



MODELAGEM E SIMULAÇÃO DA ETAPA DE FERMENTAÇÃO NO SIMULADOR DE PROCESSOS EMSO

G. C. FONSECA¹, A. R. SECCHI², R. C. GIORDANO¹ e A. J. G. CRUZ¹

¹Universidade Federal de São Carlos, Departamento de Engenharia Química
e-mail: gabrieldcf@gmail.com
e-mail: ajgacruz@ufscar.br

²Universidade Federal do Rio de Janeiro, Programa de Engenharia Química, COPPE

RESUMO – O programa EMSO (*Environment for Modeling, Simulation, and Optimization*) é um simulador dinâmico e otimizador de processos orientado a equações. Sua origem foi resultado de um esforço colaborativo de desenvolvimento de um simulador de processos nacional no projeto ALSOC (Ambiente Livre para Simulação, Otimização e Controle de Processos), iniciado em 2003 na Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS). Este trabalho utilizou esta plataforma de simulação para implementar a etapa de fermentação alcoólica de uma usina. O modelo cinético utilizado para simular a etapa de fermentação em cada dorna foi validado a partir de dados industriais. A etapa de fermentação consiste de um conjunto de dornas que operam de forma semi-contínua. Ao final de cada fermentação, o vinho é centrifugado e bombeado para tanque pulmão. Parte do creme de levedura retorna para tanque de tratamento do inóculo (pré-fermentador) e posteriormente é enviado para outra dorna. O excesso de levedura é sangrado do processo.

PALAVRAS-CHAVE: etanol; simulador de processos; modelagem; *Saccharomyces cerevisiae*.

1. INTRODUÇÃO

O etanol ($\text{CH}_3\text{CH}_2\text{OH}$), também chamado álcool etílico, ou simplesmente álcool, pode ser produzido por meio de duas vias. Na primeira via, denominada química ou petroquímica, o etanol é obtido a partir da hidratação do eteno. Na segunda, a via bioquímica, o etanol (também denominado bioetanol) é obtido a partir da fermentação de biomassa agrícola por microrganismos. No Brasil, segundo maior produtor de etanol do mundo, a matéria-prima empregada é a cana-de-açúcar. O maior produtor mundial, os Estados Unidos, produz o etanol empregando o milho como matéria-prima (dados referentes ao ano de 2008). O bioetanol vem

ganhando espaço no cenário mundial como um dos principais combustíveis obtidos a partir de fontes renováveis de energia.

Embora no Brasil a produção de etanol corresponda a um processo clássico e estabelecido há ainda a necessidade de se implementar melhorias em diversos pontos do mesmo. Ganhos de produção podem ser obtidos na etapa de fermentação. Por esta razão encontram-se vários estudos sobre o assunto na literatura (Vasconcelos, 2006; Andrietta *et al.* 2003; Phisalaphong *et al.*, 2006; Borges, 2008). No sentido de aprimorar os processos existentes, principalmente no que tange a implementação de metodologias analíticas e



medidas em linha (*on-line*) de variáveis de processo, modificações estão sendo implementadas com o objetivo de tornar o processo mais automatizado.

As unidades produtoras de etanol buscam continuamente inserir melhorias em seus processos. Assim o diferencial entre elas está no processo produtivo que garante a competitividade no setor.

Dentre os tipos de processos fermentativos industriais utilizados pelas usinas brasileiras destaca-se a fermentação em “batelada” com reciclo de células (processo Melle-Boinot). O termo “batelada” é comumente utilizado no jargão das usinas para designar a operação da dorna de forma semi-contínua. (Amorim, 1996).

A simulação dinâmica apresenta evidente oportunidade de aplicação imediata dentro das usinas. Por ser uma ferramenta de diagnóstico e aperfeiçoamento de processos pode ser utilizada para permitir que engenheiros e operadores tenham uma previsão do comportamento da produção sem a necessidade de intervenção direta na planta, com economia de tempo e recursos financeiros.

O presente trabalho teve como objetivo implementar no simulador EMSO a etapa de fermentação alcoólica. O modelo usado na fermentação foi validado a partir de dados de uma usina do interior do estado de São Paulo.

2. PRODUÇÃO DE ETANOL EM DORNAS SEMI-CONTÍNUAS

Para a produção de etanol, a maioria das usinas emprega o processo em “batelada”

com recirculação e tratamento de levedura (processo Melle-Boinot).

O processo em “batelada” é mais seguro quando se tem problemas de manutenção e de assepsia, pois ao final de cada batelada a dorna é esvaziada e realiza-se a assepsia, antes de iniciar nova fermentação.

2.1. Preparo da Matéria-Prima

A cana de açúcar é a matéria-prima para produção de álcool no Brasil. Ela é composta por aproximadamente 12–17% de açúcares (90% sacarose e 10% glicose e frutose, em massa) e 68–72% de água. A extração média em uma usina de açúcar e álcool é de aproximadamente 95% de açúcar da cana e o resíduo sólido gerado na extração é o bagaço (Wheals *et al.*, 1999).

Em destilarias isoladas o caldo obtido na extração é aquecido até aproximadamente 110°C, com o objetivo de reduzir a carga microbiana do mesmo. Em seguida o caldo segue para decantação. Pode-se concentrá-lo para o preparo do mosto e início da fermentação. Já em destilarias anexas à fábrica de açúcar, utiliza-se mel proveniente da centrifugação do açúcar (mel final), que contém teor de açúcar acima de 65 °Bx (grau brix) para preparo do mosto, juntamente com o caldo (denominado caldo misto) e água. O brix do mosto é ajustado para a faixa entre 19 a 23°Bx. O mosto preparado para fermentação contém minerais e nutrientes orgânicos, suficientes para se iniciar a fermentação (Wheals *et al.*, 1999). A Figura 1 ilustra um fluxograma típico do processo de produção de etanol.

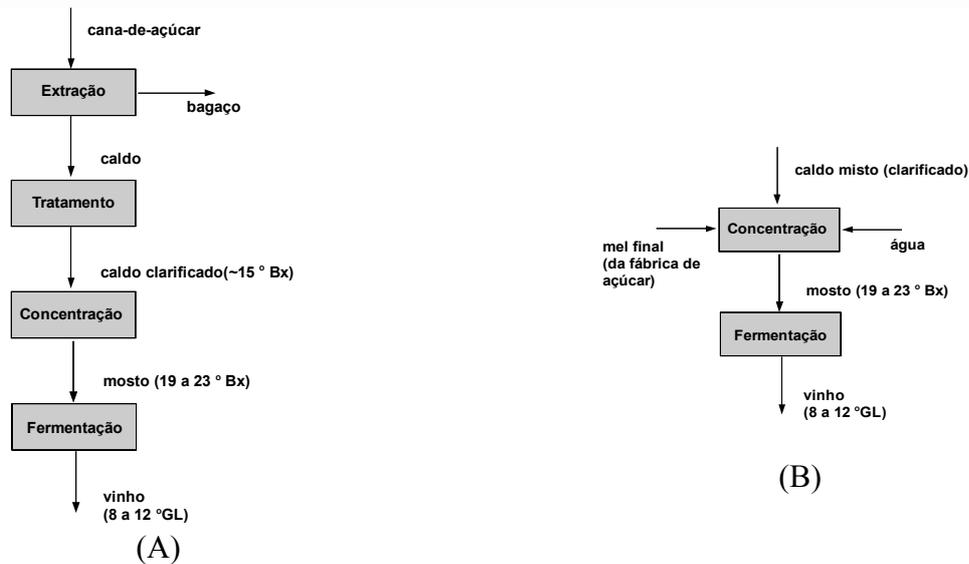


Figura 1 – Fluxograma típico do processo de produção de etanol: (A) destilarias isoladas; (B) destilarias anexas.

No Brasil, 70% das usinas utilizam processo em “batelada”. O processo contínuo também é usado em algumas usinas. Ambos os processos utilizam centrifugação para separar o creme de levedura do vinho e reutilização deste creme no processo. O creme, geralmente é tratado com ácido sulfúrico para reduzir a contaminação por bactéria e correção do pH (Wheals *et al.*, 1999).

A utilização de altas concentrações do inóculo (8-17% v/v em base úmida) e temperaturas na faixa de 33 a 35°C contribuem para redução do crescimento celular e aumento da produção de álcool (10 a 12 °GL), gerando rendimento de etanol da ordem de 90 a 92%. O curto tempo de fermentação (6 – 8 h) tem importância dentro do processo fermentativo, pois é uma das variáveis que afeta diretamente a produtividade em etanol e ainda permite que a levedura seja reciclada até três vezes por dia, durante ca. 200 dias de safra. A contaminação bacteriana pode ocorrer, mas ela é controlada pelo uso de antibióticos. Algumas usinas possuem avançadas tecnologias em controle e automação (Wheals *et al.*, 1999).

A unidade de fermentação simulada é composta por seis dornas de 400 m³ com volume útil de trabalho de 360 m³ e três pré-fermentadores de 60 m³. O processo de fermentação realizado é do tipo semi-contínuo, com reutilização de fermento (processo Melle-Boinot). O sistema de centrifugação do vinho levedurado é composto por duas centrífugas industriais com vazão de operação de 90 m³/h. As dornas de fermentação possuem sistemas de resfriamento que empregam trocadores de calor a placas.

As fermentações são monitoradas e controladas por meio de sistema de automação, onde são monitorados parâmetros como a temperatura, o volume da dorna, a vazão de alimentação de mosto, sua temperatura, pH e brix. Por meio do sistema de aquisição de dados é possível programar o enchimento da dorna pela manipulação da vazão de mosto. A Figura 2 apresenta um esquema ilustrativo do sistema de fermentação em escala industrial existente na usina.

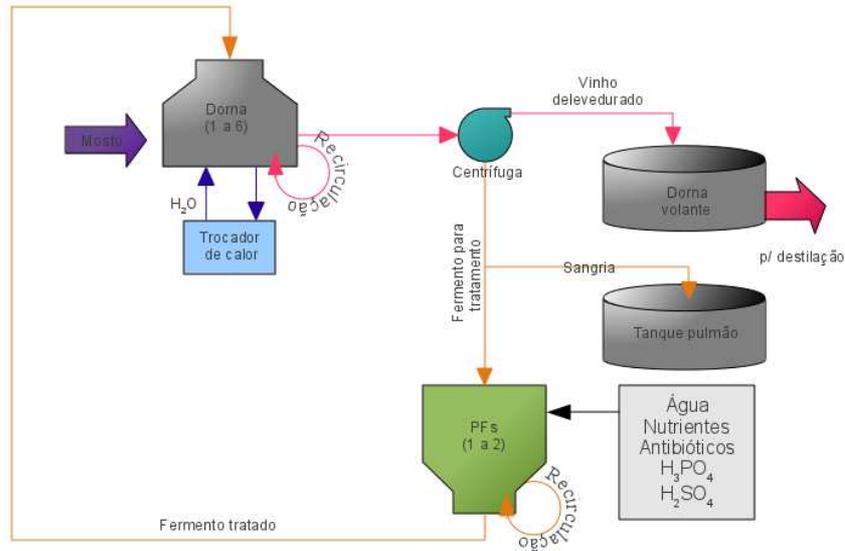


Figura 2 – Diagrama ilustrativo do sistema de fermentação em escala industrial.

Na validação do modelo cinético (dados não apresentados neste trabalho) foram utilizados dados nos quais os inóculos apresentaram volumes em torno de 1/6 do volume útil da dorna (360 m^3), sendo os mesmos preparados com a concentração de lêvedo variando entre 2 a 15% (v/v, em base úmida) e tendo pH entre 2,2 a 2,8, com o objetivo de minimizar a infecção do processo. O controle de temperatura da dorna mantinha a mesma em valores inferiores a 35°C , com “set-point” ajustado em 32°C .

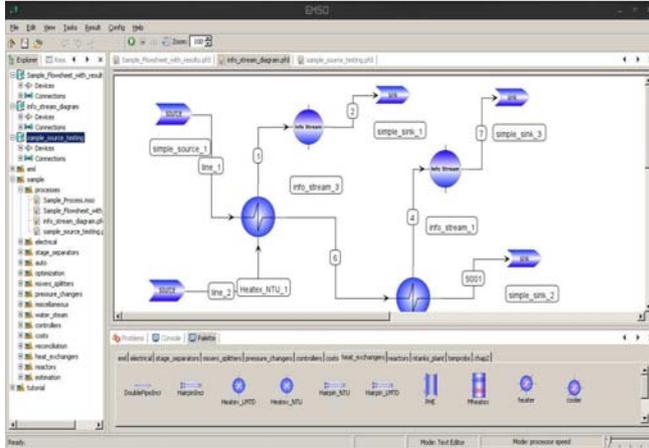
Após a adição do inóculo, as fermentações têm início com a alimentação do mosto (fase semi-contínua) até o enchimento da dorna. O processo prossegue em batelada até o completo consumo dos açúcares fermentescíveis.

Ao longo das fermentações foram obtidas informações relativas à concentração celular (em % v/v e em % m/m), concentração de ART no mosto de alimentação (% m/m), teor de etanol ($^\circ\text{GL}$) e vazão de alimentação do mosto (m^3/h).

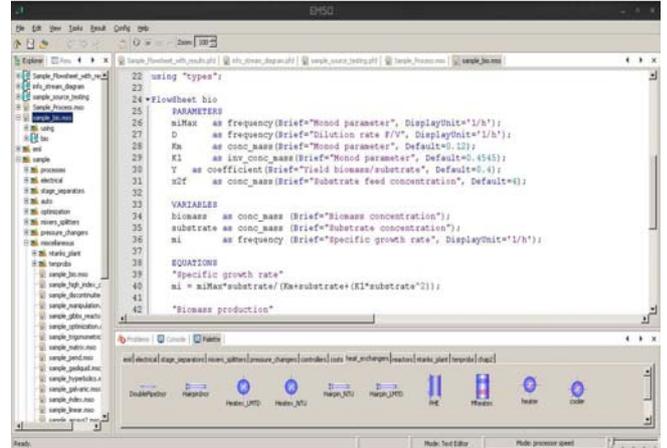
3. O SIMULADOR EMSO

O programa EMSO (*Environment for Modeling, Simulation, and Optimization*) é um simulador e otimizador de processos, estacionário e dinâmico. O *software* foi desenvolvido e vem sendo mantido pelo Projeto ALSOC (Ambiente Livre para Simulação, Otimização e Controle de Processos) (ALSOC, 2010).

O EMSO utiliza uma linguagem de modelagem orientada a objetos (denominados *devices*), o que permite a organização estruturada das unidades que compõe o processo. A plataforma do EMSO possui uma interface gráfica na qual o usuário pode modelar e simular processos complexos pela simples seleção e conexão de modelos de cada equipamento (Rodrigues *et al.*, 2008). A Figura 3A apresenta um exemplo dessa interface gráfica. A Figura 3B apresenta exemplo de um *flowsheet* (especificações do processo implementadas em modo texto) no EMSO.



(A)



(B)

Figura 3 – (A) Interface gráfica do EMSO; (B) Flowsheet implementado no EMSO.

4. MODELAGEM MATEMÁTICA

A etapa de fermentação consistiu de um conjunto de dornas operando de forma semi-contínua. Ao final da fermentação, o vinho contido na dorna é centrifugado e bombeado para tanque pulmão. Parte do creme de levedura retorna para tanque de tratamento do inóculo e o excedente é “sangrado” do processo.

Foi implementado no EMSO modelo para a etapa de fermentação, uma vez que este não estava disponível em sua biblioteca de modelos. O modelo do processo implementado no simulador EMSO baseou-se nos conceitos de balanço de massa e energia para a etapa de fermentação. Foram

realizados balanços de massa para a célula, substrato (ART) e produto (etanol), além do volume (balanço de massa total). As equações 1, 2, 3 e 4 representam estes balanços. Na equação 4 considerou-se densidades constantes e iguais. O modelo cinético utilizado neste trabalho foi o de Tosetto (2002), equação 5.

Para o balanço de energia assumiu-se hipótese de que a dorna opera no estado estacionário (temperatura constante) durante a fermentação (equação 6). Desprezaram-se as perdas de calor para o ambiente.

A vazão de água no trocador de calor foi calculada com base na equação 7.

$$\frac{dC_X}{dt} = (\mu - k_d) \cdot C_X + \frac{F_{CL}}{V} \cdot (C_{X,CL} - C_X) - \frac{F_{mosto}}{V} \cdot C_X \quad (1)$$

$$\frac{dC_S}{dt} = -\frac{\mu \cdot C_X}{Y_{X/S}} + \frac{F_{CL}}{V} \cdot (C_{S,CL} - C_S) + \frac{F_{mosto}}{V} \cdot (C_{S,mosto} - C_S) \quad (2)$$

$$\frac{dC_P}{dt} = \frac{\mu \cdot C_X}{Y_{X/P}} + \frac{F_{CL}}{V} \cdot (C_{P,CL} - C_P) + \frac{F_{mosto}}{V} \cdot (C_{P,mosto} - C_P) \quad (3)$$

$$\rho \cdot \frac{dV}{dt} = \rho_{CL} \cdot F_{CL} + \rho_{mosto} \cdot F_{mosto} - \rho \cdot F_{desc \text{ arg a}} \quad (4)$$



$$\mu = \frac{\mu_{\max} \cdot C_S}{k_S + C_S + \frac{C_S^2}{k_i}} \cdot \left(1 - \frac{C_P}{C_P^*}\right)^n \quad (5)$$

$$\dot{Q}_{\text{removido}} = \frac{\mu \cdot C_X \cdot V}{Y_H} \quad (6)$$

$$F_{\text{agua}} = \frac{\dot{Q}_{\text{removido}}}{\rho_{\text{agua}} \cdot c_{p,\text{agua}} \cdot (T_{\text{saida,agua}} - T_{\text{entrada,agua}})} \quad (7)$$

A Tabela 1 apresenta os valores dos parâmetros empregados na simulação.

Tabela 1 – Valores dos parâmetros empregados na simulação.

Parâmetro	Valor
μ_{\max} (h^{-1})	0,34
k_d (h^{-1})	0,0083
k_s ($\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$)	12,0
k_i ($\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$)	32,0
$Y_{X/S}$ (-)	0,05
$Y_{X/P}$ (-)	0,12
C_P^* ($\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$)	100,0
n (-)	1
Y_H ($\text{g} \cdot \text{kcal}^{-1}$)	0,42
ρ ($\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$)	1000
$c_{p,\text{mosto}}$ ($\text{kcal} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot ^\circ\text{C}^{-1}$)	0,89
$c_{p,\text{CL}}$ ($\text{kcal} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot ^\circ\text{C}^{-1}$)	1,0
$c_{p,\text{agua}}$ ($\text{kcal} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot ^\circ\text{C}^{-1}$)	1,0
$c_{p,\text{vinho}}$ ($\text{kcal} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot ^\circ\text{C}^{-1}$)	1,0

A Tabela 2 apresenta as condições operacionais utilizadas nas fermentações. A centrífuga foi implementada utilizando um balanço de massa total e um balanço de massa para célula (demais variáveis foram

mantidas constantes). Os valores utilizados na centrífuga são apresentados na Tabela 3.

Tabela 2 – Condições operacionais empregadas na simulação.

Variável	Valor
$V_{\text{inóculo}}$ (m^3)	50
$t_{\text{inoculação}}$ (h)	1
$V_{\text{final dorna}}$ (m^3)	360
$C_{S,\text{mosto}}$ ($\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$)	154,96
F_{mosto} ($\text{m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$)	155
$t_{\text{alim mosto}}$ (h)	2
t_{batelada} (h)	5,5
F_{descarga} ($\text{m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$)	179
$t_{\text{limpeza dorna}}$ (h)	1
T_{mosto} ($^\circ\text{C}$)	32
T_{CL} ($^\circ\text{C}$)	34
T_{ferment} ($^\circ\text{C}$)	34

Tabela 3 – Condições operacionais empregadas na centrífuga.

Variável	Valor
F_{VB} ($\text{m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$)	179
$C_{X,\text{VC}}$ ($\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$)	1,5
$C_{X,\text{CL}}$ ($\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$)	180



Após a centrifugação, foi definido que 33% do creme de levedura seria sangrado.

este atingisse a concentração inicial desejada para inoculação da dorna (em novo ciclo).

No pré-fermentador realizou-se a diluição do creme de levedura de forma que

O *flowsheet* para a simulação no EMSO é apresentado na Figura 4.

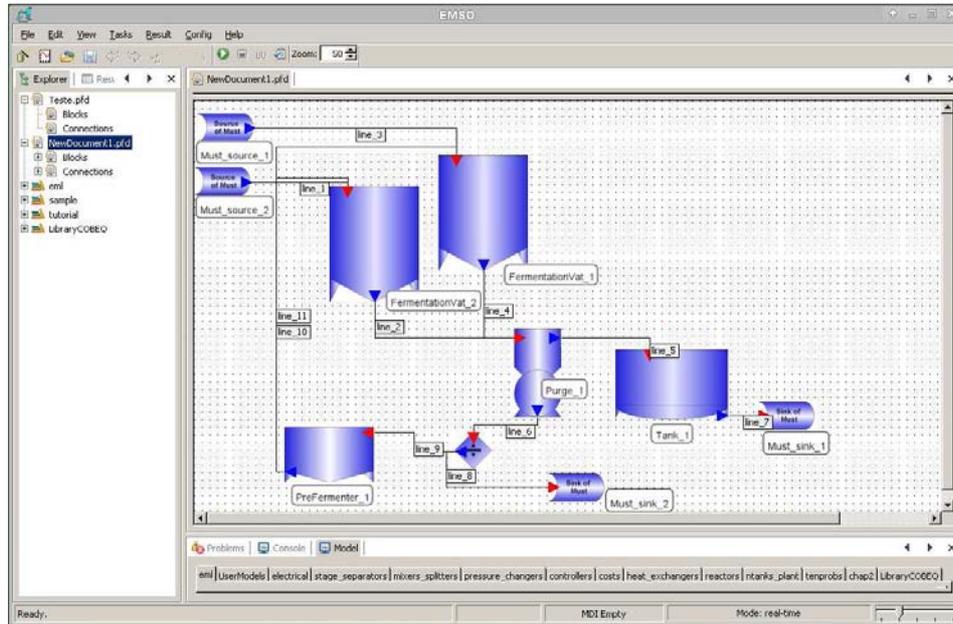


Figura 4 – Fluxograma da etapa de fermentação implementado na interface gráfica do EMSO.

5. RESULTADOS

A Figura 5 apresenta os valores experimentais e simulados pelo EMSO das concentrações de célula, substrato (ART) e etanol durante uma fermentação (dorna 1). Durante a etapa de enchimento (2 horas) a diluição é maior que a velocidade de crescimento, o que causa uma diminuição na concentração de células no interior da dorna. O mesmo acontece para a concentração de etanol. Nesta fase ocorre o acúmulo de substrato no interior da dorna. Durante a etapa em batelada (6 horas) observa-se pequeno crescimento celular, o aumento da concentração de etanol e a diminuição da concentração do substrato. Observa-se na Figura 5 um bom ajuste do modelo aos dados experimentais.

O Quadro 1 ilustra a seqüência de etapas nas dornas 1, 2 e no pré-fermentador empregadas na simulação.

Quadro 1 – Seqüência de etapas das dornas 1, 2 e do pré-fermentador.

Tempo	Dorna 1	Dorna 2	Pré-ferm.
1	Ench. mosto	Batelada	CIP
2	Ench. mosto	Descarga	Enchimento
3	Batelada	CIP	Tratamento
4	Batelada	Ench. levedura	Descarga
5	Batelada	Ench. mosto	CIP
6	Descarga	Ench. mosto	Enchimento
7	CIP	Batelada	Tratamento
8	Ench. levedura	Batelada	Descarga

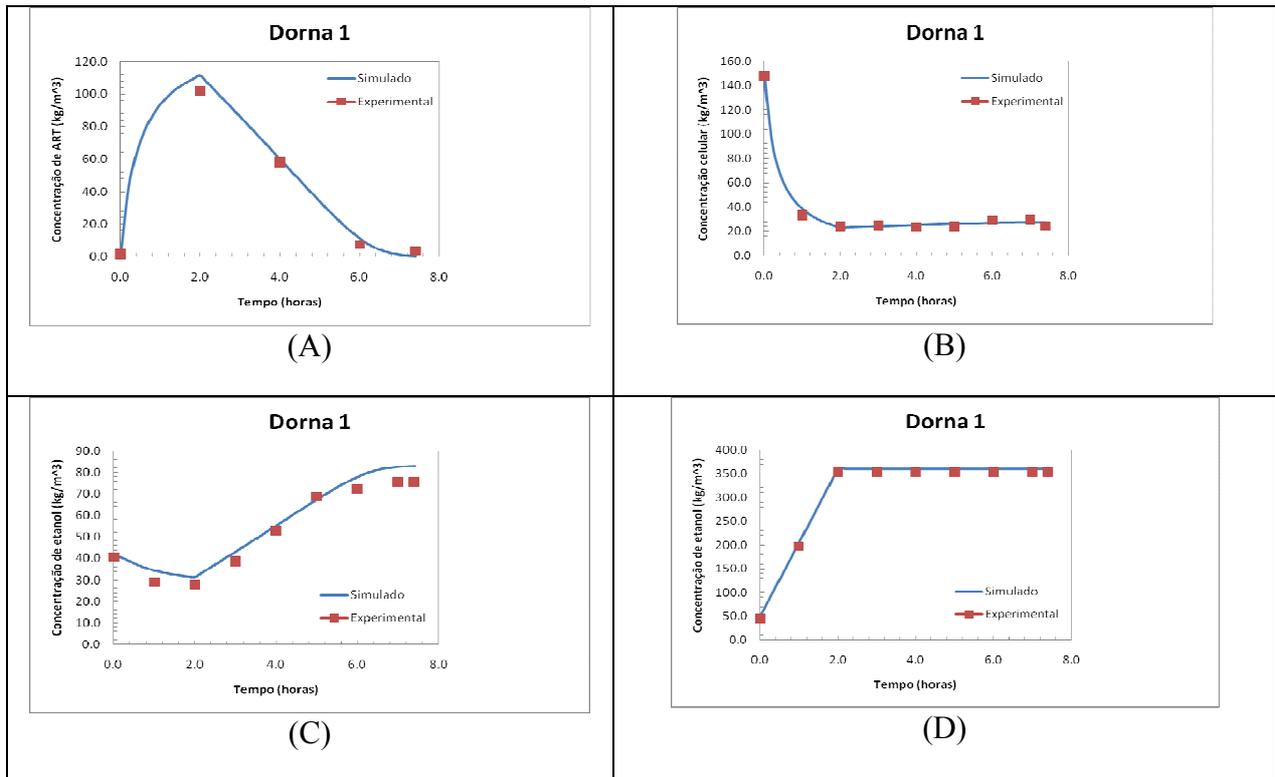


Figura 5 – Valores experimentais e simulados no programa EMSO na dorna 1: (A) concentração de substrato (ART); (B) concentração celular; (C) concentração de etanol; (D) volume da dorna.

A Figura 6 ilustra a concentração de substrato (ART) ao longo dos ciclos nas dornas 1 e 2.

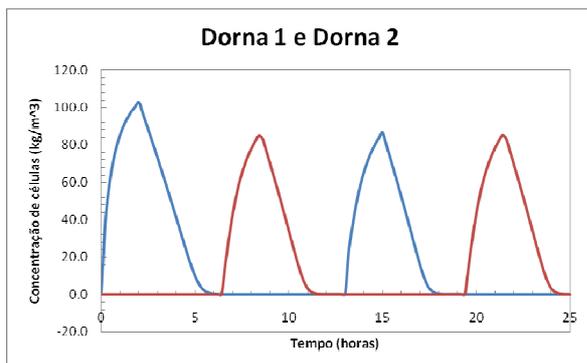


Figura 6 – Concentração de substrato (ART) nas dornas 1 (linha azul) e 2 (linha vermelha) ao longo de ciclos de fermentação.

A Figura 7 mostra a variação do volume das dornas 1 e 2 ao longo dos ciclos de fermentação.

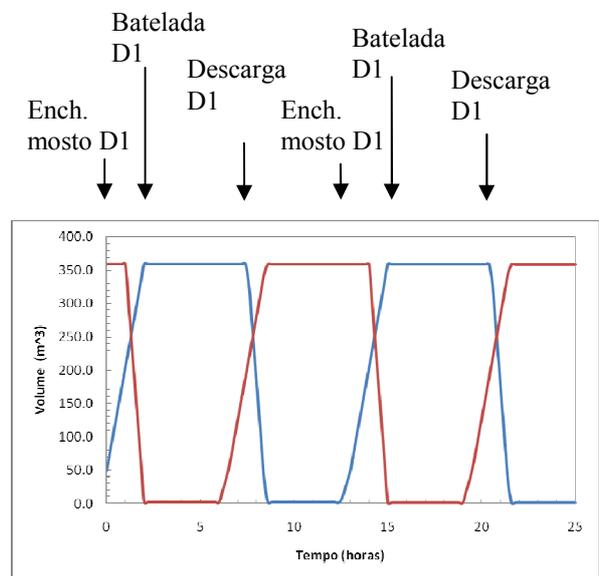


Figura 7 – Volume das dornas 1 (linha azul) e 2 (linha vermelha) ao longo de ciclos de fermentação.

A Figura 8 ilustra o perfil da concentração de etanol nas dornas 1 e 2.

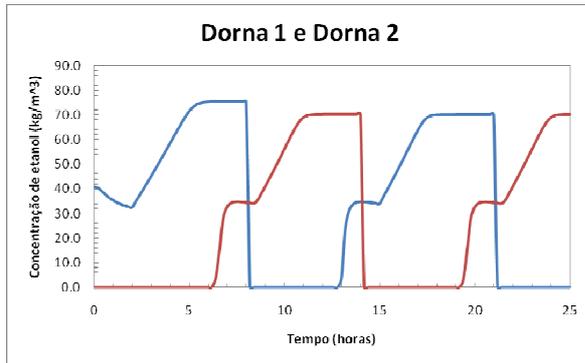


Figura 8 – Concentração de etanol nas dornas 1 (linha azul) e 2 (linha vermelha) ao longo de ciclos de fermentação.

A Figura 9 ilustra a quantidade de calor removida durante os ciclos de fermentação nas dornas 1 e 2.

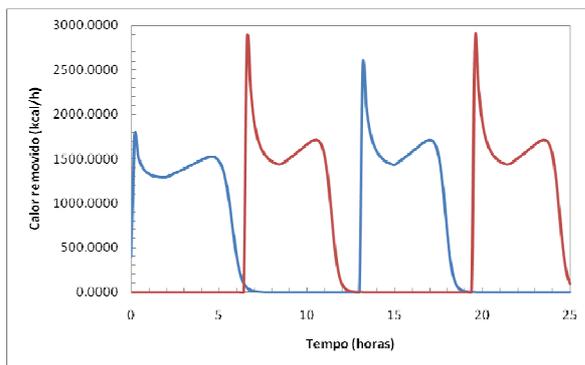


Figura 9 – Calor removido ao longo dos ciclos de fermentação (dornas 1 e 2).

A Tabela 4 apresenta o resultado das vazões de vinho centrifugado (F_{VC}) e de creme de levedura (F_{CL}) obtidos na simulação.

Tabela 4 – Condições operacionais empregadas na centrífuga.

Variável	Valor
F_{VC} ($m^3 \cdot h^{-1}$)	157,3
F_{CL} ($m^3 \cdot h^{-1}$)	21,7

6. CONCLUSÕES

Foi implementado no simulador de processos EMSO a etapa de fermentação em batelada para produção de etanol.

As simulações realizadas forneceram dados condizentes com os obtidos no processo.

O simulador de processos EMSO mostrou-se uma ferramenta valiosa e de grande potencial para simular processos dinâmicos.

7. NOMENCLATURA

C_p	Concentração de etanol na dorna ($kg \cdot m^{-3}$)
$C_{p,CL}$	Concentração de etanol no creme de levedura ($kg \cdot m^{-3}$)
$C_{p,mosto}$	Concentração de etanol no mosto ($kg \cdot m^{-3}$)
C_p^*	Concentração de etanol onde cessa o crescimento celular ($kg \cdot m^{-3}$)
$c_{p, \text{água}}$	Capacidade calorífica da água ($kcal \cdot kg^{-1} \cdot ^\circ C^{-1}$)
$c_{p, CL}$	Capacidade calorífica do creme de levedura ($kcal \cdot kg^{-1} \cdot ^\circ C^{-1}$)
$c_{p, mosto}$	Capacidade calorífica do mosto ($kcal \cdot kg^{-1} \cdot ^\circ C^{-1}$)
$c_{p, \text{vinho}}$	Capacidade específica do vinho ($kcal \cdot kg^{-1} \cdot ^\circ C^{-1}$)
C_S	Concentração de substrato na dorna ($kg \cdot m^{-3}$)
$C_{S,CL}$	Concentração de substrato no creme de levedura ($kg \cdot m^{-3}$)
$C_{S, mosto}$	Concentração de substrato no mosto ($kg \cdot m^{-3}$)
C_X	Concentração de células na dorna ($kg \cdot m^{-3}$)
$C_{X,CL}$	Concentração de células no creme de levedura ($kg \cdot m^{-3}$)
$C_{X,VC}$	Concentração de células no vinho centrifugado ($kg \cdot m^{-3}$)
F_{CL}	Vazão volumétrica de creme de levedura ($m^3 \cdot h$)
$F_{descarga}$	Vazão de descarga do vinho bruto da dorna (final fermentação) ($m^3 \cdot h^{-1}$)



F_{mosto}	Vazão volumétrica de mosto ($\text{m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$)
F_{VB}	Vazão volumétrica de vinho bruto ($\text{m}^3 \cdot \text{h}$)
F_{VC}	Vazão volumétrica de vinho centrifugado ($\text{m}^3 \cdot \text{h}$)
k_d	Constante de morte celular (h^{-1})
k_s	Constante de saturação ($\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$)
k_i	Constante de inibição ($\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$)
n	Potência do termo de inibição (-)
$\dot{Q}_{\text{removido}}$	Calor removido da dorna ($\text{kcal} \cdot \text{h}^{-1}$)
t	tempo (h)
T_{CL}	Temperatura do creme de levedura ($^{\circ}\text{C}$)
T_{ferment}	Temperatura da fermentação ($^{\circ}\text{C}$)
T_{mosto}	Temperatura do mosto alimentado ($^{\circ}\text{C}$)
$T_{\text{saída, água}}$	Temperatura de saída da água ($^{\circ}\text{C}$)
$T_{\text{entrada, água}}$	Temperatura de entrada da água ($^{\circ}\text{C}$)
V	Volume na dorna (m^3)
Y_H	Calor liberado por célula produzida ($\text{kg} \cdot \text{kcal}^{-1}$)
$Y_{X/S}$	Coefficiente de rendimento célula-substrato (-)
$Y_{X/P}$	Coefficiente de rendimento célula-produto (-)
ρ_{CL}	densidade do creme de levedura ($\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$)
ρ_{mosto}	densidade do mosto ($\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$)
μ	Velocidade específica de crescimento celular (h^{-1})
μ_{max}	Velocidade específica máxima de crescimento celular (h^{-1})

Agradecimentos

Os autores agradecem ao PPG-EQ/UFSCar, à FAPESP (Programa Bioen) e, em especial, ao Prof. Rafael P. Soares (UFRGS).

8. REFERÊNCIA

ALSOC, <http://www.enq.ufrgs.br/trac/alsoc/wiki/EMSO>, acessado em 20 de abril de 2010, 2010.

AMORIM, H. V. *Fermentação Alcoólica*. Ciência e Tecnologia. 448p, Fermentec, Piracicaba-SP, 1996.

ANDRIETTA, S. R.; FERREIRA, E.; ANDRIETTA, M. G. *Avaliação da influência velocidade de alimentação sobre o rendimento e produtividade dos processos de produção de etanol operando em batelada alimentada*. In: Anais do Simpósio Nacional de Fermentação, 2003. 7p.

BORGES, P.C.S. *Otimização dinâmica da fermentação alcoólica no processo em batelada alimentada*. Universidade Federal de Uberlândia, 2008 (Dissertação).

PHISALAPHONG, M.; SRIRATTANA, N.; TANTHAPANICHAKOON, W. *Mathematical modeling to investigate temperature effect kinetic parameters of ethanol fermentation*. Biochemical Engineering Journal, v.28 (1): 36-43, 2006.

RODRIGUES, R.; SOARES, R. P.; SECCHI, A. R. *Coleção de 10 problemas numéricos típicos em engenharia química resolvidos com o simulador EMSO*. In: Anais do XVII Congresso Brasileiro de Engenharia Química (COBEQ), Recife, 2008.

SHULER, M. L. e KARGI, F. *Bioprocess Engineering. Basic Concepts*. New Jersey: Prentice Hall PTR, 2002.

TOSETTO, G. M. *Influência da matéria-prima no comportamento cinético de levedura na produção de etanol*. Universidade Estadual de Campinas, 82f., 2002. (Dissertação)

VASCONCELOS, J. N. Flashes de destilaria. Revista STAB, V. 25 (2): 34-38, 2006.

WHEALS, A. E.; BASSO, L. C.; AMORIM, H. V.; ALVES, D. M. G.; Fuel ethanol after 25 years. Elsevier Science Ltd, 1999.