

# DETERMINAÇÃO DE COEFICIENTE GLOBAL DE TRANSFERÊNCIA DE OXIGÊNIO ( $K_{L,a}$ ) EM REATOR DE COLUNA

**Jeferson Juliano Freddi, Jeferson Steffanello Piccin, Norton Rubin, Marlo Koch, Marcelo Hemkemeier\*, Paulo Roberto Köetz**

*Curso de Engenharia de Alimentos, Universidade de Passo Fundo*  
Email : [j9@ibest.com.br](mailto:j9@ibest.com.br); [marceloh@upf.br](mailto:marceloh@upf.br); [jefepiccin@yahoo.com.br](mailto:jefepiccin@yahoo.com.br)

## RESUMO

Este trabalho visa obter a influência da vazão de ar e da densidade aparente dos difusores de ar sobre o coeficiente global de transferência de oxigênio ( $K_{L,a}$ ) para a água limpa em reator de coluna. Foi utilizado um planejamento fatorial  $2^2$  completo, sendo as variáveis a vazão de ar ( $X_1$ ) e a densidade aparente dos difusores de ar ( $X_2$ ). A determinação da concentração de oxigênio dissolvido foi realizada através do método instrumental (oxímetro). A variação da concentração de oxigênio em relação ao tempo para cada condição experimental de vazão de ar e densidade dos difusores de bolha foi modelada para determinação do coeficiente global de transferência de oxigênio ( $K_{L,a}$ ). O maior valor de  $K_{L,a}$  foi  $0,300 \text{ s}^{-1}$  utilizando-se vazão de ar de  $0,7 \text{ L}\cdot\text{min}^{-1}$  e difusor de alta densidade para todos os casos. Por outro lado, o menor valor obtido foi  $0,059 \text{ s}^{-1}$  ao se utilizar vazão de  $0,3 \text{ L}\cdot\text{min}^{-1}$  e difusor de alta densidade. A superfície de resposta mostrou que o aumento da vazão e da densidade do difusor de ar aumentaram o valor de  $K_{L,a}$ .

**Palavras chave:** transferência de oxigênio,  $K_{L,a}$ , vazão de ar, tamanho de bolha de ar.

## 1 INTRODUÇÃO

A taxa de transferência de oxigênio do equipamento de aeração é frequentemente determinada em condições distintas daquelas da operação. A quantificação da influência dos fatores na taxa de transferência de oxigênio é importante para possibilitar a estimativa da mesma em condições de operação, tendo como base os resultados obtidos em testes realizados nas condições padronizadas (VON SPERLING, 1997).

Os fatores de maior influência na taxa de transferência de oxigênio são: temperatura, concentração de oxigênio dissolvido, características do meio em que será realizada a aeração, do aerador e da geometria do reator (VON SPERLING, 1997).

A difusão molecular é a tendência de qualquer substância se espalhar uniformemente pelo espaço disponível através de um gradiente de concentração, determinando a taxa de difusão por unidade de área (VON SPERLING, 1996).

A velocidade de transferência de oxigênio é dada pela equação de difusão de Fick, modificada para a película de líquido como descrito por RAMALHO (1993).

Dessa forma, o coeficiente global de transferência de oxigênio  $K_{L,a}$ , torna-se ferramenta de dimensionamento de sistemas em escala real a partir de seu valor obtido em escala de bancada. Reúne os valores do coeficiente de difusividade, propriedades do líquido, área interfacial gás-líquido e geometria do reator.

O objetivo deste trabalho foi a determinação de uma superfície de resposta do  $K_{L,a}$  em relação à vazão de ar e a densidade aparente dos difusores.

## 2 DESENVOLVIMENTO

### 2.1 Material e Métodos

O trabalho foi realizado no Laboratório de Operações Unitárias do curso de Engenharia de Alimentos da UPF. Foi utilizado um reator de PVC, com 1 m de altura e capacidade de 6 L. Insuflou-se ar através da extremidade inferior do reator, provido por um compressor e uma derivação de linha. Controlou-se a vazão por um rotômetro calibrado para ar, alterando-se a vazão conforme o planejamento experimental.

As variáveis utilizadas para o desenvolvimento do planejamento fatorial completo utilizado estão descritas na Tabela 1.

**Tabela 1:** Matriz dos valores reais e codificados para as variáveis utilizadas no Planejamento Fatorial  $2^2$  com os pontos centrais e axiais

Nível	$X_1$ (vazão em $L \cdot m^{-1}$ )	$X_2$ (densidade aparente do difusor em $kg \cdot m^{-3}$ )
-1,414	0,2	0 (Sem difusor)
-1	0,3	0 (Sem difusor)
0	0,5	24,0
+1	0,7	62,0
+1,414	0,8	62,0

As medidas de oxigênio dissolvido foram realizados através de método direto via oxímetro, previamente calibrado e aferido, sendo os valores tabelados e submetidos à análise estatística por meio do software Statistical 6.0.

### 2.2 Resultados e Discussão

A **Tabela 2** demonstra a estimativa de efeitos das variáveis estudadas sobre o  $K_L a$ .

**Tabela 2:** Estimativa de efeitos sobre o  $K_L a$  dos parâmetros

Fatores	Efeito	Erro puro	t	p	<95% lim. Conf.	>95% lim. Conf.
<b>Média</b>	0,126335	0,006333	19,94768	0,002504	0,099085	0,153585
<b>(1) Vazão (L)</b>	0,105901	0,007757	13,65178	0,005323	0,072524	0,139278
<b>(1) Vazão (Q)</b>	-0,004214	0,009234	-0,45635	0,692904*	-0,043946	0,035518
<b>(2) dens. (L)</b>	0,088580	0,007757	11,41890	0,007582	0,055203	0,121957
<b>(2) dens. (Q)</b>	0,027295	0,009234	2,95590	0,097928*	-0,012436	0,067027
<b>1 e 2</b>	0,107000	0,010970	9,75418	0,010348	0,059801	0,154199

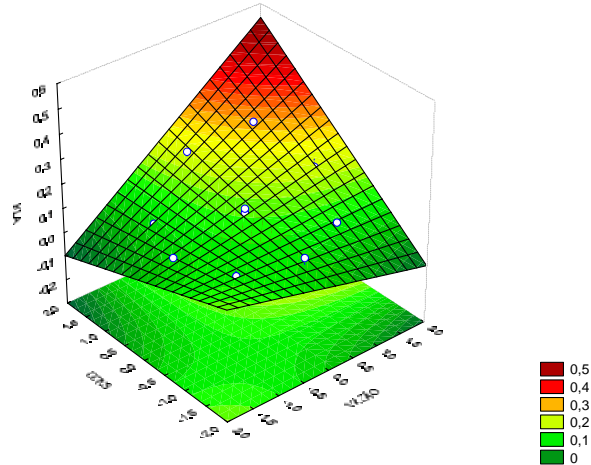
Os resultados demonstram que, para a faixa a qual foi definido o planejamento experimental, os efeitos quadrados não foram significativos a um limite de confiança de 95%, não sendo possível então a obtenção de um ponto de máximo na superfície de resposta através do modelo experimental proposto.

Observa-se que a variável mais significativa foi a vazão de ar, seguida do tamanho da densidade do difusor e da interação de ambos.

Observa-se que o valor de  $F_{calc}$  foi de  $7,98 \cdot F_{tab}$ , validando a análise estatística e a variância dos resultados.

A **Figura 1** mostra que os valores de  $K_L a$  são influenciados pela vazão de ar e pela densidade dos difusores de tal forma que na faixa onde foram conduzidos os experimentos

não houve a obtenção de um valor máximo de  $K_{La}$ , ou seja, um ponto de máximo. A superfície mostrou que o  $K_{La}$  aumenta com o aumento da densidade do difusor e da vazão de ar. Para a obtenção de ponto máximo seria necessário o deslocamento do planejamento experimental para vazões maiores e menores tamanhos de bolha. De acordo com Gouveia *et al.* (2003) na condução processos fermentativos utilizando aeração, o aumento da vazão e a diminuição do tamanho de bolha pode provocar cisalhamento das colônias, o que não é propício para o seu crescimento (GOUVEIA *et al.*, 2003).



**Figura 1:** Superfície de resposta do  $K_{La}$  obtido pelo modelo exponencial em função da vazão de ar e da densidade do difusor de ar (valores codificados)

A **equação 1** reporta o valor do  $K_{La}$  em função das variáveis codificadas obtida para a região onde os experimentos foram realizados.

$$K_{La} = 0,134727 + 0,05295X_1 + 0,04429X_2 + 0,0535X_1 \cdot X_2 \quad (1)$$

A **Tabela 3** apresenta os valores de  $K_{La}$  em função das variáveis estudadas. O maior valor obtido foi de  $0,300 \cdot s^{-1}$ , quando se utilizou vazão de  $0,7 \text{ L} \cdot \text{min}^{-1}$  e difusor de  $62 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$ . Por outro lado, o menor valor obtido foi de  $0,059 \cdot s^{-1}$  com a vazão de  $0,3 \text{ L} \cdot \text{min}^{-1}$  nesse mesmo difusor.

**Tabela 3:** Valores de  $K_{La}$  para o método exponencial em função das variáveis estudadas

Experimento	Variáveis		Variáveis codificadas		$K_{La}$
	Vazão ( $\text{L} \cdot \text{min}^{-1}$ )	Dens. Difusor ( $\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$ )	$X_1$	$X_2$	
1	0,3	0	-1	-1	0,073
2	0,7	0	+1	-1	0,100
3	0,3	62,0	-1	+1	0,059
4	0,7	62,0	+1	+1	0,300
5	0,2	24,0	-1,414	0	0,072
6	0,8	24,0	+1,414	0	0,182
7	0,5	0	0	-1,414	0,099
8	0,5	62,0	0	+1,414	0,218
9	0,5	24,0	0	0	0,120
10	0,5	24,0	0	0	0,120
11	0,5	24,0	0	0	0,139

Um sistema biológico com aeração por difusão de ar em escala piloto, que faz o pós tratamento de efluentes, gerado a partir de uma indústria de embalagens, foi utilizado para determinar  $k_L a$ . Para estes experimentos utilizou-se de vazões de ar de  $1,76 \text{ L}\cdot\text{s}^{-1}$ ,  $2,28 \text{ L}\cdot\text{s}^{-1}$  e  $4,15 \text{ L}\cdot\text{s}^{-1}$  para determinação de  $K_L a$  para água limpa e de  $1,79 \text{ L}\cdot\text{s}^{-1}$  e  $3,48 \text{ L}\cdot\text{s}^{-1}$  para efluente. Também foram monitorados durante a aeração o tamanho de bolha de ar, utilizando-se de difusor sintético (SARGIORATO *et al.*, 2004).

Quando comparado com os valores obtidos, nota-se que estes são suficientemente maiores para as condições experimentais nas quais foram realizados nossos experimentos.

### 3 CONCLUSÃO

- a) A formação de caminhos preferenciais através do difusor provocou decréscimo do  $K_L a$ ;
- b) A superfície de resposta foi validada e mostrou que o  $k_L a$  aumentou com o aumento da densidade do difusor e da vazão de ar, não se obtendo uma região de máximo na faixa a qual o planejamento experimental foi disposto.

### 4 REFERÊNCIAS

APHA; AWWA & WPCF. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. American Public Health Association, 20<sup>th</sup>, 2000, 1 cd-rom.

GOUVEIA, T.; LEE, C. Y.; TAMASHIRO, W. M. S. C.; AUGUSTO, E. F. P.; BONOMI, A. Modelagem da cinética de morte por cisalhamento no cultivo de *Hibridoma* em reator CSTR com asperção de ar em profundidade. In: Simpósio Nacional de Fermentações, XVI, 2003, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis-SC, **anais**, cd-rom.

RAMALHO, R. S., Tratamiento de Aguas Residuales. Editorial Reverté., Barcelona, 1993.

SARGIORATO, A.; MEZZOMO, N.; TATSCH, N. O.; SIEBERT, R.; HEMKEMEIER, M.; KOETZ, P. R., Determinação do coeficiente global de transferência de oxigênio  $K_L a$  para água limpa em aerador por difusão de bolha grossa e fina, In: Congresso Regional de Iniciação Científica e Tecnologia em Engenharia, XIX, 2004, Universidade Federal do Paraná, Curitiba-PR, **anais**, cd-rom.

VON SPERLING, M., Princípios do tratamento biológico de águas residuárias: princípios básicos do tratamento de efluentes. Ed. da UFMG: Belo Horizonte, v. 2, 1996.

VON SPERLING, M., Princípio do tratamento biológico de águas residuárias: lodos ativados. Ed. da UFMG: Belo Horizonte, v. 4, 1997.