



## PURIFICAÇÃO DE ÁCIDO LÁTICO POR CROMATOGRAFIA DE TROCA IÔNICA

M. R. A. Arcanjo; D. R. Gondim; F. A. N. Fernandes; I. J. Silva Jr.

Departamento de Engenharia Química – Universidade Federal do Ceará  
Grupo de Pesquisa em Separações por Adsorção – GPSA. Campus do Pici, Bloco  
709, CEP: 60455-706 – Fortaleza- CE – Brasil.  
Telefone: (85) 3366-9611 – Fax: (85) 3366-9601 – Email: rosienearcanjo@gmail.com

**RESUMO:** A produção de ácido lático por conversão hidrotérmica da glicerina é uma alternativa que agrega valor significativo para a produtividade do biodiesel. Neste contexto, o presente trabalho objetivou a purificação de ácido lático utilizando resina de troca iônica em coluna de leito fixo. Foram estudados: a caracterização do leito, determinação de isotermas de adsorção monocomponentes obtidas a partir das curvas de ruptura com diferentes concentrações de alimentação de ácido lático (60-302 g/L) nas temperaturas de 30°C, 40°C e 60°C, assim como foi realizada a avaliação da adsorção/dessorção de misturas binárias e mistura real. Os resultados mostraram uma adsorção máxima obtida de 544 g/L pelo modelo de Langmuir a 30°C (o modelo que melhor se ajustou aos dados experimentais). As produtividades obtidas foram de 3,14, 9,69 e 2,42 kg de ácido lático/kg de resina.dia para solução monocomponente, binária e mistura real, respectivamente.

**PALAVRAS-CHAVE:** Ácido lático; Cromatografia de troca iônica; Adsorção.

**ABSTRACT:** The production of lactic acid by hydrothermal conversion of glycerin is an alternative adds significantly to the amount of biodiesel productivity. In this context, the present work aimed purification of lactic acid using ion exchange resin in fixed bed column. Were studied: a bed characterization, determination of adsorption isotherms monocomponent obtained from the breakthrough curves with different concentrations of lactic acid feed (60-302 g/L) at temperatures of 30 °C, 40 °C and 60 °C, as well as evaluating the adsorption/desorption of binary mixtures and real mixing was performed. The results showed a maximum adsorption obtained from 544 g/L for the Langmuir model to 30 °C (the model that best fit the experimental data). The yields obtained were 3.14, 9.69 and 2.42 kg of lactic acid/kg resina.dia for monolithic, binary and real mixture, respectively solution.

**KEYWORDS:** Lactic acid, Ion exchange chromatography, Adsorption.

### 1. INTRODUÇÃO

A partir da década de 90 com a implantação de plantas industriais de produção em escala comercial as pesquisas sobre combustíveis renováveis começaram a ser impulsionadas, visando principalmente o meio ambiente e a procura de um novo combustível competitivo com o petróleo (Delatorre *et al.*, 2011).

Neste contexto, o biodiesel tem se apresentado como um substituto natural do diesel

de petróleo, pois pode ser produzido a partir de fontes renováveis como óleos e gorduras vegetais e animais e óleos utilizados em frituras (Ramos *et al.*, 2003). Contudo, cerca de 10% em massa da produção do biodiesel é convertida em glicerina, o que já alcança aproximadamente 250 mil ton/ano de glicerina. Esse valor excede muito a demanda e a capacidade de absorção dos mercados atuais (Umpierre e Machado, 2013).

Para que o excesso de glicerina não seja descartado de maneira irresponsável no meio



ambiente (Costa, 2008), têm-se desenvolvido pesquisas destinadas à busca de alternativas para a utilização desse volume excedente (Silva *et al.*, 2009), convertendo-o em outros produtos químicos de maior valor agregado (Shen *et al.*, 2009), como por exemplo o ácido láctico.

Trata-se de um ácido orgânico que possui dois enantiômeros: D e L-ácido láctico (Zhou *et al.*, 2003). Ambas as formas de isômeros podem ser polimerizadas em produtos com diferentes propriedades (Hofvendahl e Hahn-Hägerdal, 2000). Recentemente, o consumo do ácido láctico aumentou consideravelmente em função de seu bom aproveitamento na indústria de polímeros, como monômero para a produção de PLA (Ácido Polilático) (Ilmén *et al.*, 2007).

Há um interesse contínuo em um processo mais eficiente para a produção de ácido láctico, assim como para a sua recuperação e purificação. A recuperação e purificação são passos muito importantes porque eles têm influência significativa na qualidade do ácido láctico e no seu preço final (Wasewar, 2005). Dentre os vários métodos de purificação, os processos adsorptivos na cromatografia de troca iônica destacam-se por ser um processo de fácil escalonamento e operação, tornando-a uma técnica atrativa e economicamente viável (Silva, 2010).

Uma variedade de resinas comerciais de troca iônica estão disponíveis, com diferentes estruturas e grupos funcionais. Estas características resultam em uma ampla variação nas propriedades físico-químicas, que controlam a sua adequação para um determinado problema (Tong *et al.*, 2004).

Diante do exposto, o objetivo desse trabalho foi realizar um estudo sobre a purificação do ácido láctico por cromatografia de troca iônica, utilizando um sistema em coluna de leito fixo, visando posteriormente a purificação do ácido láctico oriundo da conversão da glicerina resultante da produção do biodiesel.

## 2. MATERIAIS E MÉTODOS

### 2.1. Material

**2.1.1. Reagentes:** Ácido láctico ( $C_3H_6O_3$ ) 85% adquirido da Vetec (Brasil) foi utilizado na preparação das soluções sintéticas monocomponentes e binárias. Todos os outros reagentes utilizados foram de grau analítico da Vetec (Brasil). Água ultrapura Milli Q (Milipore,

EUA) foi utilizada para o preparo das soluções sintéticas utilizadas neste estudo.

**2.1.2. Adsorvente:** os ensaios de adsorção foram realizados com a resina Amberlite IRA 96 (resina de troca aniônica fraca) (Rohm & Haas, Brasil). A tabela 1 apresenta o tipo de resina testada, segundo suas características.

**Tabela 1.** Características da resina testada (Dados fornecidos pelo fabricante).

Adsorvente	Amberlite IRA 96
Tipo	Aniônica fraca
Forma física	Esféricas e opacas
Grupo funcional	Poliamina
Matriz	Macroreticular de Estireno-divinilbenzeno
Tamanho de partícula (mm)	0,55-0,75

**2.1.3. Coluna cromatográfica:** A coluna cromatográfica da Superformance (Gotec Labortechnik) para experimentos em leito fixo foi empacotada com a resina com dimensões 2,5cm x 11,3cm.

### 2.2. Procedimento Experimental

**2.2.1. Caracterização do leito:** Para o cálculo das porosidades do leito empacotado empregou-se a cromatografia em pulso, que se fundamenta no registro da concentração de um traçador à saída da coluna como resposta à injeção de uma certa quantidade à entrada da coluna sob uma determinada vazão do líquido de arraste (fase móvel). Determinou-se a porosidade do leito de resina utilizando-se os dados obtidos com o traçador de alta massa molar, dextrana-azul. Esta molécula, por apresentar um elevado volume hidrodinâmico, não deve penetrar nos poros da partícula de resina. E a porosidade da partícula foi obtida com a utilização dos dados do traçador acetona, que por apresentar um volume hidrodinâmico muito pequeno, pode penetrar nos



poros da partícula. Abaixo as equações que foram utilizadas para o cálculo da porosidade do leito (1), total (2) e da partícula (3):

$$t_r - t_m = \frac{\varepsilon V_c}{Q} \quad (1)$$

$$t_r - t_m = \frac{\varepsilon_T V_c}{Q} \quad (2)$$

$$\varepsilon_T = \varepsilon + (1 - \varepsilon)\varepsilon_p \quad (3)$$

Onde  $t_r$  é o tempo de retenção,  $t_m$  é o tempo morto,  $V_c$  é o volume da coluna,  $Q$  é a vazão do processo.

**2.2.3. Determinação de isothermas de adsorção monocomponentes em leito fixo:** Lavou-se a coluna com água deionizada, a uma vazão de 2,5 mL/min por um determinado período, para garantir que todo o sistema estivesse equilibrado; Em seguida, no instante convencionado como  $t = 0$ , passou-se a bombear uma solução de ácido láctico à mesma vazão através da coluna por tempo suficiente para saturá-la completamente. Durante esta etapa de saturação recolheram-se frações de aproximadamente 5,0 mL em pequenos recipientes à saída da coluna, as quais foram analisadas pelo método de titulação com hidróxido de sódio 6 N a fim de se obter a concentração do ácido no equilíbrio. O indicador utilizado foi fenolftaleína 1%; Após a saturação da coluna, esta foi lavada com água Milli-Q e a eluição foi feita com HCl 1 M (previamente selecionado como o eluente que mostrou melhor desempenho), sendo posteriormente regenerada passando-se uma solução de hidróxido de sódio (NaOH 0,5 M). Em seguida, foi feita a passagem de água Milli-Q.

Este procedimento foi repetido sucessivas vezes para diferentes concentrações de alimentação com soluções monocomponentes de ácido láctico nas concentrações ( $C_0$ ) de 60 a 302 g/L em três temperaturas (30°C, 40°C e 60°C). As curvas de *breakthrough* foram obtidas e a partir delas, foi possível realizar a estimativa de parâmetros cinéticos. A partir dos dados de concentração de ácido láctico, para cada condição estudada, fez-se o ajuste do modelo da isoterma de adsorção de Langmuir (Equação 4) pelo software ORIGIN 6.0 (Microcal Software).

$$q^* = \frac{HC_{eq}}{1 + bC_{eq}} \quad (4)$$

em que  $H$  e  $b$  (L/g) são parâmetros do modelo de Langmuir, sendo a capacidade máxima da monocamada dada por  $b \cdot q_m = H$  e  $b$  é a constante de Langmuir e  $C_{eq}$  é a concentração do adsorbato na solução após atingir o equilíbrio.

**2.2.4. Ensaios de adsorção e dessorção monocomponentes em leito fixo:** Depois de concluída a estabilização com a passagem contínua de água Milli-Q, começou-se a bombear a solução de ácido láctico sintético numa concentração inicial conhecida em sentido ascendente. Após a saturação da coluna, esta foi lavada com água Milli-Q e a eluição foi realizada com uma solução de HCl 1,0M. O procedimento de eluição foi realizado a 60°C. Amostras foram coletadas, em volumes pré-determinados e em intervalos de 4 minutos, sendo as concentrações de ácido láctico determinadas por Cromatografia Gasosa (CG).

**2.2.5. Ensaios de adsorção e dessorção com misturas binárias em leito fixo:** Após a estabilização com a passagem contínua de água Milli-Q, começou-se a bombear a mistura sintética em sentido ascendente. Após a saturação da coluna, esta foi lavada com água Milli-Q e a eluída com uma solução de HCl 1,0M. O procedimento de eluição foi realizado a 60°C. Para coleta e análise das amostras seguiu-se o mesmo procedimento do item 2.2.4.

**2.2.6. Ensaio de Adsorção e dessorção com a solução real oriunda do processo químico:** Concluída a estabilização com a passagem contínua de água Milli-Q, começou-se a bombear a solução real advinda do processo químico em sentido ascendente. Após a saturação da coluna, esta foi lavada com água Milli-Q e a eluição foi realizada com uma solução de HCl 1,0M. O procedimento de eluição foi realizado a 60°C. Para coleta e análise das amostras seguiu-se o mesmo procedimento do item 2.2.4.

## 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO



### 3.1. Caracterização do Leito

A tabela 2 a seguir apresenta os valores utilizados/medidos na caracterização do leito com a resina Amberlite IRA 96.

**Tabela 2.** Valores utilizados na caracterização do leito.

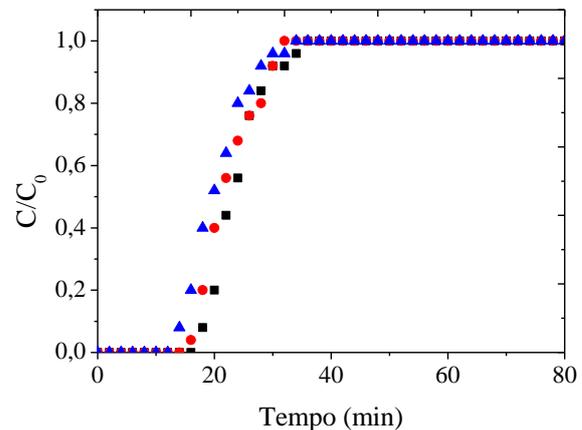
Parâmetros obtidos experimentalmente	Amberlite IRA 96
Tempo morto, $t_m$ (s)	294
Tempo de retenção da Azul Dextrana, $t_r$ (s)	890
Tempo de retenção da acetona, $t_r$ (s)	1595
Porosidade do leito, $\epsilon$	0,45
Porosidade total, $\epsilon_T$	0,97
Porosidade da partícula, $\epsilon_p$	0,94

### 3.2. Determinação de Isotermas Monocomponentes em Leito fixo

As isotermas de adsorção foram obtidas a partir das curvas de *breakthrough*. Experimentos foram realizados utilizando soluções sintéticas de ácido lático variando as concentrações de 60-302 g/L em três temperaturas distintas. A Figura 1 apresenta as curvas de ruptura do ácido lático na resina Amberlite IRA 96, para uma concentração de alimentação igual a 302 g/L nas três temperaturas estudadas. Cada curva de ruptura apresentada mostra a variação da concentração de adsorbato com o tempo à saída da coluna, permitindo calcular um ponto na isoterma de adsorção ( $q^*$ ,  $C_0$ ).

Da observação das curvas de ruptura apresentadas nas Figura 1, pode-se ter uma ideia do comportamento de remoção do ácido lático pela resina, na operação em coluna de leito fixo. É possível a identificação de regiões do comportamento que vão desde o início da saturação da resina (ponto de ruptura onde  $C(t)/C_0 = 0,10$ ), na qual se inicia a elevação brusca da

curva, até a saturação total da resina, quando  $C(t)/C_0 = 1$ , ou seja, quando a concentração de saída da coluna é igual à concentração da solução de alimentação.



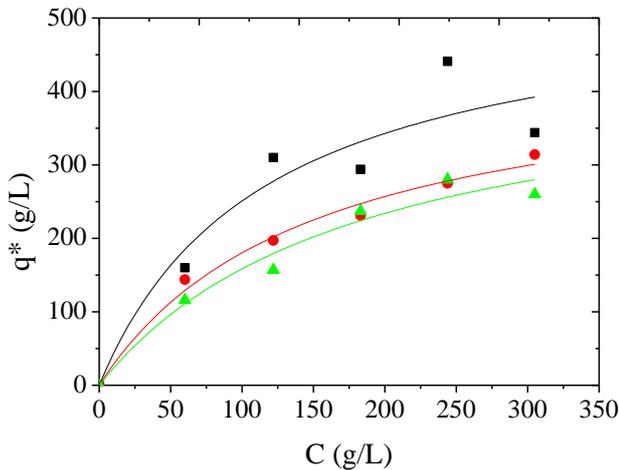
**Figura 1.** Curvas de *breakthrough* (experimentais) para o ácido lático com concentração de alimentação de 302 g/L na resina Amberlite IRA 96 nas temperaturas de 30°C (■), 40°C (●) e 60°C (▲).

Deste modo, podem ser estimados das curvas de ruptura não só o tempo de operação da coluna até saturação total, como a quantidade de ácido removido pela resina durante a operação assim como, outras informações do processo em coluna.

Pode-se notar nas curvas da Figura 1, que o tempo necessário para o sistema atingir o equilíbrio, ou seja, a completa saturação encontra-se na faixa de 30-40 minutos. Observa-se que a medida que a temperatura aumenta, o tempo para atingir o “breakpoint” diminui, o que corrobora com o que é encontrado na literatura sobre o desfavorecimento do processo de adsorção com o aumento da temperatura. A partir das curvas de ruptura obtidas com diferentes concentrações de alimentação de ácido lático, foram construídas as isotermas de adsorção (Figura 2).

A partir dos dados de concentração de ácido lático, para cada condição estudada, fez-se o ajuste do modelo da isoterma de adsorção de Langmuir. Para tal foi empregado o software ORIGIN 6.0 (Microcal Software). Foram utilizados para cada ajuste no mínimo 5 pontos experimentais, a fim de se determinar os dois parâmetros do modelo ( $b$  e  $q_m$ ). Estes parâmetros

caracterizam o sistema em termos da preferência de adsorção na resina e capacidade máxima de adsorção, sendo possível a partir destes avaliar as diferentes condições estudadas.



**Figura 2.** Isotermas de adsorção de ácido láctico a várias concentrações (60, 120, 180, 240, 302 g/L) nas temperaturas de 30°C (■), 40°C (●) e 60°C (▲) na resina Amberlite IRA 96. As curvas representam a equação de Langmuir ajustada aos dados experimentais.

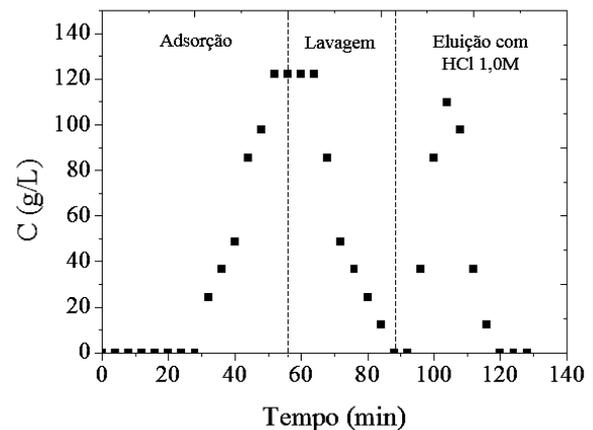
De acordo com a Figura 2 apresentada, vimos que a capacidade de adsorção do ácido láctico na resina utilizada diminui com o aumento de temperatura, mostrando-se tratar de um processo exotérmico. Vale ressaltar que os melhores resultados foram obtidos na temperatura de 30°C. Uma observação relevante é que o comportamento observado na Figuras 2 é característico de uma isoterma do tipo Langmuir. O modelo de Langmuir considera que a área superficial do adsorvente, capaz de acomodar o adsorbato numa monocamada, é limitada e o número total de moléculas que podem ser acomodadas é finita. Dessa forma, com a formação da monocamada, ou seja, após o preenchimento de todos os sítios ativos, as moléculas do ácido láctico não serão mais adsorvidas na fase sólida e o adsorvente atingiu sua capacidade máxima de saturação. Os ajustes não lineares das isotermas de adsorção obtidos pelo software citado anteriormente e os parâmetros do modelo são apresentados na tabela 3.

**Tabela 3.** Constantes de Langmuir  $q_m$  e  $b$ , a várias temperaturas na resina Amberlite IRA 96.

Parâmetros	30°C	40°C	60°C
$q_m$ (g/L)	544 (± 2,06)	450 (±0,40)	450 (±0,55)
$b$ (L/g)	0,008 (±0,003)	0,006 (±0,004)	0,005 (±0,003)
$\chi^2$	0,0027	0,0002	0,0004
$R^2$	0,9094	0,9896	0,9707

### 3.3. Ensaios de adsorção e dessorção monocomponentes em leito fixo

Pode se observar de acordo com a figura 3 e a tabela 4, que o percentual de recuperação na eluição do ácido láctico comercial da solução, foi de 29,17% para a resina Amberlite IRA 96.



**Figura 3.** Cromatograma para solução de ácido láctico a uma concentração de entrada de  $C_{0\text{Ácido láctico}} = 120$  g/L;  $T = 30^\circ\text{C}$ ;  $Q = 2,5$  mL/min, na resina Amberlite IRA 96.

A dessorção realizada com solução de HCl 1.0 M mostrou-se satisfatoriamente eficiente, já que o leito pode ser recuperado em um intervalo de tempo relativamente mais curto que o tempo de operação da coluna durante o processo de adsorção. A soma das concentrações em cada etapa, ou seja o balanço de massa ao final do



processo, mostrou-se coerente, visto que foram aproximadamente igual à da solução inicial que foi injetada.

**Tabela 4.** Balanço de massa em cada uma das etapas da corrida cromatográfica da solução monocomponente de ácido láctico na resina Amberlite IRA 96.

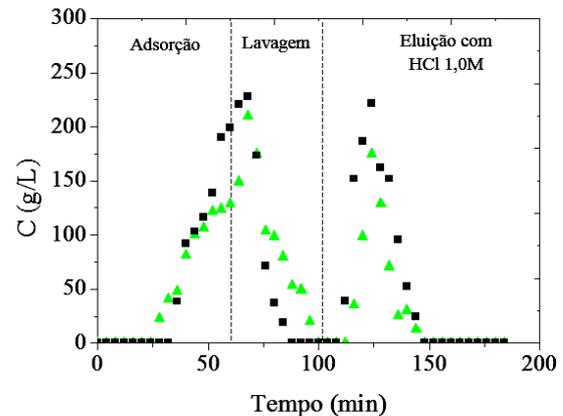
Etapa	C (g/L)	C (%)	PR
Alimentação	120	100	
Adsorção	41	34,17	
Lavagem	43	35,83	3,14
Eluição	35	29,17	

Concentração=C (g/L); Percentual da Conc.= C (%); Produtividade=PR (kg de ácido láctico/ kg de resina.dia).

Vale ressaltar que pode ter havido eventuais perdas (mínimas) de amostras durante o processo. Para a resina estudada, a separação do ácido láctico também foi avaliada em termos de produtividade (kg de ácido láctico/kg de resina.dia), o qual foi obtido um valor de 3,14 para a resina IRA 96.

### 3.4. Ensaios de adsorção e dessorção com misturas binárias em leito fixo

Observando a figura 4 e a tabela 5 notamos o percentual de recuperação na eluição do ácido láctico comercial da solução, foi de 31,30%. É importante mencionar que essa é uma mistura onde o outro componente do meio (glicerina) possui uma estrutura semelhante com a estrutura do ácido láctico, podendo esta também, ser adsorvida pela resina, competindo assim com o ácido pelos sítios ativos. Vale ressaltar que foi feito o acompanhamento da recuperação de glicerina do meio (tabela 5) para saber o quanto isso pode afetar a adsorção do componente de interesse que queremos separar (ácido láctico), sendo observado que o percentual de recuperação de glicerina permaneceu na faixa de 50%. Lembrando que pode ter havido eventuais perdas (mínimas) de amostras durante o processo. Em termos de produtividade, temos 9,69 kg de ácido láctico/kg de resina.dia.



**Figura 4.** Cromatograma para mistura binária de ácido láctico e glicerina.  $C_{O\text{ácido láctico}} = 345 \text{ g/L}$  (■);  $C_{O\text{glicerina}} = 230 \text{ g/L}$  (▲);  $T = 30^\circ\text{C}$ ;  $Q = 2,5 \text{ mL/min}$ , na resina Amberlite IRA 96.

**Tabela 5.** Balanço de massa para o ácido láctico (Al) e glicerina (Gli) em cada uma das etapas da corrida cromatográfica da mistura binária.

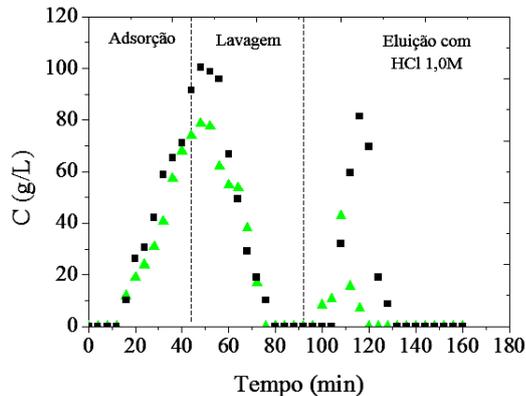
Etapa	C (g/L)	C (%)	PR
Alimentação	345/230	100/100	
Adsorção	162/113	46,95/49,13	
Lavagem	75/59	21,74/25,65	9,69
Eluição	108/57	31,30/24,78	

Concentração=C (g/L) de Al/Gli; Percentual da conc= C (%) de Al/Gli; Produtividade=PR (kg de ácido láctico/ kg de resina.dia).

### 3.5. Ensaio de Adsorção e dessorção com a solução real oriunda do processo químico



A figura 5 e a tabela 6 a seguir apresentam o cromatograma e as concentrações para o ensaio de adsorção e dessorção do ácido lático, respectivamente, na mistura real.



**Figura 5.** Cromatograma para mistura binária de ácido láctico e glicerina.  $C_{0\text{ácido láctico}} = 115 \text{ g/L}$  (■);  $C_{0\text{glicerina}} = 80 \text{ g/L}$  (▲);  $T = 30^\circ\text{C}$ ;  $Q = 2,5 \text{ mL/min}$ , na resina Amberlite IRA 96.

Na conversão química da glicerina excedente do biodiesel (bruta) além de ácido lático, reações secundárias são responsáveis pela produção de outros ácidos, porém em quantidades pequenas, uma vez que a seletividade da reação é maior para a produção de ácido lático.

**Tabela 6.** Balanço de massa para o ácido lático (Al) e glicerina (Gli) em cada uma das etapas da corrida cromatográfica da mistura real.

Etapa	C (g/L)	C (%)	PR
Alimentação	115/80	100/100	
Adsorção	50/40	43,48/50,00	2,42
Lavagem	37/30	32,17/37,50	
Eluição	27/8	23,48/10,00	

Concentração=C (g/L) de Al/Gli; Percentual da Conc=C (%) de Al/Gli; Produtividade=PR (kg de ácido lático/kg de resina.dia).

Por isso, levando-se em conta esses fatores nota-se que o pico de dessorção da amostra real apresenta-se menor em comparação aos outros

picos obtidos com a solução monocomponente e até mesmo com o da mistura binária para a mesma resina utilizada visto que a solução real é bem mais complexa. O valor de produtividade (kg de ácido lático/kg de resina.dia) obtido para a amostra real foi de 2,42.

## 4. CONCLUSÕES

Os resultados apresentados neste estudo mostraram que a resina de troca iônica Amberlite IRA 96 utilizada para o processo de purificação do ácido lático em coluna de leito fixo apresentou um desempenho satisfatório, demonstrando uma grande capacidade de adsorção do ácido em solução monocomponente, binária e na mistura real. Os dados experimentais de equilíbrio foram ajustados com boa aproximação ao modelo de Langmuir, obtendo valores de capacidade máxima de adsorção e constante de Langmuir de 544 g/L e 0,008 L/g, respectivamente. Verificou-se que a capacidade adsorptiva diminui com o aumento da temperatura, visto que a adsorção é um processo exotérmico. Foram avaliados também os parâmetros termodinâmicos nas temperaturas de 30, 40 e 60°C e de acordo com os resultados obtidos verificou-se que o processo de adsorção é exotérmico e espontâneo, como na maioria dos casos. Estudos posteriores deverão ser realizados visando um aprimoramento do processo, visto que as resinas de troca iônica são adsorventes que podem ser regenerados e utilizados novamente.

## 5. REFERÊNCIAS

- COSTA, R., Glicerina: o tamanho do problema. *Biodieselbr*, v.1, n.3. Paraná, 16-20, 2008.
- DELATORRE, A.B.; RODRIGUES, P. M.; AGUIAR, C. J.; ANDRADE, V. V. V.; ARÊDES, A.; PEREZ, V. H. Produção de biodiesel: considerações sobre as diferentes matérias-primas e rotas tecnológicas de processos. *Perspectivas: biológicas e saúde*. v.1, n.1, 2011.
- HOFVENDAHL, K.; HAHN-HAGERDAL, B. Factors affecting the fermentative lactic acid production from renewable resources. *Enzyme and Microb Technol*, v. 26, p. 87-107, 2000.



ILMÉN, M.; KOIVURANTA, K.; RUOHONEN, L.; SUOMINEN, P.; PENTTILÄ, M. Efficient production of L-lactic acid from xylose by *Pichia stipitis*. *Appl and Environ Microbiol*, v. 73, p. 117-123, 2007.

RAMOS, L. P.; KUCEK, K. T.; DOMINGOS, A. K.; WILHELMEN, H. M. Biodiesel, um projeto de sustentabilidade econômica e sócio-ambiental para o Brasil. *Biotecnologia Ciência e Desenvolvimento*, n.31, pp. 26-37, 2003.

SHEN, Z.; JIN, F.; ZHANG, Y.; WU, B.; KISHITA, A.; TOHJI, K.; KISHIDA, H. Effect of alkaline catalysts on hydrothermal conversion of glycerin into lactic acid. *Ind. Eng Chem Res*, v. 48, p. 8920-8925, 2009.

SILVA, A. H. Estudos de adsorção de ácidos orgânicos visando sua recuperação de meios fermentados. 2010.134 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) – Departamento de Engenharia Química, Universidade Estadual de Campinas, São Paulo, 2010

SILVA, P. MACK, M. CONTIERO J. Glycerol: A promising and abundant carbon source for industrial microbiology. *Biotechnol Adv* 27 30–39, 2009.

TONG, W. Y.; FU, X. Y.; LEE, S. M.; YU, J.; LUI, J. W.; WEI, D. Z.; KOO, Y. M. Purification of l(+)-lactic acid from fermentation broth with paper sludge as a cellulosic feedstock using weak anion exchanger Amberlite IRA-92. *Biochem Eng J*, v. 18, p. 89–96, 2004.

UMPIERRE, A. P.; MACHADO, F. Gliceroquímica e Valorização do Glicerol. *Revista Virtual de Química*, v. 5, p. 106-116, 2013.

WASEWAR, K. L. Separation of Lactic Acid: Recent Advances. *Chem. Biochem. Eng.* v.19, p. 159–172, 2005.

ZHOU, S.; CAUSEY, T.B.; HASONA, A.; SHANMUGAM, K.T.; INGRAM, L.O. Production of optically pure D- lactic acid in mineral salts medium by metabolically engineered *Escherichia coli* W3110. *Appl Environ Microbiol*, v. 69, n. 1, p. 399-407, 2003.