



USO DA LINGUAGEM VBA-EXCEL PARA DESENVOLVIMENTO DE UM PROGRAMA DE SIMULAÇÃO E AJUSTE DE PARÂMETROS EM MODELOS DE PROCESSOS FERMENTATIVOS ALCOÓLICOS

J.P. WOJEICCHOWSKI¹, M.A. PRAXEDES²

^{1,2} Universidade Estadual de Ponta Grossa, Departamento de Engenharia de Alimentos,
Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos

E-mail¹: josepw@hotmail.com

RESUMO: Em função da disponibilidade e facilidade de uso, o Excel está presente nas rotinas de estudantes, profissionais, empresas e universidades. O seu uso para programação apresenta vantagens e diversas possibilidades de aplicação. Com a crescente demanda da aplicação industrial para a fermentação alcoólica, a simulação se faz necessária para a obtenção de respostas rápidas. O objetivo deste trabalho foi desenvolver um programa de simulação e ajuste dos parâmetros de modelos em processos fermentativos alcoólicos, utilizando a linguagem VBA do Excel. O usuário faz a seleção de modelos de crescimento de microrganismo e formação do produto, seguida da inserção de parâmetros vinculados a esses modelos. A simulação é feita por meio de integrações de equações diferenciais ordinárias, método de Runge- Kutta de 4^a ordem, obtendo como respostas, as concentrações de microrganismo, produto e substrato ao longo do tempo. Por meio da ferramenta Solver, é realizado o ajuste dos parâmetros para minimizar o erro entre os dados teóricos e experimentais. O programa mostrou-se eficaz para a simulação proposta além de permitir o tratamento das respostas e comparação entre os modelos utilizados.

PALAVRAS-CHAVE: VBA; EXCEL; *Saccharomyces cerevisiae*; Runge-Kutta.

1. INTRODUÇÃO

O uso do Excel para simulação vem ganhando popularidade em função da simplicidade da linguagem, fácil visualização e manipulação de dados, possibilidade de resolver uma gama enorme de problemas, além de ser um programa geralmente disponível por empresas e estudantes (Botchkarev, 2015).

De modo a facilitar o processo lógico da simulação e reduzir as operações computacionais, uma alternativa é utilizar os códigos em VBA dentro do ambiente Excel, em detrimento a linguagens como Fortran, como visto no trabalho de (Firdous e Devlin, 2014).

Essa linguagem é flexível, sendo possível a utilização para soluções de sistemas lineares, equações diferenciais etc. Também permite que os usuários utilizem os códigos sem a necessidade de pacotes numéricos de programação, além de ser versátil (Changbing, 2010, Norton e Tiwari, 2013).

Verhoef et al. (2008) utilizaram o VBA-Excel para o desenvolvimento de um software para simular uma unidade de pervaporação, associado ao Aspen Plus. Brocks (2015) desenvolveu um programa para auxiliar o aprendizado dos conceitos farmacocinéticos, resultando numa aceitação e avaliação positiva por partes dos alunos/usuários. Firdous e Devlin (2014) criaram um programa em VBA-Excel para a caracterização do ferro granular em estudos de tratabilidade. Golman e Julklang (2014) desenvolveram um programa nessa mesma linguagem para simular um processo de *spray-dryer* com recuperação de calor. Desse modo, percebe-se que os campos de aplicação da programação em VBA-Excel são enormes, passando por diversas áreas, inclusive a de alimentos e bebidas.

Com o aumento do interesse da aplicação industrial para a fermentação alcoólica, vários modelos têm sido propostos para avaliar o crescimento microbiano, formação do produto e consumo do substrato (Dodić et al., 2012). Modelos matemáticos capazes de predizerem com precisão os fenômenos físicos são essenciais em diversos campos da engenharia e ciência (Huang e Wang, 2010). Segundo Mendes et al. (2011), um modelo busca a elaboração de um conjunto de relações entre as variáveis capaz de representar adequadamente um processo, de forma a predizer comportamentos de saída a partir de dados de entrada.

Na produção de etanol, o processo biotecnológico se dá a partir do consumo de açúcar pela ação das leveduras. A fermentação ocorre por uma série de reações bioquímicas que dependem basicamente de três fatores: Presença de açúcar; microrganismos capazes de transformar açúcar em etanol e gás carbônico; ausência de oxigênio (Pinto et al., 2013). As leveduras são os microrganismos responsáveis por essas transformações, sendo que a *Saccharomyces cerevisiae* é geralmente utilizada (Barbosa et al., 2010).

Alimentos fermentados são de grande importância mundial, pois suas propriedades sensoriais e nutricionais são significativamente melhoradas quando comparado às suas respectivas matérias-primas (Santos et al., 2012). A fermentação alcoólica tem sido um importante processo biotecnológico para a produção de álcool combustível e bebidas (Lin et al., 2010). No Brasil, o etanol é produzido em larga escala a partir de cana-de-açúcar por meio de fermentação dos açúcares e destilação (Palacios-Bereche et al., 2014).

O objetivo desse trabalho foi desenvolver um programa de simulação e ajuste de parâmetros dos modelos de fermentação alcoólica, usando a linguagem de programação VBA no software Excel.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

2.1 Linguagem Empregada

O programa foi escrito na linguagem VBA utilizando o software Excel 2007 da Microsoft. Para que o usuário possa utilizá-lo, é necessária uma versão do software desse mesmo ano ou

mais recente. Além disso, ele contém macros, assim, as configurações de segurança do Excel devem ser ajustadas de forma a habilitá-los.

2.1 Modelos Cinéticos e Equações Utilizadas

Durante a fermentação alcoólica, os microrganismos (X) consomem o substrato (S), multiplicam-se e formam o produto (P). Isso se deve a uma habilidade da *Saccharomyces cerevisiae* em converter açúcares em etanol e gás carbônico, dada as condições do meio (Dashko et al., 2014). O rendimento da fermentação em etanol é em torno de 92-93%, sendo que a diferença está relacionada a outros metabólitos como: glicerol e succinato, além do próprio crescimento da biomassa. No final da fermentação a concentração de etanol permanece entre 7-11% e os resíduos de açúcar são inferiores a 0,1 % (Amorim et al., 2011).

Desse modo, é importante que se determine as concentrações de X, S e P, em função do tempo. As equações diferenciais ordinárias abaixo foram solucionadas pelo método de Integração de Runge-Kutta de 4ª ordem, o que permite um monitoramento do processo fermentativo em função do tempo.

$$\frac{dX}{dt} = \mu_x \cdot X \quad (1)$$

$$\frac{dS}{dt} = - \left(\frac{1}{Y_{X/S}} \cdot \mu_x \cdot X + \frac{1}{Y_{P/S}} \cdot \mu_p \cdot X \right) \quad (2)$$

$$\frac{dP}{dt} = \mu_p \cdot X \quad (3)$$

Onde:

X (g/L)	Concentração do microrganismo
S (g/L)	Concentração do Substrato
P (g/L)	Concentração do Produto
μ_x (h^{-1})	Taxa de crescimento celular
μ_p (h^{-1})	Taxa de formação do produto
$Y_{X/S}$ ($g \cdot g^{-1}$)	Rendimento da célula em relação ao substrato
$Y_{X/P}$ ($g \cdot g^{-1}$)	Rendimento da célula em relação ao produto
t (h)	Tempo

Os modelos inseridos no programa para o cálculo da velocidade específica de crescimento do microrganismo (μ_x) e formação do produto (μ_p) são os seguintes: Tabela 1.

Tabela 1 - Modelos de crescimento de microrganismo e formação de produto, disponíveis no programa

Modelos utilizados		
$\mu_x = \frac{\mu_{max} \cdot S}{K_s + S}$	(4)	Monod (1942)
$\mu_x = \frac{\mu_{xa} \cdot S}{K_s + S + \frac{S^2}{K_i}}$	(5)	(Andrews (1968)
$\mu_x = \frac{\mu_{xa} \cdot S}{K_s + S + \frac{S^2}{K_i}} \cdot e^{-K_p \cdot P}$	(6)	“Padrãox” Bonomi et al. (1981), Aboutboul et al. (1985)
$\mu_p = \frac{\mu_{pa} \cdot S}{K'_s + S} \cdot \frac{K'_p}{K'_p + P}$	(7)	Aiba e Shoda (1969)
$\mu_p = \frac{\mu_{pa} \cdot S}{K'_s + S} \cdot e^{-K'_p \cdot P}$	(8)	Aiba et al. (1968)
$\mu_p = \frac{\mu_{pa} \cdot S}{K'_s + S + \frac{S^2}{K'_i}} \cdot e^{-K'_p \cdot P}$	(9)	“Padrãop” BONOMI et.al (1981), Aboutboul et al. (1985)

Onde:

$\mu_{xa} (h^{-1})$	Taxa específica máxima de crescimento celular
$\mu_{pa} (h^{-1})$	Taxa específica máxima de formação de produto
$K_s (g \cdot L^{-1})$	Constante de saturação para o crescimento celular
$K_i (g \cdot L^{-1})$	Constante de inibição do crescimento celular pelo substrato
$K_p (g \cdot L^{-1})$	Constante de inibição pelo produto
$K'_p (g \cdot L^{-1})$	Constante de inibição da formação pelo produto

$K_i'(g \cdot L^{-1})$	Constante de inibição de formação de produto pelo substrato
$K_s'(g \cdot L^{-1})$	Concentração na qual a velocidade específica de formação de produto é a metade da máxima

O programa desenvolvido neste trabalho integra as Equações 1, 2 e 3, utilizando várias combinações das velocidades específicas de crescimento do microrganismo (equações 4 ao 6) e de formação do produto (equações 7 ao 9), para fornecer a evolução no tempo das concentrações de microrganismo, substrato e produto formado.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Interface com o usuário

O programa desenvolvido funciona numa sequência de códigos escritos que dependem de dados de entrada fornecidos pelo usuário. Um esquema geral ilustrado de sua estrutura e funcionamento é mostrado na Figura 1 A-E. De forma resumida, o arquivo escrito em VBA-Excel (item A) ao ser aberto permite que o usuário insira escolha o conjunto de modelos (item B) e insira os parâmetros (item C). Uma sequência de códigos faz a integração das equações diferenciais para obter os valores de X, S e P ao longo do tempo, resultando na tabela resposta (item D). O usuário deve fornecer os dados experimentais para que seja possível fazer ajustes nos parâmetros dos modelos, por meio do Solver (item E).

Após terminada essa etapa, o usuário pode simular novas condições iniciais, a partir dos parâmetros ajustados e fixos.

3.2 Descrição Detalhada da Construção e Funcionamento do Programa

O fluxograma descrito na Figura 2, traz a sequência de execução das rotinas escritas para a execução do programa desenvolvido.

No Excel, após a execução das rotinas “Zerar” e “Planilha2”, um “UserForm - Form Modelo” por meio do qual são escolhidos os modelos de crescimento do microrganismo e do produto, presentes em uma “ListBox” é aberto. Ao selecionar um modelo da lista, o comando “Nome_Listbox.Value” armazena essa variável que será usada no decorrer da lógica. O usuário deve entrar com os valores nos campos em branco que são “TextBoxes”, do (“Form início”).

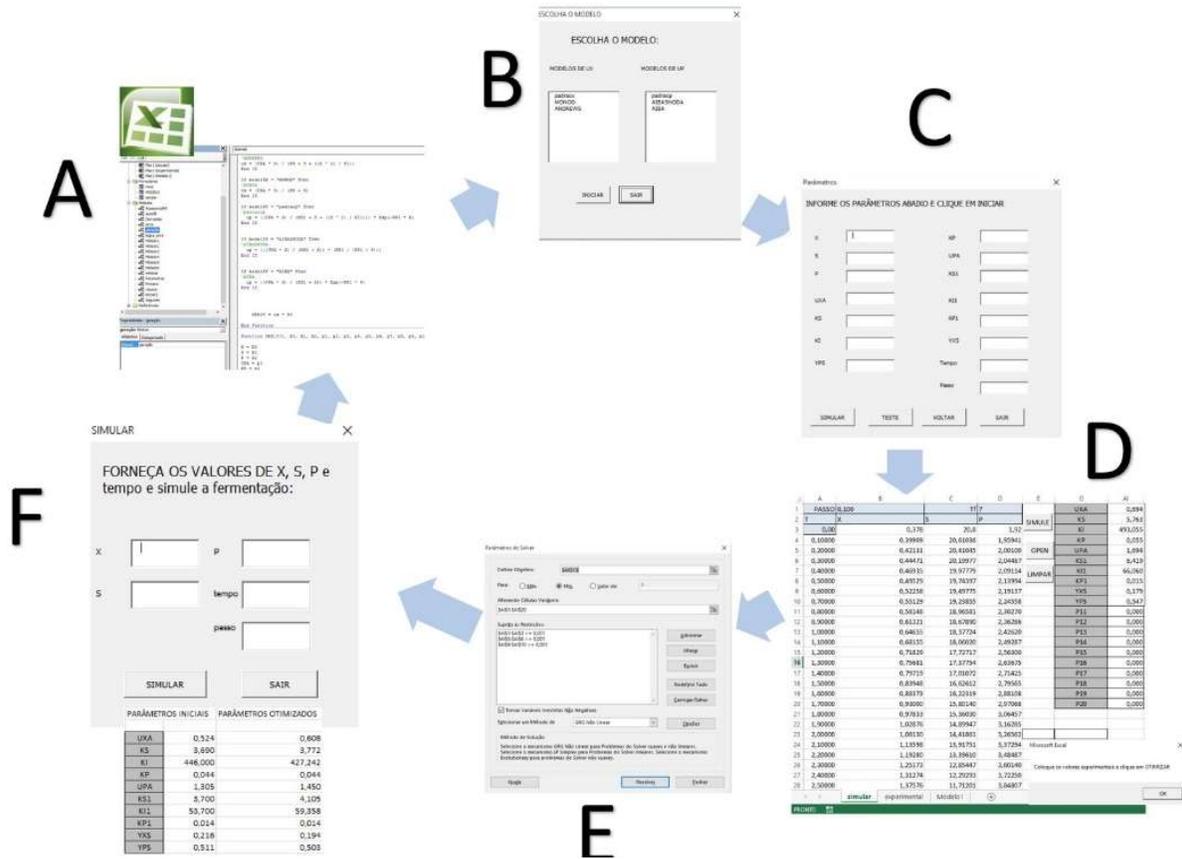


Figura 1 – Diagrama ilustrativo de funcionamento do programa.

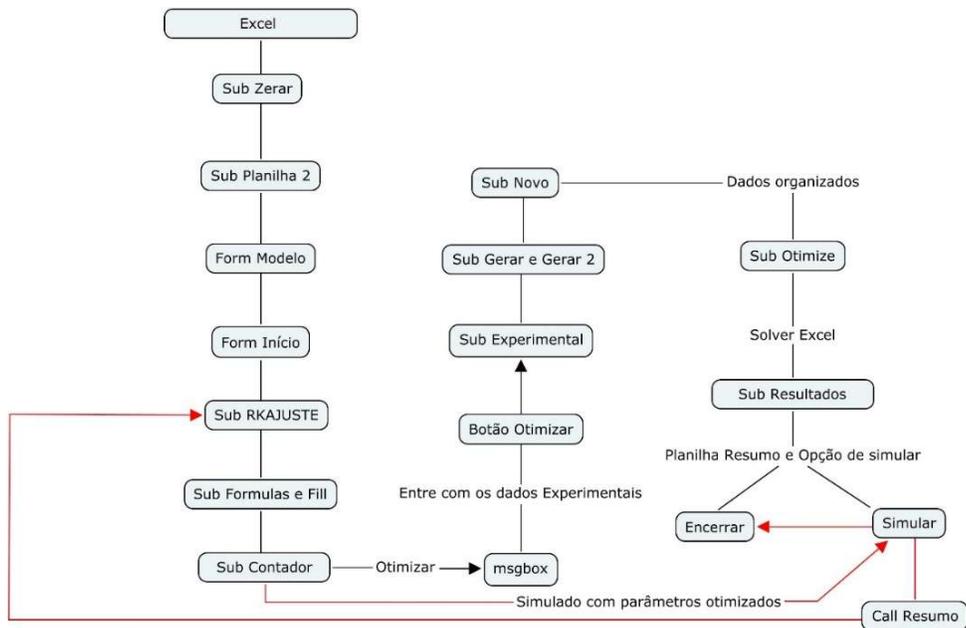


Figura 2- Diagrama de funcionamento do programa desenvolvido.

Há modelos que não necessitam de todos os parâmetros presentes na janela, portanto, nessa situação, os campos são bloqueados, pelo comando *Nome_da_Textbox.Enabled=False*, caso os modelos selecionados não contemplem suas variáveis nas fórmulas. Dois fatores importantes e que independente do modelo selecionado devem ser informados, são o tempo (tempo total da fermentação) e o passo (intervalo de tempo em que os cálculos serão executados).

Na sequência, a rotina “*Sub RK-AJUSTE*” monta a estrutura do método de integração de Runge- Kutta de 4ª ordem, para a determinação das concentrações de X, S e P. As funções inseridas nas células são estendidas para as demais células pela rotina “*Sub Fill*”, por meio de um “*Loop*”, estrutura de repetição, do tipo (“*Do...while*”).

A rotina “*Sub formulas*” permite que os dados calculados na integração sejam copiados para outra parte da planilha, facilitando a visualização do usuário. Os valores são vinculados com as fórmulas, para que, quando ocorra uma alteração, automaticamente sejam atualizados. Para este comando de copiar e colar é importante que nomes genéricos para as células sejam utilizados, de modo que a operação possa ocorrer de forma automática. Isso é possível dimensionando uma matriz (tabela) que ocupa determinadas linhas e colunas dentro de uma planilha.

Ao chamar uma célula dessa matriz, utiliza-se o comando “*nome_da_matriz.cells(i,j)*” em que “*i*” e “*j*” correspondem respectivamente a linha e coluna, e o resultado desse código será uma célula dentro da tabela criada.

A rotina “*Sub contador*” preenche os valores dos tempos na coluna à esquerda das colunas de X, S e P, o resultado é mostrado na Figura 3.

PASSO	1,000	Tf 13		
T	X	S	P	
0,00	1,120	227,000	2,020	
0,10	1,84957	221,49161	2,89416	
0,20	2,93533	213,12683	4,30823	
0,30	4,40159	201,43979	6,48243	
0,40	6,14081	186,78254	9,59931	
0,50	7,91379	170,47337	13,70242	
0,60	9,46891	154,18719	18,64251	
0,70	10,67304	139,11411	24,13491	
0,80	11,52855	125,68473	29,87873	
0,90	12,10749	113,82701	35,64082	
1,00	12,49126	103,28719	41,27448	

Figura 3 - Resposta de uma simulação mostrando as concentrações de X, S P em cada tempo.

A lógica também se dá por um loop que depende do Tf (tempo final) e o Passo que se dá o processo, ambos determinados pelo usuário. Para isso foi dimensionada uma tabela com espaço de células de 10.000 posições em 1 coluna. O loop se dá enquanto “ $i < ((tempo\ final/passos) + 1)$ ”, em que “*i*” é um contador. Enquanto essa condição for válida, a célula com linha igual a “*i*” e coluna 1, será selecionada e o valor nela escrito será o valor da célula anterior acrescido do passo.

O usuário é notificado por meio de uma caixa de mensagem (“Msgbox”) sobre a necessidade de inserção dos dados experimentais para que seja calculado o erro, função objetiva para ajuste de parâmetros pelo “Solver” do Excel. Com os dados inseridos, ocorre o ajuste pela execução das rotinas (“Experimental”, “gerar”, “gerar 2”, “novo” e “resultados”).

Foi desenvolvida uma lógica para calcular o erro (“Sub gerar” e “Sub gerar2”), que se dá pela Equação 10. Para sua determinação comparam-se os dados experimentais da variável e os seus correspondentes simulados, para o mesmo instante de tempo (t). Como o número de pontos dos dados simulados e experimentais não necessariamente é o mesmo, desenvolveu-se um código para colocar os dados numa mesma dimensão, com funcionamento semelhante à da função “ProcV” do Excel. A macro procura o tempo “t-experimental” numa matriz de dados simulados e retorna o valor da variável resposta desejada para aquele tempo. Isso é feito para todos os pontos e todas as variáveis resposta, até que se tenham todos o mesmo número de dados simulados e experimentais.

$$\text{Erro} = \sum_{i=0}^n \left[\left| \frac{X^i_{\text{teórico}} - X^i_{\text{experimental}}}{X^i_{\text{teórico}} + X^i_{\text{experimental}}} \right| + \left| \frac{S^i_{\text{teórico}} - S^i_{\text{experimental}}}{S^i_{\text{teórico}} + S^i_{\text{experimental}}} \right| + \left| \frac{P^i_{\text{teórico}} - P^i_{\text{experimental}}}{P^i_{\text{teórico}} + P^i_{\text{experimental}}} \right| \right] \quad (10)$$

O ajuste é feito pelo uso do “Solver” que altera o valor inicial das variáveis inseridas pelo usuário no início do programa, por meio de iterações, visando atingir o especificado na função objetivo. Para tanto, é necessário definir uma função objetivo, que no caso foi a soma do erro, visando sua máxima diminuição. As iterações seguem até que se encontre a melhor solução, dadas as condições e restrições iniciais. Por fim, tem-se os parâmetros ajustados, que no conjunto, fazem com que os valores de X, S e P simulados, se aproximem ao máximo dos dados experimentais inseridos

A “Sub resultados” permite que os parâmetros ajustados, bem como os dados simulados, sejam passados para uma nova planilha, chamada “resultados”, na qual fica facilitada a visualização dos resultados por parte do usuário. O usuário tem a possibilidade de realizar simulações com os parâmetros ajustados, usando um outro “UserForm” que pode ser acessado na mesma planilha. A cada simulação os dados não são sobrescritos, o que permite a rápida comparação das respostas a partir de condições diferentes de simulação.

3.3 Estudo de Caso para Avaliação do Programa

Baseado em dados experimentais (Tabela 2) de processo de produção de etanol a partir de hidrolisado de mandioca, Bonomi e Schimidell (2001), ajustaram-se os parâmetros a partir dos valores iniciais apresentados neste trabalho.

Tabela 2 - Dados experimentais do Ensaio 1.

Ensaio 1			
t(h)	X(g/L)	S(g/L)	P(g/L)
0,0	0,378	20,800	1,920

1,0	0,652	17,600	2,540
2,0	1,170	14,800	3,540
3,0	1,540	10,300	4,650
4,0	1,840	5,800	5,960
5,0	2,360	2,340	6,640
6,0	2,200	0,512	7,190
7,0	2,230	0,088	6,740

O uso das equações de Monod (4) e o PadrãoP (9), para previsão do comportamento do crescimento da biomassa e a formação do produto, respectivamente, resultaram no menor valor de erro total, conforme a Tabela 3.

Tabela 3 – Erro total nas 9 combinações de modelos para a simulação da fermentação.

MODELOS	μ_p		
	Padrão p	Aiba	Aiba&shoda
Padrão x	0,481	0,615	3,55
Monod	0,470	0,633	1,485
Andrews	0,675	0,636	3,549

Os parâmetros otimizados encontrados estão na Tabela 4, abaixo. Os valores ausentes (-) se devem em função da inexistência desses parâmetros no modelo estudado em questão.

Tabela 4 - Parâmetros iniciais e ajustados para o Ensaio 1.

Parâmetros	Valores ajustados	Valores iniciais
$\mu_{Xa}(h^{-1})$	0,706	0,524
$\mu_{Pa}(h^{-1})$	2,109	1,305
$K_S(g.L^{-1})$	10,767	3,69
$K'_S(g.L^{-1})$	9,709	3,70
$K_i(g.L^{-1})$	-	-

$K'_i(g \cdot L^{-1})$	85,773	53,7
$K_p(g \cdot L^{-1})$	-	-
$K'_p(g \cdot L^{-1})$	0,0160	0,0142
$Y_{X/S}(g \cdot g^{-1})$	0,222	0,216
$Y_{P/S}(g \cdot g^{-1})$	0,466	0,511

A Figura 4 mostra os dados simulados com os parâmetros da Tabela 4, portanto, antes do ajuste. Apesar das curvas simuladas apresentarem mesma tendência que a experimental, é notável o distanciamento entre as mesmas ficando clara a necessidade de um ajuste dos parâmetros.

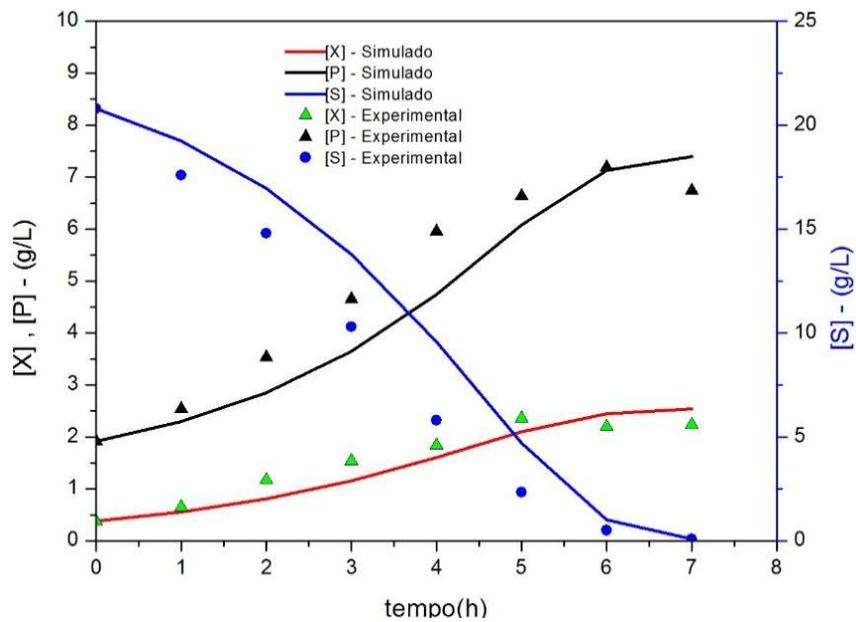


Figura 4 - Gráfico comparativo entre dados simulados e ajustados a partir do Ensaio 1.

A Figura 5 traz as curvas de X, S e P comparativas para os valores experimentais e ajustados. Nota-se uma grande proximidade entre ambos os pontos. A correlação entre os dados ajustados e experimentais foi alta, 0,98 para os dados do microrganismo, 1,0 para os dados do substrato e 0,99 para os dados do produto.

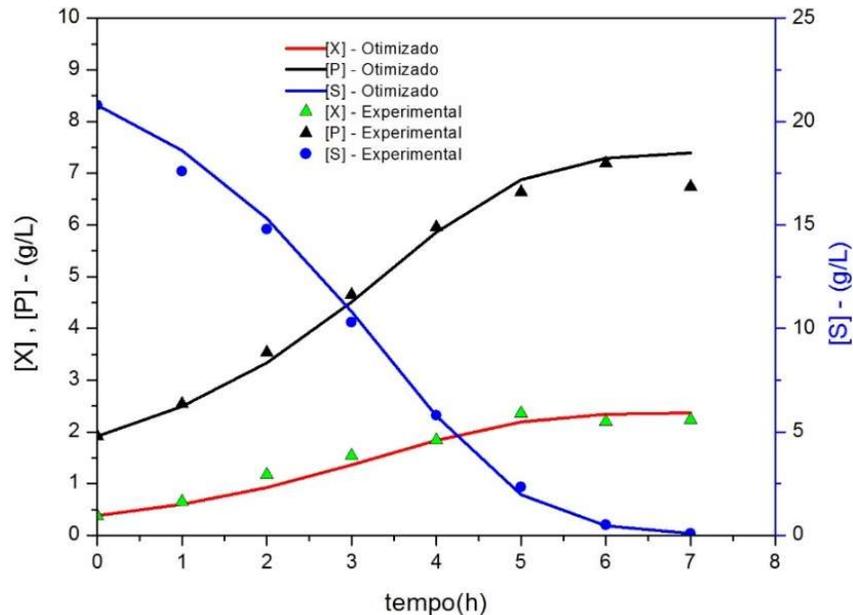


Figura 5 - Gráfico de X, S e P experimentais e ajustados.

5. CONCLUSÃO

Foi possível desenvolver o programa por meio da linguagem VBA- Excel e o mesmo mostrou-se eficaz e prático para a simulação de fermentação alcoólica. É possível o uso e comparação de modelos diferentes de velocidade específica de crescimento do microrganismo e formação do produto e comparação entre eles. As respostas ficam disponíveis na planilha do Excel, facilitando o tratamento posterior dos dados, como a elaboração de gráficos e tabelas comparativas. O estudo-exemplo proposto para avaliar o programa mostrou que os parâmetros ajustados pelo *Solver*, resultaram em um erro final menor, aproximando os dados teóricos dos experimentais. A combinação que propiciou o melhor ajuste foi entre os modelos de “Monod” e “Padrão p”, dentre as 9 realizadas, com um erro total de 0,470. Os dados experimentais e simulados apresentaram uma alta correlação entre si.

6. REFERÊNCIAS

ABOUTBOUL, H.; SCHIMIDELL, W.; BONOMI, A. Modelagem matemática da fermentação alcoólica de hidrolisado de mandioca. **Revista Politécnica**, Brasil, v. 81, p. p. 35-38, 1985.

AIBA, S.; SHODA, M. Reassessment of product inhibition in alcohol fermentation. **J. Ferment. Technol**, v. 47, p. p. 790-794, 1969.

AIBA, S.; SHODA, M.; NAGATANI, M. Kinetics of product formation in alcohol fermentation. **Biotechnology and Bioengineering**, v. 10, p. p. 845-864, Nov./Dez.1968.

Disponível em: < <http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/bit.260100610/abstract>>. Acesso em: 03 Out.2015.

AMORIM, H.; LOPES, M.; DE CASTRO OLIVEIRA, J.; BUCKERIDGE, M.; GOLDMAN, G. Scientific challenges of bioethanol production in Brazil. **Applied Microbiology and Biotechnology**, v. 91, n. 5, p. 1267-1275, Jun/Jul 2011. Disponível em: < <http://dx.doi.org/10.1007/s00253-011-3437-6>>. Acesso em: 04. Out. 2015.

ANDREWS, J. F. A mathematical model for the continuous culture of microorganisms utilizing inhibitory substrates. **Biotechnology and Bioengineering**, v. 10, n. 6, p. 707-723, Nov./Dez. 1968. Disponível em: < <http://dx.doi.org/10.1002/bit.260100602>>. Acesso em: 25 Out. 2015.

BARBOSA, A. D. S.; FLORENTINO, E. R.; FLORÊNCIO, I. M.; ARAÚJO, A. D. S. Utilização do Soro como Substrato para Produção de Aguardente: Estudo Cinético da Produção de Etanol **Revista Verde**, Moçoró, RN, v. 5, p. 7-36, Jan./Mar. 2010. Disponível em: < Utilização do Soro como Substrato para Produção de Aguardente: Estudo Cinético da Produção de Etanol>. Acesso em: 03 Out. 2015.

BONOMI, A.; SCHIMIDELL, W. Modelagem matemática e simulação de processos fermentativos. In: SCHIMIDELL, W.;LIMA, U. D. A., et al.**Biociencia Industrial - Engenharia Bioquímica**. 01 ed. São Paulo: Editora Edgard Blücher LTDA, 2001.

BOTCHKAREV, A. Assessing Excel VBA Suitability for Monte Carlo Simulation. **Spreadsheets in Education**, Australia, v. 8, n. 2, p. 1-30, Abr./Mai. 2015. Disponível em : <http://arxiv.org/ftp/arxiv/papers/1503/1503.08376.pdf>>. Acesso em: 10 Out. 2015.

BROCKS, D. R. uSIMPk: An Excel for Windows-based simulation program for instruction of basic pharmacokinetics principles to pharmacy students. **Computer Methods and Programs in Biomedicine**, v. 120, n. 3, p. 154-163, Jul./Ago. 2015. Disponível em: < <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0169260715000929>>. Acesso em: 10 Out. 2015.

CHANGBING, J. Integrating the Use of Spreadsheet Software and VBA in Inventory Simulation. **Journal of Software**, EUA, v. 5, n. 5, p. 498-505, Maio./Abr. 2010. Disponível em: < <http://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&db=iih&AN=52007223&lang=pt-br&site=ehost-live>>. Acesso em: 06 Jul 2015.

DASHKO, S.; ZHOU, N.; COMPAGNO, C.; PIŠKUR, J. Why, when, and how did yeast evolve alcoholic fermentation? **FEMS Yeast Research**, Reino Unido, v. 14, n. 6, p. 826-832, Set./Out. 2014. Disponível em: < <http://dx.doi.org/10.1111/1567-1364.12161>>. Acesso em: 04 Jul. 2015.

DODIĆ, J. M.; VUČUROVIĆ, D. G.; DODIĆ, S. N.; GRAHOVAC, J. A.; POPOV, S. D.; NEDELJKOVIĆ, N. M. Kinetic modelling of batch ethanol production from sugar beet raw juice. **Applied Energy**, v. 99, p. 192-197, Nov./Dez. 2012. Disponível em: < <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0306261912003649>>. Acesso em: 02 Jul. 2015.

FIRDOUS, R.; DEVLIN, J. F. BEARKIMPE-2: A VBA Excel program for characterizing granular iron in treatability studies. **Computers & Geosciences**, v. 63, p. 54-61, Fev./Mar. 2014. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0098300413002690>>. Acesso em: 10 Jul. 2015.

GOLMAN, B.; JULKLANG, W. Simulation of exhaust gas heat recovery from a spray dryer. **Applied Thermal Engineering**, v. 73, n. 1, p. 899-913, Nov./Dez. 2014. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1359431114007418>> Acesso em: 02 Set. 2015.

HUANG, W.-H.; WANG, F.-S. Kinetic modeling of batch fermentation for mixed-sugar to ethanol production. **Journal of the Taiwan Institute of Chemical Engineers**, v. 41, n. 4, p. 434-439, Jul./Ago. 2010. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1876107010000404>>. Acesso em: 18 Jul. 2015.

LIN, P.-H.; HUANG, S.-Y.; MAU, J.-L.; LIOU, B.-K.; FANG, T. J. A novel alcoholic beverage developed from shiitake stipe extract and cane sugar with various *Saccharomyces* strains. **LWT - Food Science and Technology**, v. 43, n. 6, p. 971-976, Jun./Jul. 2010. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S002364381000054X>>. Acesso em: 22 Out. 2015.

MENDES, Á. J. B.; VALDMAN, B.; JÚNIOR, M. B. D. S. Uma revisão de modelagem matemática em bioprocessos. parte I: fundamentos básicos e classificação. **Revista Militar de Ciência e Tecnologia**, Brasília, DF, v. 28, 2011, Set/Out. Disponível em: <http://rmct.ime.eb.br/arquivos/RMCT_3_tri_2011/RMCT_098_E5A_12.pdf>. Acesso em: 06 Jul. 2015.

MONOD, J. **Recherches sur la Croissance des Cultures Bacteriennes**. 2 ed. Paris: Hermann & Cie, 1942.

NORTON, T.; TIWARI, B. Aiding the understanding of novel freezing technology through numerical modelling with visual basic for applications (VBA). **Computer Applications in Engineering Education**, v. 21, n. 3, p. 530-538, Nov./Dez. 2013. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1002/cae.20498>>. Acesso em: 10 Out. 2015.

PALACIOS-BERECHE, R.; ENSINAS, A.; MODESTO, M.; NEBRA, S. A. New alternatives for the fermentation process in the ethanol production from sugarcane: Extractive and low temperature fermentation. **Energy**, Robina, Austrália, v. 70, p. 595-604, Jun./Jul. 2014. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0360544214004459>> Acesso em: 8. Set. 2015.

PINTO, A. A.; BICALHO, I. C.; MOGNON, J. L.; DUARTE, C. R.; ATAÍDE, C. H. Separation of *Saccharomyces cerevisiae* from alcoholic fermentation broth by two commercial hydrocyclones. **Separation and Purification Technology**, v. 120, p. 69-77, Nov./Dez. 2013. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1383586613005406>>. Acesso em: 10 Out. 2015.

SANTOS, C. C. A. D. A.; ALMEIDA, E. G. D.; MELO, G. V. P. D.; SCHWAN, R. F. Microbiological and physicochemical characterisation of caxiri, an alcoholic beverage produced by the indigenous Juruna people of Brazil. **International Journal of Food Microbiology**, v. 156, n. 2, p. 112-121, Mai/Abr. 2012. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0168160512001298>>. Acesso em: 02 Out. 2015.

VERHOEF, A.; DEGRÈVE, J.; HUYBRECHS, B.; VAN VEEN, H.; PEX, P.; VAN DER BRUGGEN, B. Simulation of a hybrid pervaporation–distillation process. **Computers & Chemical Engineering**, v. 32, n. 6, p. 1135-1146, Jun./Jul. 2008. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0098135407001068>>. Acesso em 22 Out. 2015.

USE OF VBA-EXCEL LANGUAGE FOR DEVELOPMENT OF A SIMULATION PROGRAM AND ADJUSTMENT OF MODELS'S PARAMETERS IN ALCOHOLIC FERMENTATION PROCESSES

J.P. WOJEICCHOWSKI¹, M.A. PRAXEDES²

^{1,2} Ponta Grossa State University, Department of Food Engineering, Post-Graduate Program in Food Science and Technology
E-mail¹: josepw@hotmail.com

ABSTRACT: Due of the availability and ease of use, Excel is present in the routines of students, professionals, companies and universities. Its use for programming features advantages and several possibilities of application. With the growing demand of industrial application for the alcoholic fermentation, the simulation is necessary for obtaining quick answers. The aim of this study was to develop a program of simulation and adjustment of models parameters in alcoholic fermentation processes, using VBA-Excel language. The user selects the models of microorganism growth and product formation, followed by the insertion of parameters linked to these models. The simulation is done through the integration of ordinary differential equations, by Runge-Kutta 4th order, getting as answers, the concentrations of micro-organism, product and substrate, over time. Through the Solver tool, parameter setting is done to minimize the error between the theoretical and experimental data. The program has proven effective for the proposed simulation and allows the treatment of responses and comparison of the models used.

KEYWORDS: VBA; EXCEL; *Saccharomyces cerevisiae*; Runge-Kutta.