

INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO CIÊNCIA E TECNOLOGIA CATARINENSE –  
CAMPUS CONCÓRDIA

**ESTUDO DA INFLUÊNCIA DA TAXA DE CRESCIMENTO  
DE CÉLULAS NO PROCESSO DE FERMENTAÇÃO  
ALCOÓLICA EM BATELADA**

ACADÊMICA: ALESSANDRA NITSCHKE – [alessandranitschke@yahoo.com.br](mailto:alessandranitschke@yahoo.com.br)  
PROFESSOR ORIENTADOR: GILMAR DE OLIVEIRA VELOSO – [gilmar.veloso@ifc-  
concordia.edu.br](mailto:gilmar.veloso@ifc-concordia.edu.br)

# ESTUDO DA INFLUÊNCIA DA TAXA DE CRESCIMENTO DE CÉLULAS NO PROCESSO DE FERMENTAÇÃO ALCOÓLICA EM BATELADA

Alessandra Nitschke<sup>1</sup>; Gilmar de Oliveira Veloso<sup>2</sup>

## RESUMO

Com o aumento gradativo da temperatura a cada ano, cada vez mais as preocupações se voltam para as questões ambientais. A adoção de combustíveis renováveis, como o etanol é uma das alternativas que pode colaborar no complexo processo de desaquecimento do planeta. No Brasil a fermentação alcoólica em batelada alimentada é o processo mais utilizado para a produção de etanol. Nesse sentido a modelagem matemática pode contribuir para o desenvolvimento desse importante setor da indústria brasileira, otimizando os processos de produção. Este trabalho tem como objetivo principal verificar a influência de alguns parâmetros cinéticos necessários ao modelo e aplicativo desenvolvido pelos autores servindo para verificar e melhorar um modelo existente, visando com isto, aumentar a precisão do mesmo, tornando-o confiável e de grande utilidade prática. O modelo matemático utilizado leva em consideração os processos reais da fermentação, tempo de processamento, concentrações iniciais de levedura, de substrato e produto, é formado por equações diferenciais ordinárias, onde o sistema formado por estas é resolvido pelo método de Runge Kutta de 4ª ordem. Para as simulações foi utilizado o modelo cinético de Aiba, que leva em consideração a inibição pelo produto. Este modelo não leva em consideração os efeitos de inibição e limitação pelo produto. Os dados experimentais foram obtidos da literatura. Desta forma, busca-se entender qual a influência que cada um dos parâmetros analisados exerce no processo. Pelos resultados obtidos observa-se que o modelo e aplicativo desenvolvido simula satisfatoriamente o processo de fermentação alcoólica em batelada e, portanto, pode ser considerado “confiável”.

**Palavras-chave:** simulação numérica, modelo matemático, fermentação alcoólica, ajuste de curvas, etanol.

## 1 INTRODUÇÃO

Nos últimos anos tem-se dado, em todo mundo, uma atenção especial à produção de biocombustíveis, sendo o etanol produzido a partir da fermentação alcoólica de mosto derivado de cana-de-açúcar a principal forma de produção do Brasil. Em função da grande importância da produção atual de etanol no mundo, muitos estudos se voltaram para a modelagem, simulação e otimização do processo de fermentação alcoólica.

---

<sup>1</sup> Acadêmica do Instituto Federal Catarinense, Concórdia. E-mail: alessandranitschke@yahoo.com.br

<sup>2</sup> Professor Orientador. E-mail: gilmar.veloso@ifc-concordia.edu.br

A modelagem matemática dos processos fermentativos é uma ferramenta importante para otimizar a projeção e operação do processo de fermentação em biorreatores. Este trabalho tem como objetivo principal verificar a influência de alguns parâmetros cinéticos necessários ao modelo e aplicativo desenvolvido pelos autores servindo para verificar e melhorar um modelo existente, visando com isto, aumentar a precisão do mesmo, tornando-o confiável e de grande utilidade prática.

## 2 METODOLOGIA

A metodologia utilizada neste trabalho envolveu simulações numéricas onde o aplicativo desenvolvido, a partir de um chute inicial dos parâmetros cinéticos  $\mu_m$  (taxa específica de crescimento celular máximo - fase exponencial de crescimento) e  $K_s$  (constante de saturação) determina-se os valores de substrato ( $S$ ), produto ( $P$ ) e células ( $X$ ) que melhor se aproximam dos valores experimentais (figura 1).

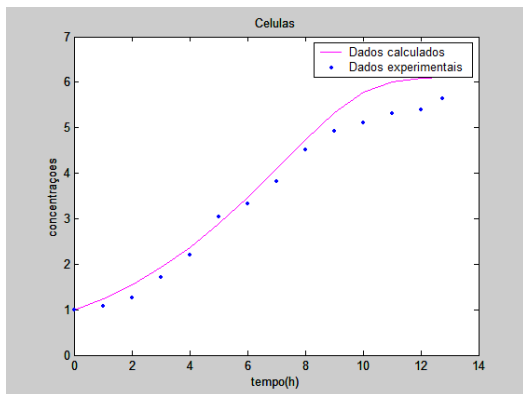
O modelo cinético utilizado nas simulações foi o proposto por Aiba que considera a inibição pelo produto, dado pela equação

$$\mu = \frac{\mu_m S}{S + K_s} e^{-K_P P}$$

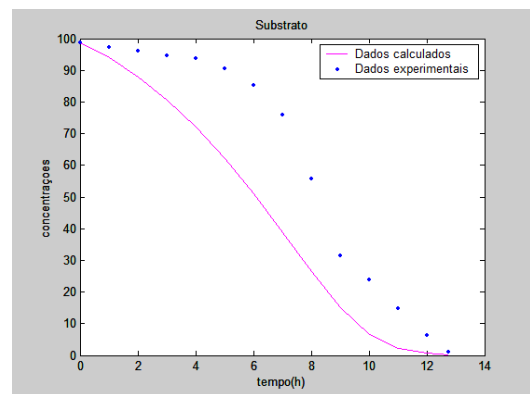
onde  $\mu_m$  é velocidade específica de crescimento celular máximo [ $h^{-1}$ ],  $K_s$  é a constante de saturação para o crescimento celular [ $h^{-1}$ ],  $S$  é a concentração de substrato no fermentador [ $g/l$ ],  $P$  é a concentração de produto (etanol) [ $g/l$ ], e  $K_P$  é a constante de inibição pelo produto [ $h^{-1}$ ]. Os resultados obtidos pelas simulações foram comparados com os resultados experimentais de Gonzales, 2004.

## 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

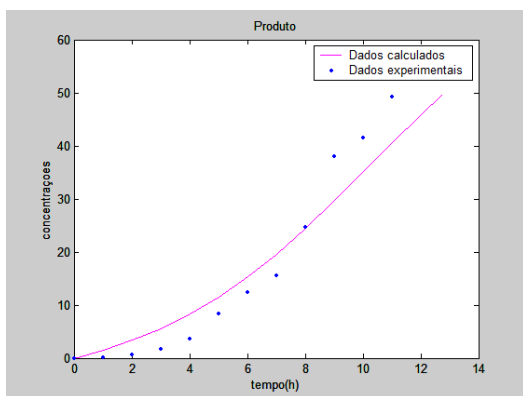
A partir dos resultados das simulações numéricas em comparação com os resultados experimentais, obteve-se o comportamento mostrado na figura 1.



(a)



(b)



(c)

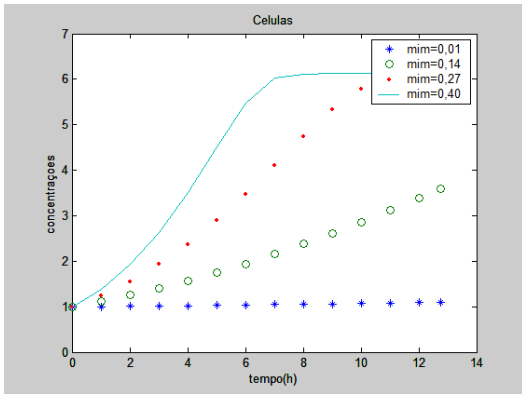
Figura 1: Modelagem cinética do experimento de batelada utilizando o modelo cinético de Aiba, com  $[S] = 100\text{g.L}^{-1}$ . (a) Comportamento do crescimento celular,  $R^2 = 0,9823$ ; (b) Comportamento do consumo de substrato,  $R^2 = 0,9823$ ; (c) Comportamento da formação do produto,  $R^2 = 0,9716$ .

Através dos resultados considerados mais próximos dos experimentais, obteve-se a estimativa dos melhores parâmetros cinéticos,  $\mu_m$  e  $K_s$ :

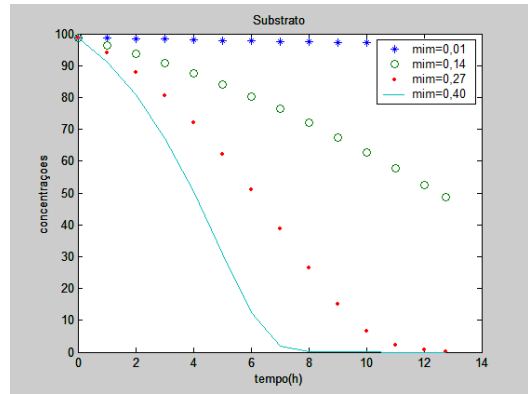
$$K_s = 17$$

$$\mu_m = 0,14$$

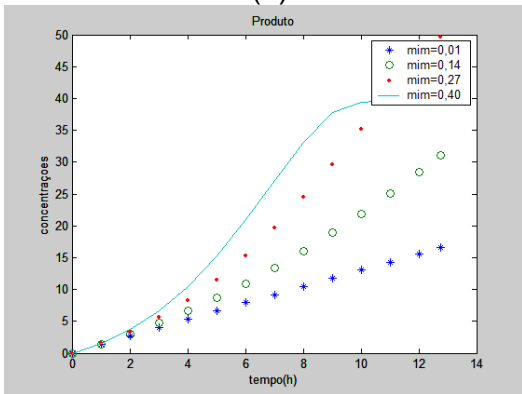
As figuras 2 e 3 mostram os resultados das simulações que investigam a influência dos parâmetros  $\mu_m$  e  $K_s$ . Pode-se observar que o parâmetro  $\mu_m$  exerce uma influência muito grande (figura 2) pois comportamento da taxa de alteração das leveduras ( $X$ ) nas primeira horas da fermentação apresenta um crescimento significativo, enquanto que a influência de  $K_s$  se mostra insignificante.



(a)

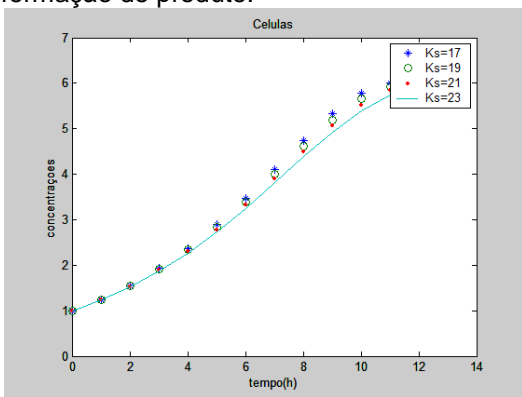


(b)

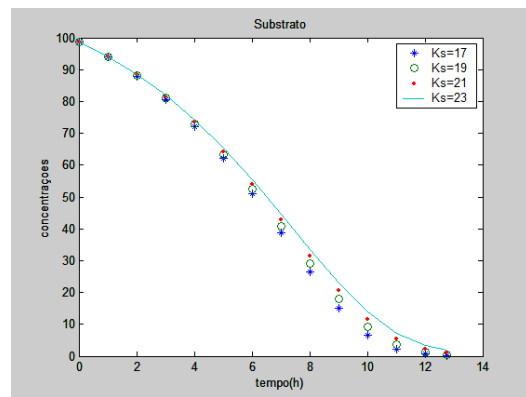


(c)

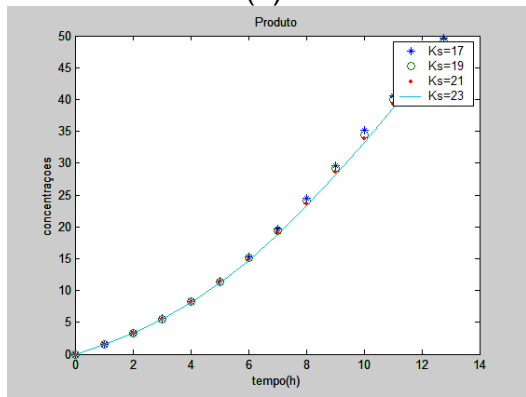
Figura 2: Comparação dos comportamentos das curvas, conforme variação do  $\mu_m$ . (a) Comportamento do crescimento celular; (b) Comportamento do consumo de substrato; (c) Comportamento da formação do produto.



(a)



(b)



(c)

Figura 3: Comportamento das curvas conforme a variação do  $K_S$ . (a) Comportamento do crescimento celular; (b) Comportamento do consumo de substrato; (c) Comportamento da formação do produto.

#### 4 CONCLUSÃO

Conclui-se que o aplicativo desenvolvido simula corretamente o processo de fermentação alcoólica em batelada simples, desde que os parâmetros utilizados sejam confiáveis.

Observa-se claramente pelos gráficos apresentados que a constante de saturação não interfere significativamente no processo, porém a taxa específica de crescimento máxima exerce uma influência considerável.

Uma proposta de continuação do trabalho é ampliar o número de parâmetros cinéticos e modificar o aplicativo para simular o processo em batelada alimentada.

#### REFERÊNCIAS

AQUARONE, Eugênio; LIMA, Urgel de Almeida; BORZANI, Walter; SCHMIDELL, Willibaldo. *Biotecnologia Industrial, Processos Fermentativos e Enzimáticos*. v. 3, 1.ed.-São Paulo: Editora Edgard Blücher Ltda, 2001.

BASSANEZI, Rodney Carlos. *Ensino-aprendizagem com modelagem matemática: uma nova estratégia*. 3.ed. – São Paulo: contexto, 2006.

BIROL, G., DORUKER, P., KARDAR, B. et al., 1998. *Mathematical description of ethanol fermentation by immobilised Saccharomyces cerevisiae*. *Process Biochemistry*, vol. 33, n 7, p. 763-771.

CUNHA, M. C. C. *Métodos Numéricos*. 2.ed. Campinas: Editora UNICAMP, 2003.

GONZALES, Tatiane Araújo. *Estudo fenomenológico do reator batelada alimentada utilizando dois processos fermentativos distintos*. Universidade Estadual de Campinas, 2004.