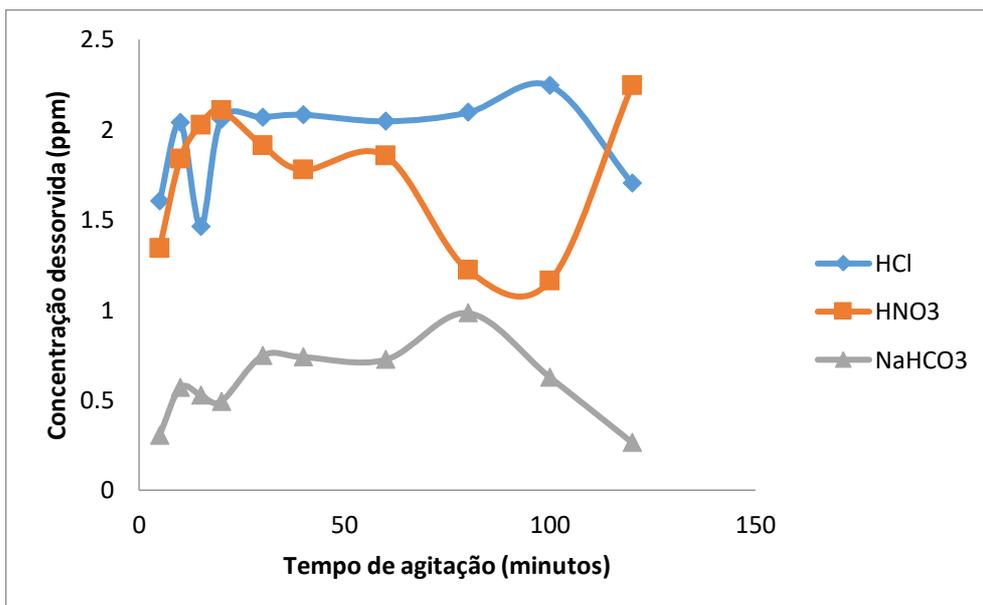


Figura 5: Comparação dos eluentes na dessorção de zinco.

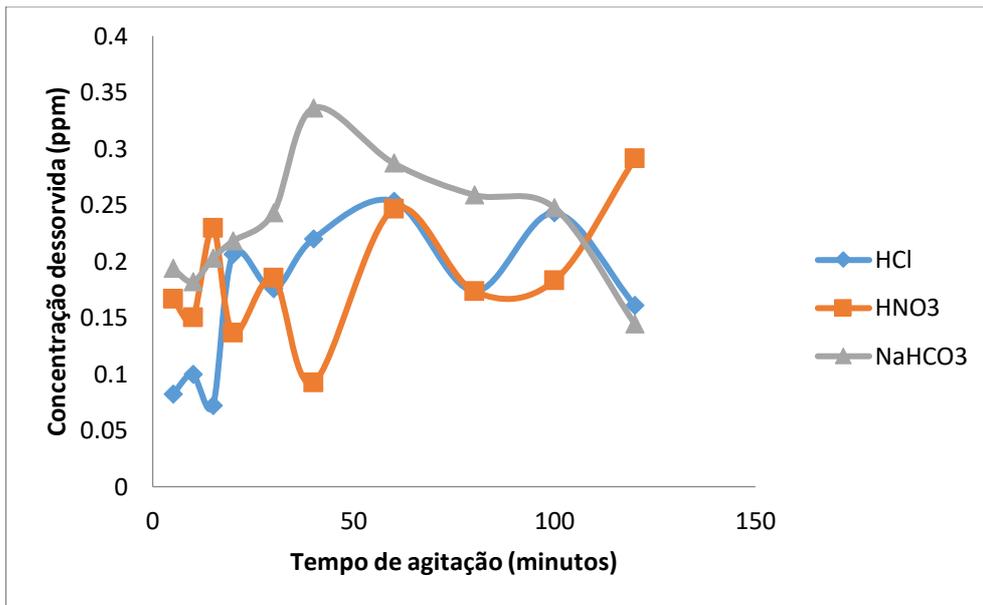


Figura 6: Comparação dos eluentes na dessorção de chumbo.

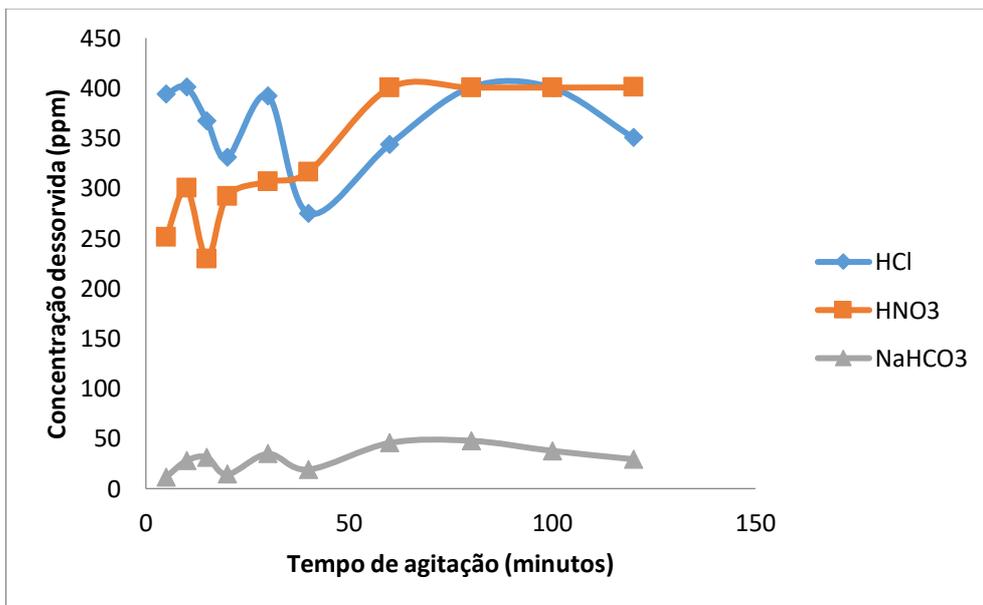


Figura 7: Comparação dos eluentes na dessorção de níquel.

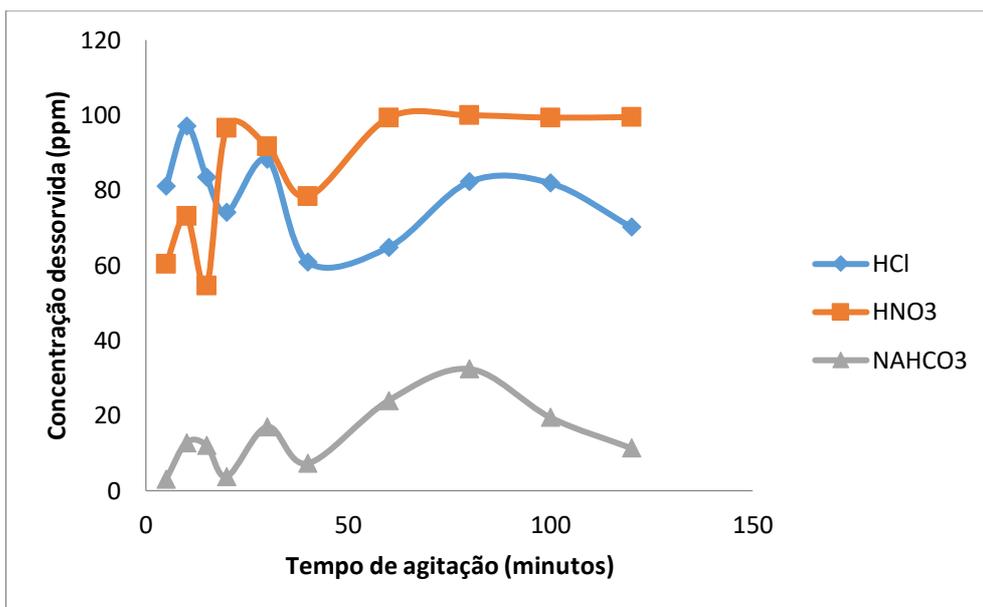


Figura 8: Comparação dos eluentes na desorção de cromo.

Assim, pode-se notar que o cobre e o níquel obtiveram maior eficiência dessortiva com ácido clorídrico - desorvendo, respectivamente, 64,94% e 99,88% das cargas previamente adsorvidas. Já o zinco e o cromo, por sua vez, foram melhores desorvidos com ácido nítrico atingindo, respectivamente, eficiência de 99,01% e 99,94%. Vale notar que para esses quatro metais tanto o ácido nítrico como o clorídrico proporcionaram alta desorção, assim, acredita-se que a diminuição dos pH favorece a liberação dessas cargas. No caso do chumbo, obteve-se melhor resultado com bicarbonato de sódio como eluente, atingindo 54,9% de eficiência, sendo que para eluentes ácidos a liberação deste metal não se mostrou vantajosa.

Notou-se ainda que - exceto pelo chumbo - a solução de bicarbonato de sódio, a qual possui característica básica, apresentou desempenho extremamente mais baixo, em comparação aos eluentes ácidos.

Segundo Vilar (2006), na eluição com o ácido, o mecanismo de desorção é atribuído à permuta iônica entre os prótons e os íons metálicos. Para a autora, valores de pH inferiores a 2, a sorção praticamente não ocorre, o que permite que o processo de desorção seja efetuado nesta gama de valores de pH.

Crist et al. (1992) sugeriram que a força diretriz para a desorção com ácido resulta da diferença de atividade dos prótons na solução e no interior da partícula. Segundo os autores, devido aos prótons terem raio iônico pequeno, eles apresentam elevada mobilidade e, conseqüentemente, facilidade na permuta iônica. Assim, a eluição por diminuição do pH ocasiona a protonação das espécies doadoras de elétrons e leva a desorção metálica.

Ao estudar a dessorção de íons cobre sobre a alga *Gelidium*, Vilar (2006) constatou aumento na eficiência à medida que o pH diminuiu, atingindo valores superiores a 90% em pH abaixo de 2, com ácido nítrico a 0,1M, e afirmou ser o processo de permuta iônica responsável pelo evento. A autora também verificou que, para os íons de chumbo e zinco, a dessorção foi completa, ou seja, toda a carga metálica retida no sólido foi liberada.

Jalaliet al. (2002) também avaliaram a eficiência de dessorção de chumbo retido em diferentes algas marinhas. O processo tornou-se vantajoso ao utilizar ácido nítrico 0,1 M durante 15 minutos, obtendo-se uma porcentagem de recuperação de metal de 95%.

Vilar (2006) explica ainda que uma das vantagens do uso de ácido nítrico é que, após a dessorção, o material adsorvente fica totalmente protonado e pronto para o próximo ciclo de sorção metálica. Porém, este excesso de prótons gera a necessidade de lavagem do adsorvente antes da reutilização.

Entretanto, a permuta iônica não é o único processo que rege a dessorção. Esta pode ocorrer também por um agente competidor, ou seja, um elemento de maior afinidade pelo sítio ativo onde o metal está depositado, fazendo com que o íon seja removido da superfície para que o agente competidor seja adsorvido em seu lugar (JOHNSON, 1995). Acredita-se que a melhor eficiência dessortiva do chumbo em bicarbonato de sódio deva-se a este fator.

Oliveira et al. (2009) também constataram melhor eficiência dessortiva por introdução de agente competidor. Os autores aplicaram *Sargassumfilipendula* no tratamento de efluentes de galvanoplastia e utilizaram sulfato de magnésio (3,5%) como eluente para a recuperação dos íons de níquel, atingindo 98% de eficiência e relatando ainda ser esse processo menos agressivo à biomassa do que a dessorção por acidificação.

De modo geral, a eficiência dessortiva foi bastante alta para o zinco, níquel e cromo. O desempenho mais baixo encontrado na dessorção do cobre e do chumbo pode dever-se ao fato de que algumas reações envolvidas nos processos de adsorção sejam irreversíveis, muito pouco reversíveis ou requerem alta energia de ativação para dessorção, ou ainda uma combinação destas três possibilidades (BRESOLIN et al., 2009).

De acordo com Yin et al.(2002), isto parece resultar do fato de que reações de complexação monodentadas podem transformar-se em reações bidentadas a altos valores de pH, que são aplicados no processo de tratamento. Além de que o equilíbrio na dessorção é alcançado de forma mais lenta que na adsorção, e a liberação tende a ser incompleta.

#### 4 CONCLUSÃO

Pode-se comprovar a capacidade adsorptiva da casca de maracujá amarelo na remoção de íons cobre, chumbo, zinco, níquel e cromo alcançando, no efluente real de galvanoplastia, as seguintes máximas de eficiências de remoção metálica: 93,92%; 98,86%; 80,91%, 72,42% e 58,65%, respectivamente. Foram estabelecidas como mais apropriadas ao tratamento, as seguintes condições experimentais: pH 8, massa de 1,0g, tempo de agitação de 60 minutos a 120rpm.

Para a dessorção, a maioria dos metais apresentou eficiência mais alta com eluentes ácidos: ácido nítrico para o cobre e o níquel, dessorvendo respectivamente 64,94% e 99,88%; e ácido clorídrico para o zinco e o cromo, atingindo, respectivamente, eficiência de 99,01% e 99,94%. Já o chumbo obteve melhor resultado com bicarbonato de sódio como eluente obtendo 54,9% de eficiência.

Vale notar que a adsorção em meio ácido pode ser atribuída à permuta iônica. Já o chumbo teve maior carga dessorvida em meio básico possivelmente devido à competição por sítio ativo.

#### AGRADECIMENTOS

Agradecemos à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP) pelo apoio financeiro e estrutural nos projetos nº2015/09170-1 e 2016/22976-8 dos quais procedemos resultados aqui descritos.

#### REFERÊNCIAS

AGUIAR, M. R. M. P; NOVAES, A. C. Remoção de metais pesados de efluentes industriais por alumino silicatos. **Química Nova**, v.25, n.6B, p.1145-1154, 2002.

ANDERSON, S. J; SPOSITO, G. Cesium adsorption method for measuring accessible structural surface charge. **Soil Science Society of America Journal**, v.55, p.1569-1576, 1991.

BRESOLIN, I. T. L; MIRANDA, E. A; BUENO, S. M. A. Cromatografia de afinidade por íons metálicos imobilizados (IMAC) de biomoléculas: aspectos fundamentais e aplicações tecnológicas. **Química Nova**. v.32, n.5, p.1288-1296.2009.

BUENO, B. M; MOLINA, F. F; TOREM, M. L; MESQUITA, L. M. S; PINO, G. A. H. Remoção de Pb(II) de soluções aquosas por Biossorção em R. Opacus. **Revista Escola de**

Minas, v.62, n.4, p.487-499. 2009. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1590/S0370-44672009000400012>> Acesso em: 27/11/17.

CHARLEY, H. Pectin. In: WILEY, J. **Food Science**. ed.2. New York: John Wiley & Sons, p.564, 1982.

CRIST, R. H; OBERHOLSER, K; SHANK, N; NGUYEN, M. Nature of Bonding Between Metallic Ions and Algal Cell Walls. **Environmental Science & Technology**, v.15, p.1212-1217, 1981.

FERRAZ, A. **Utilização de sub-produtos da indústria cervejeira na remoção de crômio trivalente de soluções aquosa**. 2007. 105 f. Trabalho de conclusão de curso (Graduação em Engenharia Química e Biológica). Escola de Engenharia, Universidade do Minho.

FIGUEIREDO, N. M. **Tratamento de efluente sintético contendo níquel e zinco por biossorção utilizando Sargassumfilipendula**. 2013. 85f. Dissertação (Mestrado) da Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ). Rio de Janeiro – RJ. 2013.

FREITAS, I. C. V; MALDONADO, A. C. D; ALVARENGA, C. B; CAMARGO, R; WENDLING, B. Adsorção e dessorção de metais no solo e coeficientes de isotermas de Freundlich e Langmuir. **Agropecuária Técnica**. v.31, n.2, p.156-164, 2010.

JALALI, R, GHAFOURIAN, H, ASEF, Y, DAVARPANAH, S. J, SEPEHR, S. Removal and Recovery of Lead using Nonling Biomass of Marine Algae. **Journal of Hazardous Materials**, v.92, p.253-262, 2002.

JIMENEZ, R. S; BOSCO, S. M; CARVALHO, W. A. Remoção de metais pesados de efluentes aquosos pela zeólita natural escolecita – influência da temperatura e do pH na adsorção em sistemas monoelementares. **Química nova**, v. 27, n. 5, p. 734- 738. São Paulo, 2004.

JOHNSON, R. D; ARNOLD, F. H. Review: Multipoint binding and heterogeneity in immobilized metal affinity chromatography. **Biotechnology and Bioengineering**, v.48, n.5, p.437–443, 1995.

MAGDALENA, C. **Adsorção de corante reativo remazol vermelho RB de solução aquosa usando zeólita de cinzas de carvão e avaliação da toxicidade aguda com**

**Daphniasimilis**. 2010. 151 f. Dissertação (Mestrado). Universidade de São Paulo. São Paulo – SP.

MEDINA, J. C; GARCIA, J. L. M; TOCCHINI, R. P; HASHIZUME, T; MORETTI, V. A; CANTO, W. L. **Maracujá: da cultura ao processamento e comercialização**. São Paulo: ITAL,1980. v. 9.

MIMURA, A.M.S. Aplicação da casca de arroz na adsorção dos íons Cu<sup>2+</sup>, Al<sup>3+</sup>, Ni<sup>2+</sup>, Zn<sup>2+</sup>. **Química Nova**, v. 33, n. 6, p. 1279-1284, 2010.

MORAES, A. V. D; RIBEIRO, A. M. C; PRADO, B. G; ALMEIDA, C. B. S; LUZ, C. P; CINALLI, D. P; DANIEL, F. A; SARAVALLI, F. M; CHAVES, M. L. C; DANIEL, M. S. Biossorção de metais pesados.

In: Simpósio De Base Experimental Das Ciências Naturais Da Universidade Federal Do ABC, 9., 2011, São Paulo. **Anais...** São Paulo: UABC, 2011.

OLIVEIRA, S. J; CÂMARA, M. M; COSSICH, E. S; TAVARES, C. R. G. Dessorção de níquel da biomassa *Sargassumfilipendula* em coluna de leito fixo. In: Congresso Brasileiro De Engenharia Química Em Iniciação Científica, p.8, 2009, Uberlândia. **Anais...**Uberlândia: ABEQ, 2009.

PERKIN ELMER. Atomic Spectroscopy: A Guide to Selecting the Appropriate Technique and System. 2008. Disponível em:

<[http://www.perkinelmer.com/Content/Manuals/GDE\\_InorganicAnalysis.pdf](http://www.perkinelmer.com/Content/Manuals/GDE_InorganicAnalysis.pdf)> Acesso em: 02 de dezembro de 2017.

PINHEIRO, E. **Pectina da casca do maracujá amarelo (Passiflora edulis f. flavicarpa):** otimização da extração com ácido cítrico e caracterização físico-química. 2007. 79f. Monografia (Pós-Graduação em ciências dos alimentos) Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC). Florianópolis – SC.

SILVA, R. P; SANTOS, T. C. Redução da concentração de metais pesados em efluentes utilizando reatores de fluxo ascendente em série. In: Congresso Químico do Brasil, 2010, João Pessoa-PB. **Anais...** João Pessoa: ABQ, 2010.

SIMAS, S. **Levantamento da geração de resíduos galvânicos e minimização de efluentes contendo cianeto**. 2007. 148 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Recursos Hídricos e Ambiental). Universidade Federal do Paraná. Curitiba – PR.

SOUSA NETO, V. O; OLIVEIRA, G. A; TEIXEIRA, R. N. P; SILVA, M. A. A.; FREIRE, P. T. C; KEUKELIRE, D. D; NASCIMENTO, R. F. Use of Coconut Bagasse as alternative adsorbent for separation of copper (II) ions from aqueous solutions: Isotherms, kinetics and thermodynamic studies. **Bioresources**, v. 6, p.3376-3395, 2011.

VASQUEZ, T. G. P; **Avaliação da remoção de Cd e Zn de soluções aquosas por biossorção e bioflotação com Rhodococcus opacus**. 2005. 153f. Dissertação (Mestrado em ciência dos materiais). Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro (PUC-Rio). Rio de Janeiro – RJ.

VIDAL, C. B; BARROS, A. L; MOURA, C. P; DE LIMA, A. C; DIAS, F. S; VASCONCELLOS, L. C; FECHINE, P. B; NASCIMENTO, R. F. Adsorption of polycyclic aromatic hydrocarbons from aqueous solutions by modified periodic mesoporous organosilica. **Journal of Colloid and Interface Science**, v. 357, p. 466-473, 2011.

VIEIRA, B; BRAGA, D. M; JESUS, T. A. Biossorção de Cd (II) utilizando casca de laranja como substrato. In: Encontro Nacional de Águas Urbanas, p.10, 2014, São Paulo. **Anais...** São Paulo: ABRH, 2014.

VILAR, V. J. P. **Remoção de íons metálicos em solução aquosa por resíduo da indústria de extração de Agar**. 2006. 512f. Trabalho de Graduação (Graduação em engenharia química) Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto (FEUP). Porto – Portugal.

YIN, Y; IMPELLITTERI, C. A; YOU, S.J; ALLEN, H.E. The importance of organic matter distribution and extract soil: solution ratio on the desorption of heavy metals from soils. **The Science of the Total Environment**. Amsterdam, v.287, p.107-119, 2002.

YOKOTA, C. A; COPPOLA, R. C. **Estudo da eficiência do bagaço e casca da laranja na remoção de metais**. 2015. 81 f. Trabalho de Graduação (Graduação em Engenharia Ambiental). Universidade Estadual Paulista (UNESP). Presidente Prudente-SP.