**REGENERAÇÃO DA RESINA SUPERGEL™ SGC650H USADA NO TRATAMENTO DE EFLUENTE CONTENDO O ANTIBIÓTICO CIPROFLOXACINA****Júnior Staudt (*), Thiago Yudi Sato, Lara Talita Schneider, Anna Flávia de Almeida, Carlos Eduardo Borba**

*Universidade Estadual do Oeste do Paraná (UNIOESTE) Campus Toledo junior.staudt@hotmail.com

RESUMO

O objetivo do presente trabalho foi estudar a regeneração da resina de troca iônica Supergel™ SGC650H utilizada no tratamento de efluente contendo o antibiótico Ciprofloxacina (CIP), através do processo de dessorção. Testes cinéticos de dessorção utilizando diferentes concentrações de HCl como agentes eluentes e experimentos cinéticos de adsorção com resina virgem e resina previamente tratada com soluções ácidas de HCl foram realizados em batelada para determinar a melhor condição de eluente, com o intuito de uma futura aplicação de ciclos de adsorção e dessorção para reutilização do adsorvente. Além disso, foi realizada a caracterização do adsorvente antes e após o contato com eluentes ácidos, pelas técnicas de Microscopia Eletrônica de Varredura acoplada com Energia Dispersiva de raios X (MEV-EDX) e Fisissorção de N₂. Os resultados da caracterização evidenciaram que não houve prejuízo à estabilidade química da resina pelos ácidos eluentes dentro da faixa de concentração testada, além de que o contato com os mesmos não promoveu alterações expressivas nas propriedades morfológicas do adsorvente. Em relação aos experimentos cinéticos de adsorção e dessorção, observou-se que a concentração de HCl 2 mol L⁻¹ proporcionou tanto alta eficiência de dessorção de CIP ($\eta_d = 73\%$) como o aumento da eficiência de adsorção em relação à resina virgem ($\eta_{aRV} = 79\%$ e $\eta_{aRT2} = 95\%$), podendo, assim, ser testada em ciclos de adsorção e dessorção em sistema contínuo. Dessa forma, o presente trabalho permitiu determinar uma concentração de eluente que pode ser aplicada na regeneração do adsorvente por meio de ciclos de adsorção e dessorção, servindo como base para trabalhos futuros de aplicação em sistema contínuo e ampliação de escala do processo por meio da modelagem matemática.

PALAVRAS-CHAVE: Regeneração de adsorvente; Fármacos, Adsorção/Dessorção, Efluentes industriais; Caracterização do adsorvente.

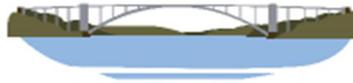
ABSTRACT

The aim of this present work was to assess the regeneration of the ion exchange resin Supergel™ SGC650H used in the treatment of effluents containing the antibiotics Ciprofloxacin (CIP), by the desorption process. Kinetic desorption tests using different HCl eluent concentrations as well as kinetic adsorption experiments with resin previously treated with acidic HCl solutions were performed in batch system to determine the better eluent condition, with the purpose of a future application in adsorption/desorption cycles for the reuse of the adsorbent. Moreover, the adsorbents' characterization was carried out before and after the contact with the acidic eluents, by the techniques of Scanning electron microscopy (SEM) – Energy dispersive X-ray spectroscopy (EDX) and N₂ Physisorption. The characterization results evidenced that there was neither chemical stability alteration on the resin nor expressive alterations on the morphological properties caused by the acidic eluents in between the range tested. In relation to the kinetic adsorption and desorption experiments, it was observed that the HCl concentration of 2 mol L⁻¹, provided both high CIP desorption efficiency ($\eta_d = 73\%$) and increase of the adsorption efficiency in relation to the virgin resin ($\eta_{aRV} = 79\%$ e $\eta_{aRT2} = 95\%$), what indicates that this concentration could be tested for adsorption/desorption cycles in a continuous flow system. Thus, the present work, allowed to determine an eluent concentration which can be applied for the regeneration of the adsorbent by adsorption/desorption cycles, serving as a base to future studies on the process' employment in continuous flow system and scale-up of the process by the mathematical modeling.

KEY WORDS: Adsorbents' regeneration; Pharmaceuticals; Adsorption/Desorption; Industrial effluents; Adsorbents' characterization.

INTRODUÇÃO

A fabricação de fármacos, como qualquer outro processo industrial, resulta na geração de resíduos. A parcela de contaminante que chega às estações de tratamento pode entrar em contato direto com a população, uma vez que as técnicas convencionais não são totalmente eficientes na remoção desse tipo de resíduos e os mesmos são persistentes no ambiente (ROCA JALIL; BASCHINI; SAPAG, 2015). Dessa forma, faz-se necessária a busca de métodos mais eficientes no tratamento de efluentes contendo fármacos.



Nesse contexto, destaca-se o processo de adsorção, que consiste em um processo unitário de transferência de massa de um ou mais componentes de uma fase fluida para uma fase sólida, e ocorre até que a condição de equilíbrio seja atingida (SAUSEN *et al.*, 2018). Uma das grandes vantagens da adsorção pode-se mencionar a não formação de intermediários, considerando que inicialmente tem-se um efluente bastante diluído e ao fim do processo o mesmo encontra-se concentrada em uma pequena massa de adsorvente (JIANG *et al.*, 2015). No entanto, adsorventes como resinas poliméricas podem representar elevados custos, o que leva à necessidade de regeneração por meio da dessorção, além do fato de que após seu uso no tratamento de efluentes tornam-se também resíduos.

A dessorção pode ser considerada como o processo inverso da adsorção, no sentido de que a transferência de massa ocorre da fase sólida para a fase fluida. Contudo, além das condições que influenciam tanto na adsorção quanto na dessorção, o último processo em particular, exige a determinação de uma concentração de eluente que maximize a eficiência da dessorção sem prejudicar a capacidade adsorptiva da resina (SEOLATTO *et al.*, 2009), permitindo a aplicação do processo em sistema contínuo como coluna de leito fixo. Dessa forma, o presente trabalho representa uma continuação do trabalho de Sausen *et al.* 2018, no qual foi estudada a etapa de adsorção de Ciprofloxacina (CIP) pela resina de troca iônica Supergel™ SGC650H, fornecendo um estudo acerca da etapa de dessorção do mesmo sistema CIP-resina.

OBJETIVOS

O objetivo do presente trabalho é estudar a etapa de dessorção de Ciprofloxacina da resina SUPERGEL SGC650H em sistema fechado e batelada, visando a reutilização da resina e posterior aplicação do processo de dessorção em sistema contínuo como coluna de leito fixo.

METODOLOGIA

A resina Supergel™ SGC650H foi utilizada no presente trabalho no seu estado virgem (RV), saturada com o antibiótico Ciprofloxacina (RS) e tratada com eluentes ácidos (RT). O tratamento ácido foi conduzido da seguinte maneira: inicialmente, a resina foi exposta ao contato com soluções eluentes de HCl em diferentes concentrações molares, que variaram de 1 a 3 mol L⁻¹, obtendo-se, assim, cinco condições de resina tratada (RT₁, RT_{1,5}, RT₂, RT_{2,5}, RT₃). Após, a RT era lavada com água destilada até não haver mais ácido na superfície (pH neutro) e posteriormente seca em estufa a 105°C até atingir massa constante. Já a saturação da resina foi realizada por meio de curvas de ruptura em coluna de leito fixo, considerando que a saturação era alcançada quando a concentração na saída da coluna era igual à concentração de entrada.

Para os testes de adsorção foram preparadas soluções de Ciprofloxacina utilizando água destilada e o princípio ativo de CIP (HCl), o qual apresenta grau de pureza de 98,54%. Como eluentes, foram utilizadas soluções de HCl em concentrações molares de 1 a 3 mol L⁻¹, preparadas a partir de ácidos comerciais concentrados (NEON – P.A./ACS, 37%). Para determinar a concentração de CIP em todas as soluções, curvas de calibração que relacionam absorvância e concentração foram determinadas a partir de diluições de uma solução estoque de CIP, com ajuste de pH de 1 a 5 e obedecendo à faixa linear da Lei de Lambert-Beer. A concentração na fase líquida foi determinada na máxima absorção de luz por espectrofotometria de absorção molecular UV-vis (Shimadzu UV-1800).

Tanto RV quanto RT foram caracterizadas a fim de avaliar se haveria perda de estabilidade física e química do adsorvente após o contato com os ácidos eluentes. Para as análises de Microscopia Eletrônica de Varredura e Espectroscopia de Energia Dispersiva de Raios X (MEV-EDX), as partículas da resina foram cobertas por uma fina camada de ouro e fixadas em um coletor de amostras por uma fita de carbono. Para a obtenção de imagens microscópicas de alta resolução ampliadas por microscopia eletrônica de varredura (MEV), foi utilizado o equipamento Tescan, Vega 3, com ampliações de 500x a 50000x. Como complemento, analisou-se de forma semiquantitativa a composição química da superfície da resina pelo sistema de espectroscopia de energia dispersiva de raios X (EDX) (Oxford, Penta FET Precision). Ainda, a técnica de fisissorção com N₂ foi empregada para estudar propriedades texturais da resina como: área superficial específica, volume total de poros, diâmetro médio de poros e área específica e volume de microporos, conforme apresentado na Tabela 1.

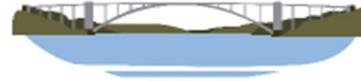


Tabela 1. Análise morfológica da resina Supergel™ SGC650H.
Fonte: Autor do trabalho.

Propriedade analisada	Método	Referência
Área superficial específica (A_s)	Brunauer-Emmett-Teller (BET)	BRUNAUER <i>et al.</i> (1938)
Volume total de poros (V_p)	Método do ponto único em $P/P_0 = 0,99$	-
Diâmetro médio de poros (D_p)	Barrett-Joyner-Halenda (BJH)	BARRETT <i>et al.</i> (1951)
Área específica e volume de microporos pelo método (A_m) e (V_m)	Dubinin-Radushkevich (DR)	DUBININ (1960).

A saturação do adsorvente para os testes de dessorção em batelada foi realizada em coluna de leito fixo da seguinte maneira: uma massa de 1,5 g de resina foi empacotada em uma coluna encamisada de vidro com dimensões de 1 cm de diâmetro interno e 30 cm de altura, resultando em uma altura de leito (H_L) de 5,7 cm (SAUSEN *et al.*, 2018). Um banho termostático (Q214M, Quimis) foi acoplado à coluna com o intuito de controlar a temperatura durante os experimentos. Uma ilustração do aparato experimental utilizado para a saturação da resina é mostrada na Figura 1.

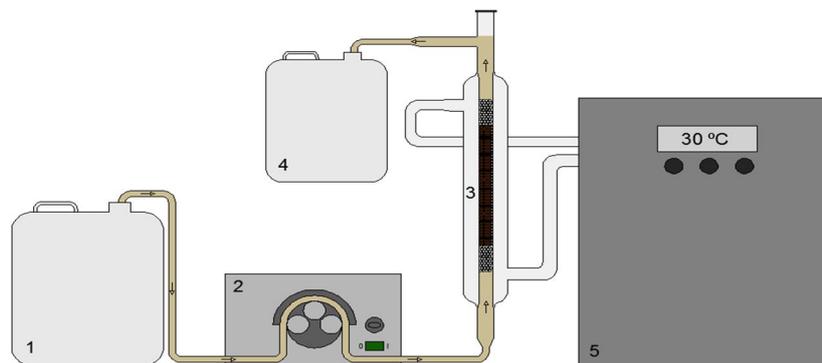


Figura 1. Ilustração da saturação do adsorvente em coluna de leito fixo: (1) tanque de alimentação; (2) bomba peristáltica; (3) coluna de leito fixo; (4) tanque de coleta; (5) banho termostático.

Fonte: Adaptado de SAUSEN, 2017.

A solução de CIP foi alimentada à coluna nas condições iniciais de vazão, concentração e pH de $Q=3,8 \text{ mL min}^{-1}$, $C_0 = 100 \text{ mg CIP L}^{-1}$ e $\text{pH} = 5$ (SAUSEN, 2017), respectivamente. Em intervalos de tempo pré-definidos, amostras foram coletadas na saída da coluna, e a concentração de CIP foi então determinada em cada tempo em espectrofotômetro UV-*vis* sendo possível construir uma curva de ruptura. A resina foi considerada saturada quando a concentração na saída da coluna ($C|_{z=L}$) era igual à concentração de alimentação (C_0), sendo que a concentração de CIP na saturação foi calculada pela Equação 1.

$$q_b = \frac{c_0 Q}{m} \int_0^{t_b} \left(1 - \frac{C|_{z=L}}{C_0} \right) dt - \frac{\varepsilon_L V_L C_0}{m} \quad \text{Equação (1)}$$

onde $C|_{z=L}$ é a concentração de CIP na saída da coluna (mg L^{-1}); m é a massa de resina empacotada na coluna de leito fixo (g); V_L o volume do leito (L) e ε_L a porosidade do leito, calculada pela Equação (2).

$$\varepsilon_L = 1 - \frac{\rho_L}{\rho_P} = \frac{m}{V_L \rho_P} \quad \text{Equação (2)}$$

onde ρ_L é a densidade do leito (g cm^{-3}) e ρ_P é a densidade de partículas (densidade real) da resina ($1,26 \text{ g cm}^{-3}$), a qual foi obtida por picnometria de gás hélio (SAUSEN *et al.* 2018). A densidade do leito (ρ_L) foi obtida pela Equação (3):



$$\rho_L = \frac{m}{V_L}$$

Equação (3)

Foi realizada uma avaliação da concentração de eluente, uma vez que um eluente que pudesse aliar uma alta eficiência de dessorção à preservação ou melhora da capacidade da resina seria necessário para permitir a viabilidade de ciclos de adsorção/dessorção. Para tanto, testes de dessorção bem como de adsorção pós contato da resina com os eluentes ácidos foram realizados em batelada. Os testes de dessorção foram realizados utilizando resina saturada (RS) e diferentes concentrações de soluções do eluente HCl (1 - 2,5 mol L⁻¹). A quantidade de CIP retida na resina no tempo (t) foi calculada pela Equação (4).

$$q_r(t) = q_{sat} - \frac{V}{m} C(t)$$

Equação (4)

onde, $q_r(t)$ é a concentração de CIP na resina no tempo (t) (mg g⁻¹); q_{sat} é a concentração inicial de CIP na resina (mg g⁻¹); V o volume da solução (L); $C(t)$ a concentração de CIP medida na solução no tempo (t) (mg L⁻¹) e m é a massa de resina.

A eficiência de dessorção para cada concentração de eluente foi obtida pela relação entre a quantidade de CIP na resina no equilíbrio (q_{req}) e a concentração inicial de CIP na resina (q_{sat}), conforme Equação (5):

$$\eta_d = 100 \times \left(1 - \frac{q_{req}}{q_{sat}}\right)$$

Equação (5)

Já os testes de adsorção em batelada, foram realizados com RT (RT₁ - RT₃) e RV, com o objetivo de avaliar se os eluentes ácidos afetariam a capacidade adsorptiva da resina em um possível ciclo de adsorção/dessorção. A quantidade de CIP removida da fase líquida pela resina em cada tempo foi calculada pela Equação (6).

$$q_a = \frac{V(C_0 - C(t))}{m}$$

Equação (6)

onde q_a é a quantidade de CIP adsorvida por massa de resina (mg g⁻¹) e C_0 a concentração inicial de CIP na fase líquida (mg L⁻¹).

A eficiência de adsorção é dada pela relação apresentada na Equação (7):

$$\eta_a = 100 \times \left(1 - \frac{q_a}{q_{sat}}\right)$$

Equação (7)

RESULTADOS

Na Figura 2, são apresentadas as micrografias obtidas por MEV da resina SGC650H em seu estado virgem e após o tratamento com ácido em diferentes concentrações. A ampliação de 500x permite identificar a esfericidade das partículas de resina, enquanto nas maiores ampliações, destaca-se o aspecto plano da resina, ou a inexistência de macroporos na sua superfície. Além disso, algumas rachaduras estão presentes na superfície das esferas de todas as condições da resina, incluindo a RV, o que leva ao entendimento de que as mesmas provavelmente não foram causadas pelo contato com as soluções ácidas de eluente.

Ademais, a composição elementar da resina em todas as condições testadas foi determinada por (EDX) e é apresentada na Tabela 2. Pode-se observar que o eluente ácido não promoveu impactos na composição química da resina, uma vez que a composição química não variou expressivamente dentro da faixa de concentração testada, considerando que os valores permaneceram dentro do desvio padrão. Vale ressaltar que os valores mostrados na Tabela 2 são a composição média das micrografias de três regiões da superfície das esferas. De maneira geral, verifica-se uma preponderância na composição de carbono (C) e oxigênio (O), relacionados à matriz polimérica da resina composta por poliestireno de divinilbenzeno. Além disso, a presença de enxofre (S) pode ser atribuída aos grupos funcionais sulfônicos da resina (-SO₃H), confirmando a especificação dada pelo fabricante (PUROLITE, 2018).

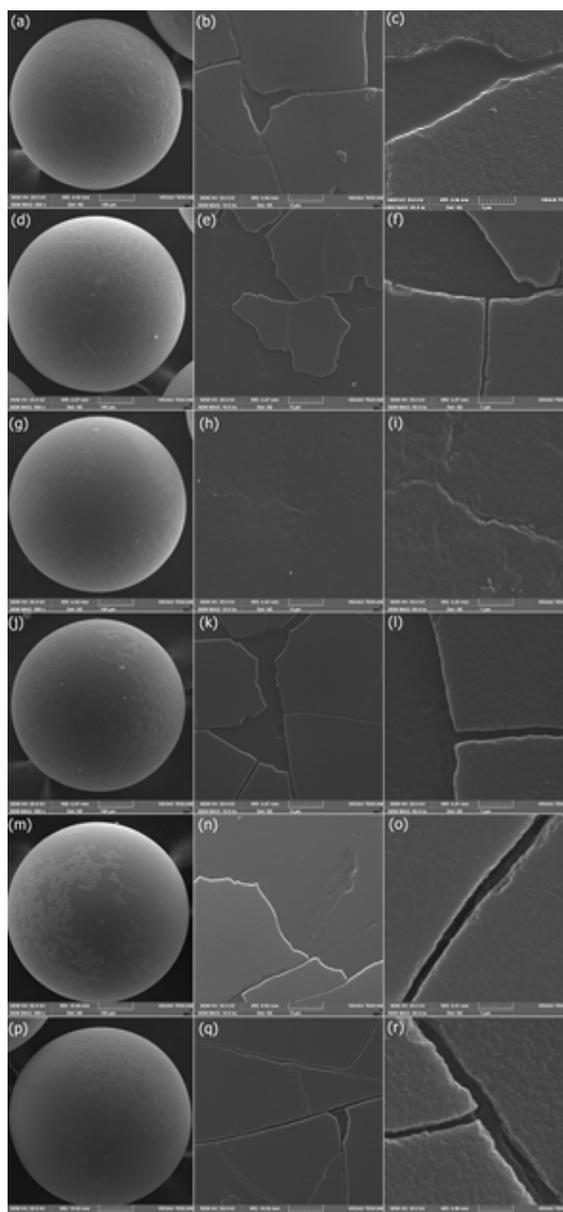


Figura 2. Micrografias da resina SGC650H obtidas por MEV. (a), (b) e (c) Resina virgem; (d), (e) e (f) RT₁; (g), (h) e (i) RT_{1,5}; (j), (k) e (l) RT₂; (m), (n) e (o) RT_{2,5}; (p), (q) e (r) RT₃. Ampliações: 500x (coluna a-p), 10000x (coluna b-q) e 50000x (coluna c-r).

Fonte: Autor do trabalho.

Tabela 2. Composição química média (% m/m) da resina SGC650H obtida por EDX.

Fonte: Autor do trabalho.

Elemento	RV	RT ₁	RT _{1,5}	RT ₂	RT _{2,5}	RT ₃
C	60 ± 1	56 ± 1	63 ± 2	61 ± 1	58 ± 1	55 ± 1
O	28 ± 6	28 ± 1	21 ± 4	25 ± 4	30 ± 4	28 ± 1
S	12 ± 5	16 ± 1	16 ± 3	14 ± 4	12 ± 5	17 ± 1

Com base nos resultados apresentados na Figura 2 e na Tabela 2, pode-se afirmar que não foram observadas alterações expressivas do aspecto entre RV e RT ou mesmo entre as próprias condições de tratamento (RT₁ - RT₃) pela técnica MEV-EDX. Portanto, pode-se dizer que a resina é quimicamente estável frente ao contato com eluentes ácidos dentro da



faixa de concentração avaliada. Desta forma, considerando concomitantemente os resultados de TGA e MEV-EDX, pode-se afirmar que a resina Supergel™ SGC650H apresenta estabilidade química e térmica frente às condições operacionais de adsorção e dessorção necessárias para o sistema estudado.

As propriedades texturais da resina virgem (RV) e das resinas tratadas foram testadas (RT), para observar se o mesmo promovia algum tipo de alteração em características área superficial e volume de poros. Em relação à RV, foi possível comprovar a sua baixa porosidade, indicada também pelos resultados da MEV. Além disso, foram evidenciados tanto a baixa área superficial ($1,1 \text{ m}^2 \text{ g}^{-1}$) como o baixo volume de poros ($2,8 \times 10^{-4} \text{ cm}^3 \text{ g}^{-1}$) em comparação com outros adsorventes comuns como o carvão ativado, que apresenta valores entre 500 a 2000 $\text{m}^2 \text{ g}^{-1}$ e de até 91,4 $\text{cm}^3 \text{ g}^{-1}$ para área superficial e volume de poros, respectivamente (IOANNIDOU & ZABANIOTOU, 2007). No entanto, não foi possível observar mudanças expressivas na morfologia da resina com os tratamentos ácidos (ver Tabela 3), uma vez que todas as condições de RT apresentaram pouca variação nos valores das características morfológicas analisadas em relação à RV, que provavelmente não estão relacionadas de forma expressiva com as alterações na capacidade da resina.

Tabela 3. Análise morfológica da resina virgem e resina tratada com ácido.
Fonte: Autor do trabalho.

Condição da resina	Área superficial ($\text{m}^2 \text{ g}^{-1}$)	Volume total de poros ($\text{cm}^3 \text{ g}^{-1}$)	Diâmetro médio de poros (Å)	Área de microporos ($\text{m}^2 \text{ g}^{-1}$)	Volume de microporos ($\text{cm}^3 \text{ g}^{-1}$)
RV	1,1	$1,2 \times 10^{-3}$	42	$7,9 \times 10^{-1}$	$2,8 \times 10^{-4}$
RT ₁	2,3	$1,6 \times 10^{-3}$	29	1,3	$4,5 \times 10^{-4}$
RT _{1,5}	1,6	$1,8 \times 10^{-3}$	46	1,8	$6,4 \times 10^{-4}$
RT ₂	3,0	$2,0 \times 10^{-3}$	26	2,0	$7,3 \times 10^{-4}$
RT _{2,5}	2,3	$2,0 \times 10^{-3}$	34	2,4	$8,4 \times 10^{-4}$
RT ₃	2,5	$2,1 \times 10^{-3}$	34	2,2	$7,8 \times 10^{-4}$

RV (resina virgem); RT (resina tratada com concentrações de HCl de 1 a 3

A saturação da resina para os testes de dessorção foi realizada em coluna de leito fixo conforme descrito na Seção **Erro! Fonte de referência não encontrada.** Para atingir o propósito de gerar adsorvente saturado para os experimentos de dessorção, várias curvas de ruptura foram obtidas, as quais apresentaram comportamento aproximadamente sigmoidal, com um tempo de ruptura médio de 17 ± 1 h e tempo de saturação médio de 80 ± 3 h. O valor médio da capacidade da resina, ou seja, a concentração média de CIP na resina calculada no tempo de saturação (q_{sat}) foi de $486 \pm 41 \text{ mg g}^{-1}$. Uma curva de ruptura com as médias dos valores experimentais é apresentada na Figura 3.

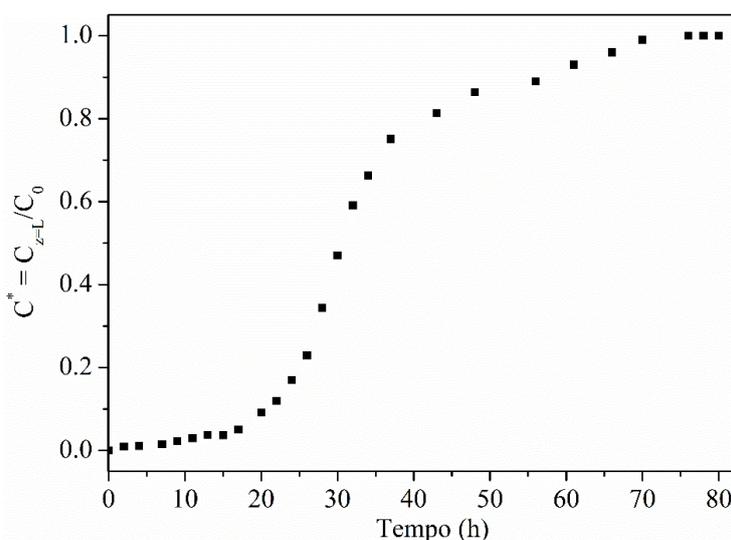
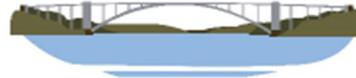


Figura 3. Curva de ruptura de saturação de resina para testes de adsorção. (Condições experimentais: $H_L = 5,7 \text{ cm}$, $Q = 0,0038 \text{ L min}^{-1}$, $T = 30 \text{ }^\circ\text{C}$, $C_{0,CIP} = 100 \text{ mg L}^{-1}$).

Fonte: Autor do trabalho.



A partir da análise dos resultados das cinéticas de dessorção em batelada apresentados na Figura 4a, observa-se que o tempo de equilíbrio para as diferentes concentrações do eluente variou de 8 a 12 horas. No entanto, apesar dos longos tempos de equilíbrio, a remoção de CIP da resina foi bastante expressiva mesmo antes que a condição de equilíbrio fosse alcançada (por exemplo: eluente HCl 2 mol L⁻¹: $C(6 \square)=500 \text{ mg g}^{-1}$), o que indica uma cinética favorável. Para investigar a influência da concentração de eluente sobre a cinética de dessorção, a qual é um importante parâmetro para o projeto do processo em sistema contínuo, a taxa inicial de dessorção (TID), avaliada em $\left(\frac{dC}{dt}\right)_{t=0}$, foi calculada para cada concentração de eluente testada. Foi possível perceber que quanto maior a concentração, maior foi a TID, dentro da faixa testada. Também no equilíbrio, as maiores eficiências (η_d) foram alcançadas nas maiores concentrações molares empregadas, conforme pode ser observado na Tabela 4.

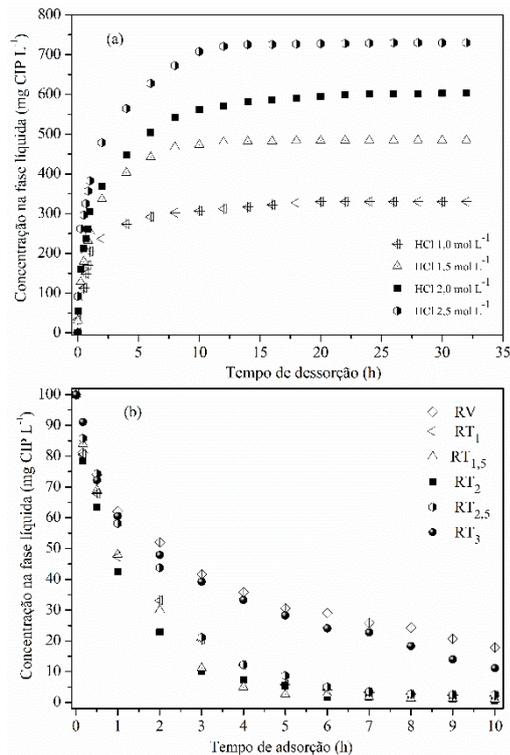


Figura 4. Cinéticas de dessorção e adsorção em batelada. (a) Dessorção – (Condições experimentais: Soluções eluentes de HCl de 1 a 2,5 mol L⁻¹, $T = 30 \text{ }^\circ\text{C}$, $q_{sat} = 486 \text{ mg g}^{-1}$); (b) Adsorção – Resina virgem (RV) e resina submetida a tratamento com eluente ácido RT (RT₁ – RT₃). (Condições experimentais: $T = 30 \text{ }^\circ\text{C}$, $C_{0,CIP} = 100 \text{ mg L}^{-1}$).

Fonte: Autor do trabalho.

Em relação aos testes de adsorção, percebeu-se que as condições de resina tratada de RT₁ a RT_{2,5} apresentaram maior eficiência de adsorção em relação à RV (ver Figura 4b e Tabela 4). Isso se deve ao fato de que nessas condições de tratamento ácido a resina sofre uma espécie de ativação, tendo mais H⁺ disponíveis para realizar a troca iônica com a CIP. No entanto, a resina tratada com HCl 3 mol L⁻¹ (RT₃) teve uma eficiência menor comparada às demais condições de RT e semelhante à da RV, provavelmente relacionada à repulsão eletrostática devida ao excesso de cargas positivas na superfície da resina presentes em virtude do meio excessivamente ácido. Ademais, observou-se que a que a RT₂ foi a condição de resina que demonstrou a maior taxa inicial de adsorção ($TIA_{RT2} = 303 \text{ mg g}^{-1}$, ver Tabela 1). Portanto, definiu-se a concentração de HCl 2 mol L⁻¹ como a melhor condição de eluente, podendo a mesma ser empregada em estudos de ciclos de adsorção e dessorção e na obtenção de dados de equilíbrio, considerando que proporcionou uma remoção eficiente de CIP da resina além de aumentar a sua capacidade adsorviva.

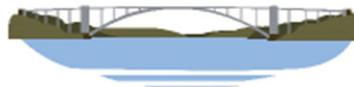


Tabela 4. Parâmetros de adsorção e dessorção dos experimentos em batelada para as diferentes condições testadas.

Fonte: Autor do trabalho.

Dessorção				Adsorção			
Eluente HCl (mol L ⁻¹)	q_{sat} (mg g ⁻¹)	TID (mg L ⁻¹ h ⁻¹)	η_d^* (%)	Tratamento HCl (mol L ⁻¹)	C_0 (mg L ⁻¹)	TIA (mg L ⁻¹ h ⁻¹)	η_a^* (%)
-	-	-	-	0 (RV)	-	104	79
1	-	348	40	1	-	170	94
1,5	-	510	59	1,5	-	274	95
2	486	618	73	2	100	303	95
2,5	-	1668	88	2,5	-	137	93
-	-	-	-	3	-	144	85

*As eficiências foram calculadas considerando as concentrações no equilíbrio, que foi estabelecido quando a transferência de massa (TM) era $TM \leq 4 \text{ mg g}^{-1} \text{ h}^{-1}$.

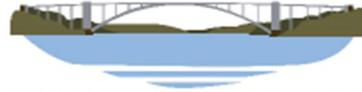
CONCLUSÕES

As principais conclusões obtidas dos ensaios de caracterização foram: (i) a resina não perdeu estabilidade química nem sofreu alterações morfológicas pelo contato com ácidos eluentes em concentrações de HCl de 1 a 3 mol L⁻¹. Em relação aos resultados experimentais de adsorção e dessorção em batelada concluiu-se que: (ii) soluções eluentes do ácido HCl demonstraram em geral alta eficiência de dessorção; (iii) a concentração de HCl de 2 mol L⁻¹ proporcionou uma eficiente dessorção, além de melhorar expressivamente a capacidade de adsorção da resina e, assim, poderia ser aplicada para avaliar ciclos de adsorção/dessorção.

Em suma, com o presente trabalho foi possível identificar que soluções eluentes de HCl poderiam ser eficientemente aplicadas à dessorção de Ciprofloxacina da resina SGC650H sem prejudicar a capacidade de adsorção da mesma, possibilitando a sua reutilização.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. BARRETT, E. P.; JOYNER, L. G.; HALENDA, P. P. **The Determination of Pore Volume and Area Distributions in Porous Substances. I. Computations from Nitrogen Isotherms.** *Journal of the American Chemical Society*, v. 73, n. 1, p. 373-380, 1951.
2. BRUNAUER, S.; EMMETT, P. H.; TELLER, E. **Adsorption of gases in multimolecular layers.** *Journal of the American Chemical Society*, v. 6, n. 2, p. 309-319, 1938.
3. DUBININ, M. M. **The potential theory of adsorption of gases and vapors for adsorbents with energetically non-uniform surface.** *Chemical Reviews*, v. 60, n. 2, p. 235-266, 1960.
4. JALIL R., M. Eugenia; BASCHINI, Miria; SAPAG, Karim. **Influence of pH and antibiotic solubility on the removal of ciprofloxacin from aqueous media using montmorillonite.** *Applied Clay Science*, v. 114, p. 69-76, 2015.
5. JIANG, W. T. *et al.* **Sorption and desorption of tetracycline on layered manganese dioxide birnessite.** *International Journal of Environmental Science and Technology*, 2015.
6. IOANNIDOU, O.; ZABANIOTOU, A. **Agricultural residues as precursors for activated carbon production – a review.** *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, v. 11, p. 1966-2005, 2007.
7. MONTE BLANCO, Silvia Priscila Dias *et al.* **Kinetic, equilibrium and thermodynamic phenomenological modeling of reactive dye adsorption onto polymeric adsorbent.** *Chemical Engineering Journal*, 2017.
8. PUROLITE. Supergel™ SGC650H. Disponível em: <http://www.purolite.com/relid/619234/isvars/default/strong_acid_cation_gel.htm>. Acesso em 02 de dezembro de 2018.
9. SAUSEN, M. G. **Remoção de Ciprofloxacina em coluna de leito fixo empacotada com resina de troca iônica.** Toledo: Universidade Estadual do Oeste do Paraná, 2017. 134 p. Dissertação (Mestrado).



10. SAUSEN, Mateus Gustavo *et al.* **Efficiency maximization of fixed-bed adsorption by applying hybrid statistical-phenomenological modeling.** *Separation and Purification Technology*, 2018.
11. SEOLATTO, Araceli A. *et al.* **Zinc(II) desorption by sargassum filipendula biomass in batch and in fixed-bed column for multiple sorption-regeneration cycles.** *Water Science and Technology*, 2009.