

MODELAGEM, SIMULAÇÃO E ANÁLISE DO FENÔMENO DE TRANSFERÊNCIA DE CALOR DO RESFRIADOR DE MOSTO DE UMA MICROCERVEJARIA EM SCILAB

Arthur Lima Machado de Santana (Universidade Federal da Bahia) E-mail: arthurmaxado@yahoo.com.br
Mauro de Paula Moreira (Universidade Estadual de Santa Cruz) E-mail: mpmoreira@uesc.br

Resumo: O presente trabalho buscou realizar a modelagem, simulação e análise de transferência de calor do trocador de calor de placas da microcervejaria localizada na Universidade Estadual de Santa Cruz (UESC). Para isso, foi utilizado o software Scilab, possibilitando a programação de um diagrama do método de efetividade através do ambiente Xcos. Os valores obtidos neste programa foram comparados com dados experimentais durante uma produção em batelada de cerveja English IPA e as informações fornecidas pelo fabricante. Além disso, os parâmetros Nusselt (Nu), Reynolds (Re), Prandtl (Pr), diâmetro hidráulico e coeficiente convectivo de transferência de calor foram calculados para a avaliação dos fenômenos de transporte envolvidos na operação da unidade. O modelo mostrou-se adequado para gerar simulações do trocador de calor com erros relativos significativamente baixos (<8%), tanto em uma operação de projeto ideal quanto em situações encontradas durante a produção da cerveja. Os dados obtidos referentes às variáveis fluidodinâmicas e de transferência de calor mostraram $Nu = 0,139$, $Re = 2,45$, $Pr = 0,123$ e coeficiente convectivo de transferência de calor $(h) = 251,155 [W / (m^2 \cdot ^\circ C)]$ para uma temperatura média da corrente de mosto. Este último foi próximo ao intervalo de valores que normalmente se encontra a água em sistemas de convecção forçada, apontando para a conformidade com os resultados esperados teoricamente.

Palavras-chave: Microcervejaria, Simulação, Trocador de calor de placas, Scilab.

MODELING, SIMULATION AND ANALYSIS OF THE HEAT TRANSFER PHENOMENA OF A MICROBREWERY'S PLATE WORT COOLER IN SCILAB

Abstract: The present work sought to perform the modelling, simulation and heat transfer analysis of the plate heat exchanger of a microbrewery located in Universidade Estadual de Santa Cruz (UESC). For this purpose, the Scilab Software was used, making possible to program a diagram of the Effectiveness Method through the Xcos environment. The values obtained in this program were compared with experimental data during an English IPA beer batch production and those provided by the manufacturer. Moreover, the parameters Nusselt (Nu), Reynolds (Re), Prandtl (Pr), hydraulic diameter and convective heat transfer coefficient were calculated for the evaluation of the transport phenomena involved in the unit operation. The model proved to be adequate to generate heat exchanger simulations with significantly low relative errors (<8%) both in an ideal design operation and in situations encountered during the batch production of an artisanal beer. The data obtained concerning the fluid dynamics and heat transfer variables showed $Nu = 0,139$, $Re = 2,45$, $Pr = 0,123$ and convective heat transfer coefficient $(h) = 251,155 [W/(m^2 \cdot ^\circ C)]$ for the mean temperature of the wort flow. This last one been close to a range of values usually fund for water in forced convection systems, pointing to conformity with theoretically expected results.

Keywords: Microbrewery, Simulation, Plate heat exchanger, Scilab.

1. Introdução

A construção da planta piloto da microcervejaria da Universidade Estadual de Santa Cruz (UESC) em Ilhéus/BA (Figura 1), estruturada a partir de dois projetos financiados pela Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado da Bahia (FAPESB), foi motivada pelo fato de que no Brasil existem poucos grupos acadêmicos dedicados à pesquisa científica e desenvolvimento tecnológico de cerveja no qual a Bahia possui uma apreciável

variedade de frutas e micro-organismos fermentadores (leveduras) que podem ser explorados.



Figura 1 – Planta piloto da microcervejaria da UESC

A produção de cerveja artesanal necessita de uma etapa de alta taxa de resfriamento evitando contaminação de microrganismos e formação de dimetil sulfeto (DMS) (SILVA et al., 2010). Dessa forma, o mosto cervejeiro sai, rapidamente, de uma temperatura de fervura (de aproximadamente 98°C) até cerca de 9 à 15°C, seguido de aeração, levando o fluido a condições ideais de fermentação pelas leveduras (ROSA; AFONSO, 2015). Porém, apesar da produção de cervejas artesanais ser uma atividade promissora no Brasil, ela esbarra em dificuldades de controle operacional dos tempos e temperatura do processo (FERNANDES; FRANZEN, 2011). Desta forma, um estudo computacional das etapas de transferência de calor torna-se importante para, além da manutenção da qualidade final do produto, redução de custos e, em última análise, aumento da competitividade de mercado das microcervejarias.

Este trabalho teve como objetivo o desenvolvimento da modelagem, simulação e análise de variáveis-chave que descrevam o fenômeno de transferência de calor do resfriador de mosto de placas da microcervejaria da Universidade Estadual de Santa Cruz utilizando o Software Livre Scilab.

2. Metodologia

2.1 Descrições do equipamento e sua operação

O trocador de calor em questão possui duas etapas de resfriamento do mosto, o método NUT foi utilizado de forma individual em cada etapa. Na primeira etapa de refrigeração, o fluido refrigerante é água pura vinda de um tanque reservatório enquanto na segunda etapa o resfriamento é feito através de uma solução água-etanol. As vazões e temperaturas iniciais dos fluidos bem como a fração mássica da mistura de etanol-água foram previamente estimadas pelo fabricante. É mostrado na Figura 2 o trocador de calor de placas na microcervejaria da UESC, onde \dot{m}_f , $T_{f,ent}$ e $T_{f,sai}$ são, respectivamente, a vazão mássica e as temperaturas de entrada e saída do fluido refrigerante enquanto \dot{m}_q (\dot{m}_{mosto}), $T_{q,ent}$ e $T_{q,sai}$ são a vazão mássica e temperaturas de entrada e saída do mosto.

A fabricante do equipamento *EGISATM* Brewery Systems disponibilizou as informações contidas nas Tabelas 1 e 2 referentes à descrição técnica e operacional do resfriador de mosto.

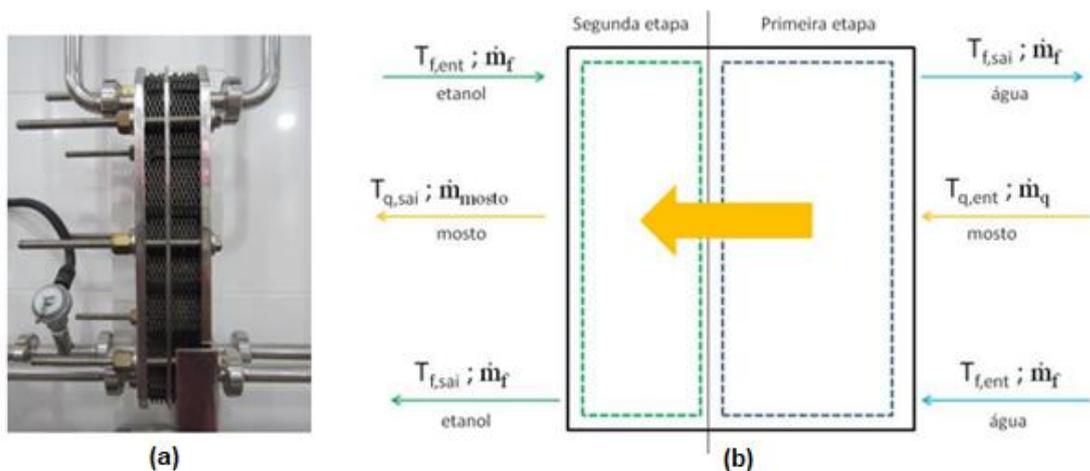


Figura 2 – Trocador de calor de placas da microcervejaria (a) e ilustração de sua operação e fluxos (b).

Tabela 1 – Base de dados estruturais do trocador de calor fornecido pela fabricante EGISA™.

| Especificações da EGISA™ | | | |
|---|--------|---|-----------------------------|
| Volume total em todas as seções (dm ³) | 3,00 | Número Total de placas | 20, tipo chevron |
| Área total de transferência de calor (m ²) | 0,71 | Material da placa | 0.5 mm AISI 316 |
| Pressão máxima de trabalho/ Pressão de teste (kgf/cm ²) | 9,10 | Material da gaxeta/ temperatura máxima (°C) | NITRIL HANG ON (H) / 110,00 |
| Temperatura máxima do projeto (°C) | 110,00 | Comprimento total do quadro (mm) | 332,00 |

Tabela 2 – Base de dados operacionais do trocador de calor fornecido pela fabricante EGISA™.

| Base de dados do resfriador de mosto da EGISA™ | | | | |
|--|-------------|-----------|-------------|------------|
| Parâmetros | Seção 1 | | Seção 2 | |
| | Lado quente | Lado frio | Lado quente | Lado frio |
| Fluido | Mosto | Água | Mosto | Etanol 30% |
| Vazão (L/h) | 340,00 | 380,00 | 340,00 | 2.000,00 |
| Temperatura de entrada (°C) | 98,00 | 22,00 | 45,00 | -4,00 |
| Temperatura de saída (°C) | 44,46 | 70,00 | 12,00 | 1,97 |
| Queda de pressão (mWG) | 0,10 | 0,09 | 0,31 | 5,55 |

2.2 Detalhamento das dimensões das placas

Segundo informações do fabricante, as placas utilizadas no resfriador de mosto da Microcervejaria são do tipo chevron dispostas em pares de angulação (ϕ) 30°/60°. Foi medido o comprimento total da espessura dos conjuntos compactados de placas (L_{pac}) na primeira e segunda etapa, onde: $L_{pac1} = 7,24$ cm e $L_{pac2} = 4,78$ cm.

2.3 Implementação computacional do método da efetividade

Através do ambiente Xcos do Software aberto *Scilab*, foram montados diagramas de blocos com as rotinas matemáticas descritas para a metodologia da efetividade. Sammeta et al. (2011) determinaram curvas da efetividade (ϵ) em função do NUT e β em um sistema bastante similar

ao resfriador de mosto da microcervejaria, portanto, suas curvas empíricas serviram de base para a etapa de determinação gráfica no desenvolvimento do programa. Uma ilustração das variáveis de entrada e saída planejada para o modelo é mostrada na Figura 3.

2.4 Determinação de parâmetros de transferência de calor e fluidodinâmicos

Foram calculados os números adimensionais de Nusselt (Nu), Reynolds (Re) e Prandtl (Pr), diâmetro hidráulico (Dh) e, conseqüentemente, o coeficiente convectivo de transferência de calor (h) para o sistema em operação com parâmetros descritos na Tabela 2. As equações utilizadas para determinação de cada parâmetro são mostradas na Tabela 3.

2.5 Coleta de dados experimentais e variação de parâmetros

Os dados experimentais de temperatura dos fluxos de entrada e saída foram coletados durante a fabricação da cerveja estilo English IPA através da leitura do painel de controle. Após a constatação da conformidade do diagrama de blocos foram realizadas simulações nas quatro condições operacionais mensuradas ao longo da produção (Tabela 4).

Tabela 3 – Parâmetros determinados e suas respectivas equações utilizadas

| Parâmetro | Equação aplicada | Referência |
|-------------------------|--|----------------------------|
| Diâmetro hidráulico | $D_h \cong \frac{2b}{\phi}$ | Kakac et al. (2002) |
| Reynolds | $Re = \frac{G \cdot D_h}{\mu}$ | Geankoplis (2003) |
| Prandtl | $Pr = \frac{\mu \cdot c_p}{k}$ | Geankoplis (2003) |
| Nusselt | $Nu = 0,1437 \cdot Re^{0,781} \cdot Pr^{0,35} \left(\frac{\mu}{\mu_w}\right)^{0,14}$ | Khan et al. (2010) |
| Coefficiente convectivo | $h = \frac{Nu \cdot k}{D_h}$ | Bergman e Incropera (2011) |

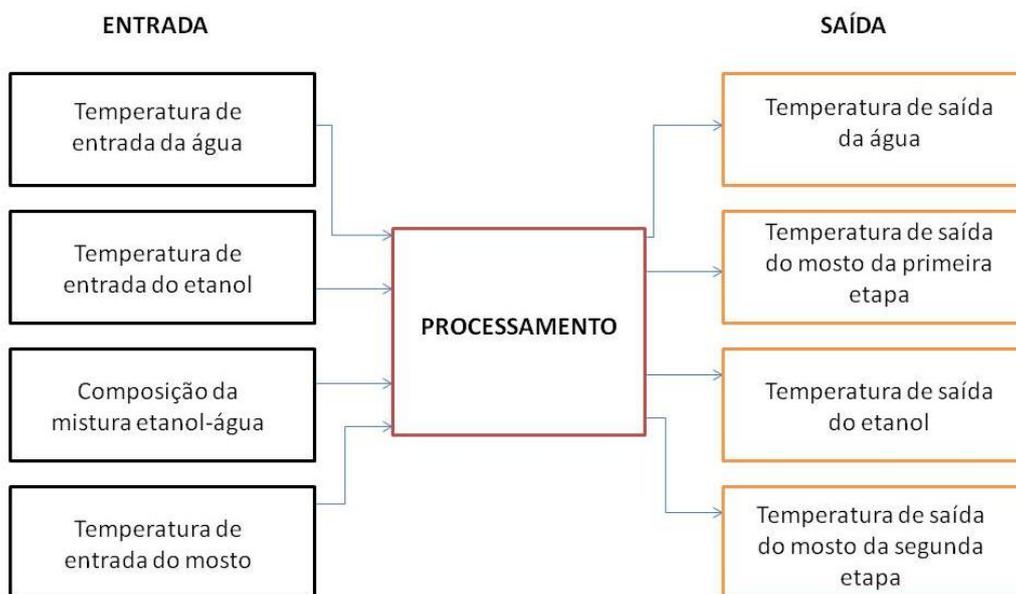


Figura 3 – Diagrama de processamento das variáveis de entrada e geração das variáveis de saída.

Tabela 4 – Situações operacionais encontradas durante o processo

| Situação operacional | (1) | (2) | (3) | (4) |
|---------------------------------------|-----------|-----------|-----------|------------|
| Tempo decorrido no processo | 2 minutos | 5 minutos | 9 minutos | 18 minutos |
| Temperatura de entrada do mosto (°C) | 82,3 | 81,5 | 80,3 | 79,0 |
| Temperatura de entrada do etanol (°C) | 4,4 | 5,4 | 6,9 | 7,8 |
| Temperatura de saída do mosto (°C) | 27,6 | 27,5 | 27,5 | 27,5 |

Assim, resultados foram comparados buscando constatar a validação do modelo computacional para gerar informações que correspondam as temperaturas dos fluxos da operação unitária durante o processo produtivo.

3. Resultados e Discussão

3.1 Hipóteses preliminares

Para a modelagem e simulação do resfriador de mosto utilizando o software Scilab, foram tomadas as seguintes hipóteses: (1) Sistema trabalhando em estado estacionário: Durante a fase de transição do volume do tanque de fervura, através do trocador de calor, até os tanques de fermentação, o sistema opera num intervalo de tempo significativo em fase estacionária. (2) Fluidos incompressíveis e homogêneos: Não existe variação significativa de propriedades físico-químicas ao longo do volume dos fluídos. (3) Sistema adiabático: Não há troca de calor significativa do equipamento para o ambiente. (4) Características físicas do mosto cervejeiro são semelhantes às apresentadas pela água na mesma temperatura e pressão, dada que a água corresponde a maior parte da composição do mosto.

3.2 Construindo o modelo em Scilab/XCos

O trocador de calor em questão possui duas etapas de resfriamento do mosto, na primeira etapa o mosto entra com uma temperatura alta após o processo de fervura sendo rapidamente resfriado com uma vazão de água à temperatura ambiente, já na segunda seção, o mosto é resfriado utilizando-se uma vazão consideravelmente maior de uma solução de etanol a 30% (vol/vol) até atingir temperatura ótima para fermentação. O método NUT, ou método da efetividade, foi utilizado de forma individual em cada etapa.

3.2.1 Primeira etapa do trocador de calor

Nessa etapa, o número de placas presentes são 12 (do total de 20) e o fluido refrigerante é água pura vinda do reservatório. Suas características, assim como as do mosto, são exibidas na Tabela 5.

Tabela 5 – Temperatura de entrada, vazão e densidade dos fluidos durante primeira etapa de resfriamento.

| Fluido | Temperatura de entrada (°C) | Vazão (L/h) | Densidade (kg/L) |
|--------|-----------------------------|-------------|------------------|
| Água | 22 | 380 | 0,997 |
| Mosto | 98 | 340 | 0,959 |

Vale ressaltar que, segundo a hipótese (4), é razoável considerar um mesmo modelo matemático para o cálculo do calor específico tanto para a água quanto para o mosto cervejeiro. A Figura 4 mostra uma parte do diagrama em Xcos/Scilab que representa desde a entrada de dados acerca dos fluidos do processo, exibidos na Tabela 4, até a determinação das capacidades caloríficas. Na região em destaque "A" dessa figura é realizada, inicialmente, a entrada das informações: Temperatura, vazão e densidade da água. O valor da temperatura é levado ao bloco de subsistema "Cálculo de cp da água". Finalmente as informações de cp, vazão e densidade foram levados ao bloco do tipo "Expression" (último bloco à direita da região analisada) onde as informações de saída são as capacidades caloríficas da água e do mosto que foram de, respectivamente, 440,73 (W/°C) e 382,00 (W/°C). Com esses dados, foi possível realizar o cálculo da razão das capacidades caloríficas (β) e do número de unidades de transferência (NUT) utilizando as equações (1) e (2). Onde C_{min} é a menor capacidade calorífica dos fluidos envolvidos no processo e C_{max} a maior.

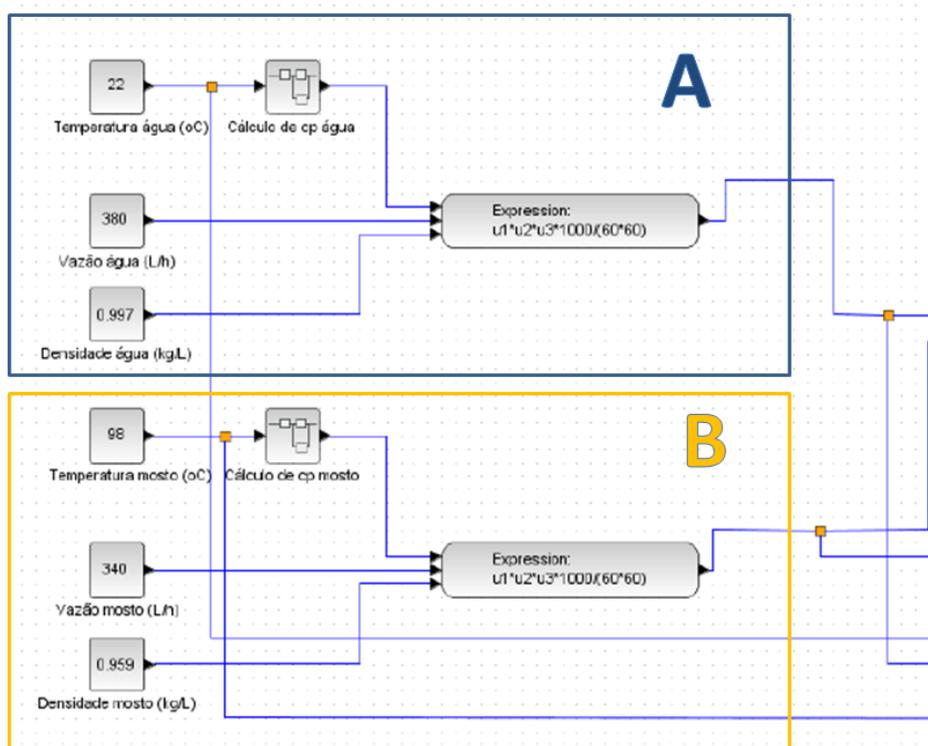


Figura 4 – Representação da parte do diagrama de blocos do cálculo das capacidades caloríficas.

$$\beta = \frac{C_{min}}{C_{max}} \quad (1)$$

$$NUT = \frac{A \cdot U}{C_{min}} \quad (2)$$

Em que “U” corresponde ao coeficiente global de transferência de calor, estimado previamente através do DTML ($U = 1917,539 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$), e “A” é a área disponível para trocas térmicas no equipamento disponibilizado pela fabricante como $0,426 \text{ m}^2$.

Com essas variáveis determinadas, é possível encontrar um valor da efetividade (ε) do trocador de calor através da análise gráfica de um sistema similar. Para isso, foram utilizados os gráficos presentes no trabalho de Sammeta et al. (2011) que estudou um trocador de calor de placas corrugadas em contra corrente. A Figura 5 mostra a etapa de determinação do valor de ε . Esse processo consiste na verificação do NUT (calculado de 2,139) no eixo horizontal do gráfico, associação do valor à curva correspondente ao β (calculado de 0,867) e, finalmente, determinação da efetividade no eixo vertical.

A efetividade é definida como sendo a razão do calor realmente trocado com o calor máximo possível que pode ser transferido de um fluido para o outro determinado matematicamente pela equação (3). Para a primeira etapa do trocador de calor, a eficiência encontrada pelo método gráfico foi de cerca de 0,70. Assim, a partir desse valor é possível realizar um balanço de energia através das equações (4) e (5).

$$\varepsilon = \frac{q}{q_{max}} \quad (3)$$

$$q_{max} = C_{min} (T_{qe} - T_{fe}) \quad (4)$$

$$q = \varepsilon \cdot C_{min} \cdot \Delta T \quad (5)$$

Onde “q” e “ q_{max} ” representam, respectivamente, calor trocado pelo processo e o calor máximo possível que pode ser trocado pelo sistema para uma área de troca térmica infinita (ou seja, até as temperaturas das correntes atingirem o equilíbrio). “ T_{qe} ”, “ T_{fe} ” e “ ΔT ” são as temperaturas de entrada, saída e variação ao longo do sistema do fluido a ser resfriado (corrente “quente”).

Uma vez determinado o calor através das equações (3) e (4), é possível aplicar a equação (5) para, finalmente, estimar o valor da temperatura de saída. A Tabela 6 mostra os valores encontrados através do método de cálculo do diagrama em Xcos/Scilab.

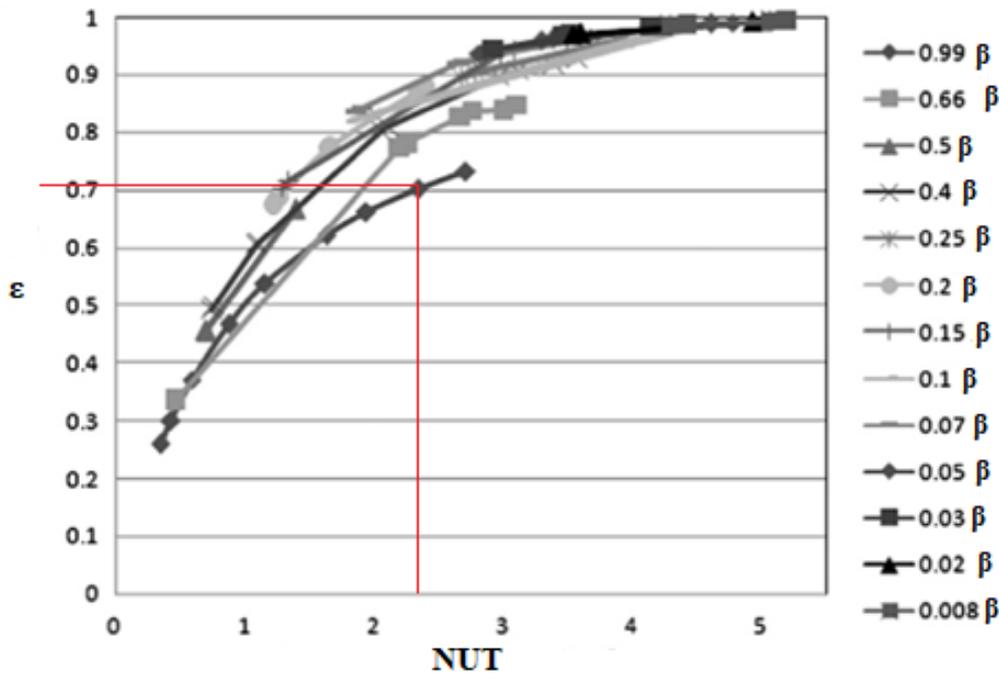


Figura 5 – Curvas de eficiência em função de β e NUT onde a linha vermelha exibe determinação gráfica da efetividade para primeira etapa do trocador de calor.

Fonte: Adaptado de Sammeta et al. (2011)

Tabela 6 – Características da água e mosto em seus respectivos estados após a primeira etapa

| NUT | β | Temperatura de saída da água (°C) | Temperatura de saída do mosto (°C) |
|-------|---------|-----------------------------------|------------------------------------|
| 2,139 | 0,867 | 68,11 | 44,80 |

3.2.2. Segunda etapa do trocador de calor

O procedimento de cálculo foi semelhante ao da primeira etapa, com exceção do calor específico da mistura água-etanol que foi considerado de 4,102 kJ/(kg°C) e densidade de 0,958611 kg/L baseando-se em dados de Flick (1985). Assim, a estrutura construída no item 3.2.1 é tratada como um subsistema destacado na Figura 6 e, a partir daí, a estrutura torna-se análoga a anterior.

A eficiência encontrada foi de aproximadamente 0,69 (Figura 7). Assim, realizando os mesmos procedimentos da primeira etapa, foram determinados os valores da Tabela 4. Dessa forma, foi possível construir a Tabela 7 mostrando as temperaturas dos fluxos encontradas em simulação no *Scilab* e compara-las com as previstas pelo fabricante através do cálculo dos erros relativos.

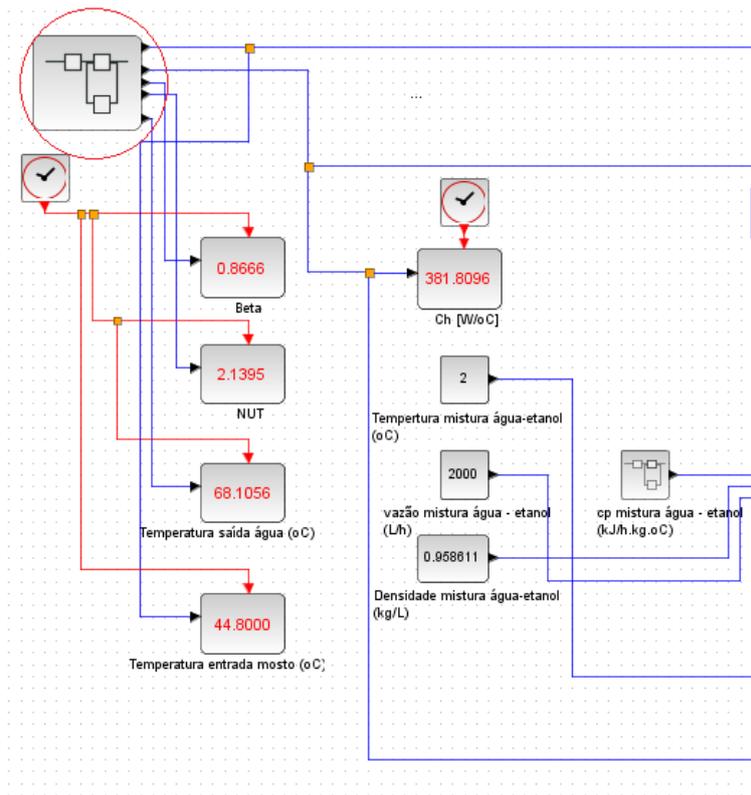


Figura 6 – Diagrama de blocos com destaque no subsistema representativo da primeira etapa do trocador de calor.

É possível observar que não houve divergências significativas entre os dados encontrados na simulação do modelo em *Xcos/Scilab* dos disponibilizados pelo fabricante do equipamento. Apesar do erro relativo referente a saída do mosto do trocador de calor ter sido de 7,25% (o maior apresentado), os valores absolutos das temperaturas se distinguem por menos de uma unidade, indicando que a observação dessa diferença na prática não é tão evidente considerando faixas usuais de incerteza instrumental em sensores aplicados a indústria de cervejarias.

Tabela 7 – Relações entre temperatura prevista pelo fabricante com a encontrada após processo de simulação em *Scilab*.

| Corrente | Temperatura prevista pelo fabricante (°C) | Temperatura encontrada na simulação (°C) | Erro relativo (%) |
|---------------------------|---|--|-------------------|
| Água (saída) | 70,00 | 68,11 | 2,70 |
| Mosto (saída 1) | 44,46 | 44,80 | 0,76 |
| Mosto (saída 2) | 12,00 | 11,13 | 7,25 |
| Solução de etanol (saída) | 1,97 | 1,89 | 4,06 |

3.3. Cálculo de parâmetros termodinâmicos e fluidodinâmicos.

As equações contidas na Tabela 3 foram utilizadas para determinação do diâmetro hidráulico, números adimensionais (Re , Pr , Nu) e coeficiente convectivo de transferência de calor para a temperatura média de 55 °C entre a entrada (98 °C) e saída do mosto (12 °C). Tais parâmetros são exibidos da Tabela 8.

Tabela 8 – Valores calculados dos números adimensionais (Re, Pr, Nu) e coeficiente convectivo

| Parâmetro | Valor encontrado |
|------------------------------|------------------|
| Re | 2,45 |
| Pr | 0,123 |
| Nu | 0,139 |
| h [W/(m ² .°C)] | 251,155 |

O valor encontra-se a um leve desvio de uma faixa de magnitude esperado para água em convecção forçada comumente observada em diversos casos de engenharia que variam de 300 ~ 18000 [W/m². °C] (Bergman; Incropera, 2011). Nesse ponto é importante ressaltar que, devido à hipótese (4) descrita na seção 3.1, pode haver certas inexatidões dos resultados numéricos necessitando de um estudo mais detalhado das propriedades físicas da cerveja.

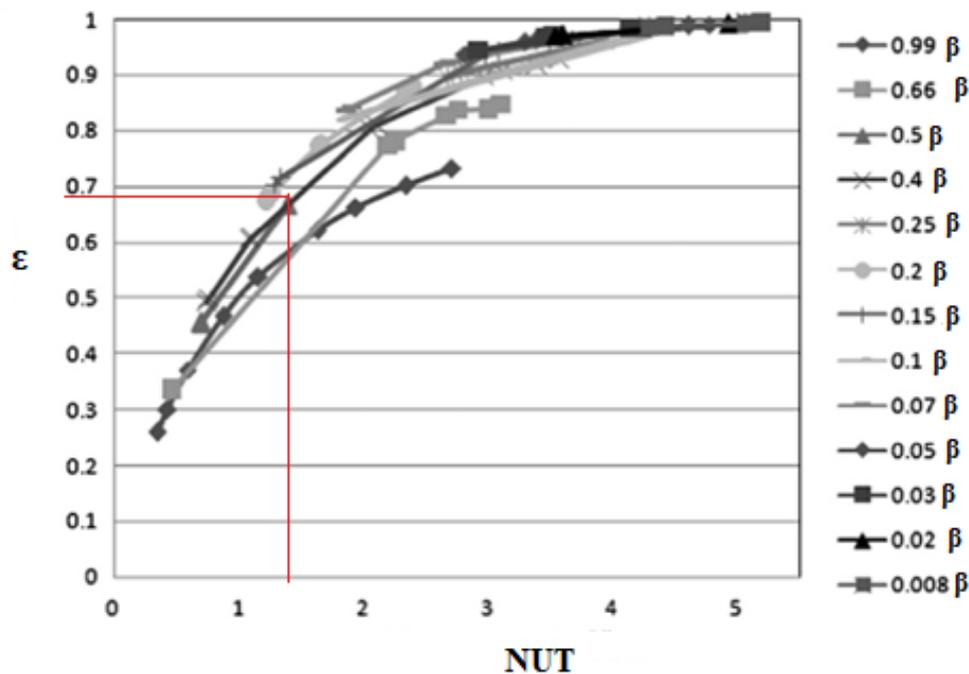


Figura 7 – Curvas de eficiência em função de β e NUT onde a linha vermelha exibe determinação gráfica da efetividade para segunda etapa do trocador de calor.

Fonte: Adaptado de Sammeta et al. (2011)

3.4. Simulação e comparação com dados experimentais

Foi possível observar quatro diferentes situações operacionais durante a produção de cerveja tipo English IPA na microcervejaria da UESC. Para cada uma desses casos ordenados cronologicamente (do primeiro ao último evento ocorrido), foram simulados dados de entrada no modelo do *Xcos/Scilab* construído e comparados com dados experimentais aferidos através de termopares.

Excepcionalmente para a produção nesse dia, apenas a segunda etapa do resfriador foi utilizada. Dessa forma, a primeira etapa do modelo foi desconsiderada, porém, o mesmo método de cálculo foi seguido como mostrado na seção 3.2.2.. É mostrado na Figura 8 o gráfico resultante do processo produtivo e da simulação realizada. Na Tabela 9 são

exibidos, além das informações experimentais, uma comparação com valores obtidos através da simulação aplicando a segunda etapa do modelo construído. Os valores obtidos de efetividade em todos os casos não variaram significativamente entre si, dessa forma, através da determinação no gráfico de Sammeta et al. (2011), considerou-se $\epsilon = 0,72$.

Tabela 9 – Temperaturas de entrada e saída do mosto cervejeiro e comparação com a temperatura de saída encontrada na simulação de cada situação operacional através dos erros relativos (%).

| Situação Operacional | Temperatura de entrada do mosto (°C) | Temperatura aferida de saída do mosto (°C) | Temperatura simulada de saída do mosto (°C) | Erro relativo (%) |
|----------------------|--------------------------------------|--|---|-------------------|
| (1) | 82,3 | 27,6 | 26,21 | 5,03 |
| (2) | 81,5 | 27,5 | 26,71 | 2,87 |
| (3) | 80,3 | 27,5 | 27,45 | 0,18 |
| (4) | 79,0 | 27,5 | 27,74 | 0,87 |

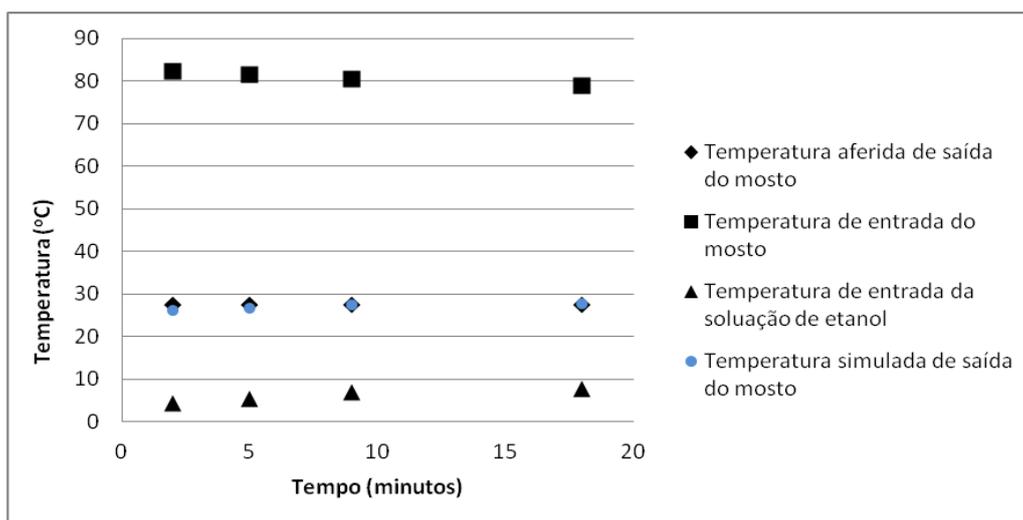


Figura 8 – Gráfico das temperaturas aferidas de entrada e saída do mosto, entrada da solução de etanol e temperatura simulada de saída do mosto.

A aparente invariabilidade do valor da temperatura de saída do mosto do trocador de calor apesar da sua redução na temperatura de entrada está no efeito compensador do aumento da temperatura do fluido refrigerante (etanol). Apesar disso, as simulações das quatro situações operacionais obtiveram valores próximos dos aferidos experimentalmente com baixos erros relativos. É importante notar que mesmo o maior dos erros relativos encontrado (5,03%), não divergiu mais do que 2°C da temperatura esperada podendo ser atribuído ao próprio erro sistemático na determinação gráfica do método NUT. Dessa forma, torna-se evidente a boa correspondência da simulação com os valores obtidos numa produção de cerveja indicando que o modelo construído é adequado para previsão de eventos nessa operação unitária. Além disso, os resultados comprovam o grande potencial do *Scilab* como ferramenta computacional gratuita para resolução de problemas complexos da Engenharia Química.

4. Conclusão

Com base nos dados disponíveis pela EGISATM, foi possível gerar cálculos computacionais no ambiente Xcos (em Scilab) de forma a criar diagramas que possibilitem tanto uma melhor compreensão do processo pelo usuário, quanto à realização de simulações que representem de forma fiel as características da operação no resfriador de mosto de placas da microcervejaria da UESC. Os resultados das temperaturas dos fluxos de mosto, água e solução de etanol a 30% apontaram boa convergência com a base de dados apresentando erros relativos abaixo de 10%, indicando que as hipóteses preliminares e demais considerações durante a modelagem do sistema foram pertinentes. Em quatro diferentes situações operacionais encontradas experimentalmente na leitura do painel de controle, os erros relativos máximo e mínimo foram, respectivamente, 5,03% e 0,18%. Dessa forma é possível constatar a adequação do modelo em prever resultados condizentes com condições reais do funcionamento do resfriador do mosto. Esse trabalho conseguiu, além de criar um modelo computacional confiável do trocador de calor da microcervejaria da UESC, fornecer informações importantes para futuros estudos que objetivem uma análise tanto de aspectos do escoamento fluidodinâmico no equipamento, quanto de avaliação dos gastos energéticos globais referentes à aparelhagem térmica utilizada no processo.

5. Agradecimentos

À EGISATM Brewery Systems pelo apoio e disponibilização de informações que possibilitaram a realização desse trabalho. À FAPESB pela iniciativa de investimento na microcervejaria da UESC contribuindo para o desenvolvimento científico e empreendedor da região.

Referências

- BERGMAN, T. L., INCROPERA, F. P.** 2011. *Fundamentals of heat and mass transfer*. [S.l.]: John Wiley & Sons.
- FERNANDES, A. M. R.; FRENZEN, T.** *Automação e Controle em uma Micro Cervejaria Artesanal*. VIII SEGeT–Simpósio de Excelência em Gestão e Tecnologia, Resende, Rio de Janeiro, 2011.
- FLICK, E. W.** *Industrial solvents handbook*. Noyes Publications, 1985.
- GEANKOPLIS, C. J.** *Transport processes and separation process principle*. Prentice Hall Professional Technical Reference, 2003.
- KAKAÇ, S., LIU, H., PRAMUANJAROENKIJ, A.** *Heat exchangers: selection, rating, and thermal design* - CRC press, 2002.
- KHAN, T., KHAN, M. S., CHYU, M. C., AYUB, Z. H.** *Experimental investigation of single phase convective heat transfer coefficient in a corrugated plate heat exchanger for multiple plate configurations*. Applied Thermal Engineering - Elsevier, v. 30, n. 8, p. 1058–1065, 2010.
- MARIANI, V. C., PRETO, T. M.; GUEDES, A. L. P.** *Utilização do maple, matlab e scilab nos cursos de engenharia*. COBENGE 2005–Congresso Brasileiro de Ensino de Engenharia.2005. Campina Grande, Paraíba, Brasil.
- ROSA, N. A., AFONSO, J. C.** *A química da cerveja* - Química Nova na Escola, n. 37, p. 98–105, 2015.
- SAMMETA, H., PONNUSAMY, K., MAJID, M. A., DHEENATHAYALAN, K.** *Effectiveness charts for counter flow corrugated plate heat exchanger*. Simulation Modelling Practice and Theory - Elsevier, v. 19, n. 2, p. 777–784, 2011.
- SILVA, A. E., COLPO, E., DE OLIVEIRA, V. R., JUNIOR, C. G. H., HECKTHEUER, L. H. R., REICHERT, F. S.** *Elaboração de cerveja com diferentes teores alcoólicos através de processo artesanal* - Alimentos e Nutrição Araraquara, v. 20, n. 3, p. 369–374, 2010.