



# SIMULAÇÃO DO PROCESSO FERMENTATIVO DA CERVEJA

L. H. SOUZA<sup>1</sup>, J. M. THEODORO<sup>1</sup>, L. P. NASCIMENTO<sup>1</sup>, M. F. MENDES<sup>2</sup> e C. S. S. PEREIRA<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Universidade de Vassouras, Curso de Engenharia Química

<sup>2</sup> Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Curso de Engenharia Química

E-mail para contato: lu.horst@hotmail.com

**RESUMO** – A fabricação de cerveja é baseada em três etapas: etapa de produção do mosto, etapa fermentativa e etapa de acabamento, sendo a fermentação a etapa mais importante. A simulação de processos vem sendo influenciada pela busca de melhores rendimentos e a capacidade de prever o comportamento do processo através de parâmetros, o qual torna a análise mais rápida, eficaz e diminui o risco de perda de material. O objetivo do presente trabalho foi tornar a avaliação do processo fermentativo de cerveja mais precisa através da simulação de processos com o uso do simulador Superpro Designer. A simulação apresentou os principais resultados na produção do mosto: na mosturação, foi obtido um rendimento de 91% na conversão de amido em glicose; na fervura, foi retirado 10% de água, cerca de 3% de alfa ácidos foi extraído e foi atingido um rendimento de aproximadamente 88% de mosto cervejeiro. Para a simulação da fermentação, utilizou-se o equipamento “Fermentor”. Os resultados representados pela etapa de fermentação foram: para uma alimentação de 0,5 kg de levedura, a produção de álcool e dióxido de carbono foi em torno de 40% e 38%, respectivamente; a conversão total de glicose obtida foi de aproximadamente 90%; o rendimento total de cerveja ao final da simulação foi de aproximadamente 83%. Os resultados da simulação, quando comparados com dados da literatura, se mostraram satisfatórios evidenciando um bom rendimento na conversão da glicose e produção da cerveja.

## 1. INTRODUÇÃO

Tradicionalmente cerveja é definida como uma bebida obtida pela fermentação alcoólica do mosto cervejeiro, oriundo este, do malte de cevada e água potável, por ação da levedura, com adição de lúpulo (Fernandes e Franzen, 2013). É uma bebida presente na sociedade há milhares de anos e entender sua composição, os processos, bem como os equipamentos envolvidos para a obtenção da mesma, são fatores determinantes na prospecção do mercado, custos e lucros para a produção da bebida em escala industrial (Galhardo et al., 2018).

Segundo Laurintino et al., (2016), o processo de fabricação da cerveja é basicamente dividido em três etapas: etapa de produção do mosto, etapa fermentativa e etapa de

acabamento, sendo a fermentação a etapa mais importante da produção cervejeira, pois é nessa fase que se formam os produtos e os co-produtos do metabolismo das leveduras.

A simulação de processos tem crescido muito nos últimos anos, influenciado por fatores econômicos, melhores rendimentos na produção química e necessidade de produtos de alta qualidade, devido ao mercado consumidor cada vez mais exigente e competitivo.

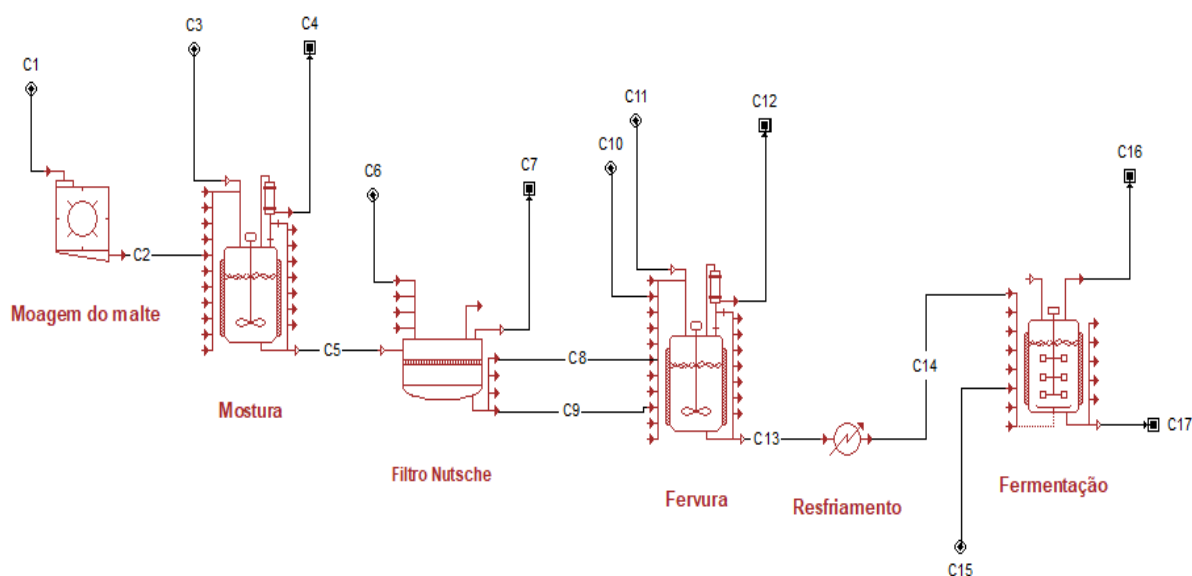
Apesar de limitada pelos altos custos, quando implantados sistemas em equipamentos reais, a simulação vem ganhando grande destaque nas áreas de engenharia. Segundo Strieder et. al (2010) a importância deve-se à possibilidade de prever o comportamento do processo produtivo, auxiliando nos ajustes dos parâmetros estimados e possibilitando a análise prévia dos resultados. A aquisição de parâmetros de comando pelo simulador modifica o início do processo tornando-o mais rápido, diminui sua perda de material e o torna mais eficaz.

Quanto maior a complexidade de um processo químico, maior a necessidade de técnicas de análise. Por esse motivo, a fim de tornar a avaliação do processo fermentativo mais precisa, foram conduzidas neste trabalho simulações que retratam uma situação real. Realizou-se a simulação do processo com o uso do simulador de bioprocessos Superpro Designer versão 9.0 da Intelligen, Inc.

## 2. MATERIAIS E MÉTODOS

A simulação do processo realizada no software SuperPro Designer pode ser visualizada na Figura 1.

Figura 1 – Fluxograma da simulação.



Para possibilitar a representação da fermentação, foco do presente trabalho, a simulação de algumas etapas da produção do mosto tornou-se indispensável, assim como moagem, mostura, filtração e fervura, respectivamente.

Moagem: Para a representação da moagem do malte foi utilizado o equipamento *Grinding (bulk)* e adotada uma alimentação de  $130 \text{ kg/m}^3$  de malte. Essa fase inicial tem por objetivo quebrar o grão do cereal, aumentando assim a superfície de contato e expondo o seu amido interno (Tozetto, 2017).

Mostura: A mosturação (cozimento do malte) é a etapa na qual se mistura o malte moído com água para extração dos açúcares fermentáveis, através da conversão do amido em glicose. Foi representada em um *Stirred reactor (CSTR)* com uma alimentação de  $390 \text{ kg/m}^3$  de água a uma temperatura de  $75^\circ\text{C}$ .

Filtração: Foi utilizado o equipamento *Nutsche Filter* para representar a filtração, essencial para a remoção das cascas residuais de malte. O resultado foi uma mistura açucarada denominada mosto.

Fervura: Utilizou-se o mesmo reator da etapa de mostura para simular a fervura a  $80^\circ\text{C}$  com o intuito de concentrar o mosto. Essa etapa também foi utilizada para adição de 610 g de lúpulo e mais  $100 \text{ kg/m}^3$  de água.

Resfriamento: Nesta etapa o mosto é submetido ao resfriamento para a temperatura de fermentação, que dependerá do tipo de cerveja a ser produzido. De acordo com Priest e Stewart (2006) após a redução da temperatura, o mosto deve ser aerado, para que seja disponibilizado oxigênio com saturação entre 6 e 9 mg/L, essencial para o desenvolvimento da levedura cervejeira nas fases iniciais da fermentação, uma vez que seu metabolismo aeróbio apresenta maior rendimento energético. Para simulação desta etapa considerou-se um *Cooler* como trocador de calor para resfriamento do mosto considerando a redução da temperatura de  $75^\circ\text{C}$  para  $12^\circ\text{C}$ . Utilizou-se esse parâmetro de temperatura final devido um estudo realizado por Ramirez e Maciejowski (2007) o qual demonstra que a restrição máxima de  $12^\circ\text{C}$  se faz necessário para um bom rendimento de alguns compostos no produto final.

Fermentação: Na fermentação, etapa mais importante da produção, devido à presença dos microrganismos envolvidos nessa fase do processo, a simulação foi representada com uma temperatura controlada para melhor rendimento das leveduras na produção de álcool etílico e  $\text{CO}_2$ , principais produtos oriundos do mosto fermentado. A alimentação foi de 0,5 kg de levedura e 587L de mosto, utilizou-se o equipamento *Fermentor* para simular essa etapa, com a finalidade de representar a conversão dos açúcares fermentescíveis. A reação mais importante simulada na etapa fermentativa é representada na Equação 1.



### 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados do balanço de massa obtidos na simulação são apresentados nas Tabelas 1 e 2, respectivamente.



Tabela 1 – Balanço de massa obtido nas etapas de produção do mosto, gerado no SuperPro Designer

Correntes	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11	C12	C13
<i>Fluxos</i>	Kg/m <sup>3</sup>	Kg/m <sup>3</sup>	Kg/m <sup>3</sup>	Kg/m <sup>3</sup>	Kg/m <sup>3</sup>	Kg/m <sup>3</sup>	Kg/m <sup>3</sup>	Kg/m <sup>3</sup>	Kg/m <sup>3</sup>	Kg/m <sup>3</sup>	Kg/m <sup>3</sup>	Kg/m <sup>3</sup>	Kg/m <sup>3</sup>
Malte	130,00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Fibras	0	10,40	0	0	10,40	0	10,30	0,10	0	0	0	0	0,10
Gordura	0	2,60	0	0	2,60	0	0,78	1,82	0	0	0	0	1,82
Minerais	0	1,30	0	0	1,30	0	0	1,27	0,03	0	0	0	1,30
Proteínas	0	14,30	0	0	14,30	0	2,86	11,44	0	0	0	0	5,72
Amido	0	91,00	0	0	9,10	0	1,82	7,28	0	0	0	0	7,28
Água	0	10,40	390,00	0	391,30	100,00	11,40	381,81	98,09	100,00	0	57,99	521,91
Glicose	0	0	0	0	91,00	0	0	88,79	2,21	0	0	0	91,00
Nitrogênio	0	0	0	0,35	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Oxigênio	0	0	0	0,11	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Lúpulo	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,61	0	0
Lúpulo gasto	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,59
Levedura	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Ácidos Alfa	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,02
Dióxido de carbono	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Álcool Etílico	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Total	130,00	130,00	390,00	0,46	520,00	100,00	27,16	492,51	100,33	100,00	0,61	57,99	629,74

De acordo com os dados da simulação observa-se, na etapa de mosturação, um rendimento de aproximadamente 91% na conversão de amido em glicose.

A simulação da fervura retirou 10% de água na corrente “C12” e obteve cerca de 3% de alfa ácidos, uma classe de compostos químicos responsáveis pelo amargor do lúpulo. E na corrente de saída do reator “C13”, atingiu-se um total de 635,46 kg/m<sup>3</sup> (aproximadamente 88%) de mosto cervejeiro.

Tabela 2 – Balanço de massa na etapa simulada da fermentação

Correntes	C14	C15	C16	C17
<i>Fluxos</i>	Kg/m <sup>3</sup>	Kg/m <sup>3</sup>	Kg/m <sup>3</sup>	Kg/m <sup>3</sup>
Fibras	0,10	0	0	0,10
Gordura	1,82	0	0	1,82
Minerais	1,30	0	0	1,30
Proteínas	5,72	0	0	5,72
Amido	7,28	0	0	7,28
Água	521,91	0	0	525,94
Glicose	91,00	0	0	10,92
Nitrogênio	0	0	0,68	0
Oxigênio	0	0	0,21	0
Lúpulo gasto	0,59	0	0	0,59
Levedura	0	0,50	0	4,37
Ácidos Alfa	0,02	0	0	0,02
Dióxido de carbono	0	0	34,88	0
Álcool Etílico	0	0	0	37,95
Total	629,74	0,50	35,77	596,02

De acordo com a Tabela 2, a conversão de glicose em álcool (corrente “C17”) e dióxido de carbono (corrente “C16”), foi em torno de 40% e 38%, respectivamente.



A conversão total de glicose obtida foi de aproximadamente 90%, na qual segundo Schmidell *et al.* (2001), a partir do fator estequiométrico da reação envolvida no processo de fermentação o rendimento teórico é na ordem de 90%, considerando que parte dos açúcares consumidos pela levedura seja metabolizada para geração de outros produtos, assim como compostos necessários para uso próprio em sua manutenção celular.

O oxigênio oriundo da etapa fermentativa foi retirado como produto de topo (corrente “C16”). E o rendimento total de cerveja ao final da simulação foi de aproximadamente 83%.

#### 4. CONCLUSÃO

O presente trabalho simulou um fluxograma da produção de cerveja utilizando um simulador de processos. A avaliação do processo produtivo, especialmente da etapa fermentativa, através do simulador SuperPro Designer foi importante para presumir quais os parâmetros necessários na produção de cerveja como também os rendimentos obtidos e analisados através do balanço de massa.

Os resultados obtidos após simulação são condizentes quando comparado a dados da literatura na qual se obteve um bom rendimento na conversão da glicose e do produto final.

#### 5. REFERÊNCIAS

- FERNANDES, A. M. R.; FRANZEN, T. A. Automação e Controle em uma Micro Cervejaria Artesanal. 2011. 13f. SEGeT - UNIVALI, Itajaí, 2013.
- GALHARDO, A. A. et al. Análise de simulação computacional e avaliação econômica cervejaria Langer. 2018. 75f. Graduação – UNESP, Araraquara, 2018.
- LAURINTINO, T. N. S. et al. Simulação da etapa fermentativa do processo cervejeiro. Cobeq2016, Fortaleza, v. 1, n. 4, p. 1-8, set. 2016.
- PRIEST, F. G.; STEWART, G. G. Handbook of Brewing. 829p. 2 ed. Florida: CRC Press and Taylor & Francis Group, 2006.
- RAMIREZ, W. S.; MACIEJOWSKI, J. Optimal Beer Fermentation. Journal of the institute of brewing, v. 113, nº. 3, 2007.
- SCHMIDELL, W.; LIMA, U. A.; AQUARONE, E.; BONOMI, A. Biotecnologia industrial: Engenharia bioquímica, v. 2, p. 560, 2001.
- STRIEDER, A.; SCHUCH, C. M.; FRIAS, A. R. Utilização de simuladores de processos como ferramenta para o ensino de Engenharia. *Revista Ciência e Tecnologia*, S.l., v. 9, n. 14, jan. 2010. ISSN 2236-6733.