

UTILIZAÇÃO DO MS EXCEL E DO DWSIM COMO FERRAMENTAS COMPUTACIONAIS NO DIMENSIONAMENTO DE TROCADOR DE CALOR CASCA E TUBO

Ariklênio A. Silva – ariklenio_alves@hotmail.com

Departamento de Engenharia de Materiais

Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Campus Universitário Lagoa Nova, 59.078-970,
Natal, RN, Brasil

Ricardo S. Cunha – r.scunha@yahoo.com.br

Departamento de Engenharia Química e Engenharia de Alimentos

Universidade Federal de Santa Catarina, 88.036-400

Florianópolis, SC, Brasil

Jorge L. B. Oliveira – jorgeluz_eq@hotmail.com

Departamento de Engenharia Química

Universidade Federal do Ceará, Campus do Pici, 60.455-760

Fortaleza, CE, Brasil

Isabelly P. S. A. Henriques – isabellyazevedoo@gmail.com

Departamento de Engenharia Química

Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Campus Universitário Lagoa Nova, 59.078-970,
Natal, RN, Brasil

Ricardo A. F. Machado – ricardo.machado@ufsc.br

Departamento de Engenharia Química e Engenharia de Alimentos

Universidade Federal de Santa Catarina, 88.036-400

Florianópolis, SC, Brasil

Resumo: *Trocadores de calor são equipamentos que atuam no aquecimento e resfriamento de produtos ou ambientes. Uma visão dos conceitos envolvidos nos processos de troca térmica, bem como o dimensionamento de equipamentos para essa operação unitária deve ser entendida de forma clara e objetiva dentro do curso de engenharia química, possibilitando uma compreensão clara da relação entre as variáveis trabalhadas e suas respectivas influências em um processo químico. A utilização de ferramentas computacionais que simulem os processos surge como uma ferramenta poderosa de ensino dentro desse contexto. Neste trabalho, utilizou-se dois softwares: MS Excel e DWSIM, em comparação com um método analítico na resolução de um problema teórico envolvendo o dimensionamento de um trocador de calor. Dentre os métodos trabalhados, o MS Excel apresentou o melhor desempenho. O objetivo deste trabalho é demonstrar uma estratégia de ensino com o uso de softwares de fácil acesso, com uma interface gráfica amigável e acessível, na resolução de problemas na área de engenharia química.*

Palavras-chave: *Trocador de calor. Dimensionamento. Excel. Solver. DWSIM.*

1 INTRODUÇÃO

Os trocadores de calor estão presentes tanto em equipamentos domésticos quanto em plantas industriais, e atuam no aquecimento e resfriamento de produtos ou ambientes, produção de potência, recuperação de calor, associados ou não a outros equipamentos (PERUSSI, 2010). Seu funcionamento tem como premissa a transferência de calor, um termo utilizado para designar processos em que ocorre transferência de energia térmica de um meio para outro devido a um gradiente de temperatura, de acordo com a segunda lei da termodinâmica (INCROPERA *et al.*, 2014).

Diante disso, trocadores de calor promovem a transferência de calor entre fluidos com diferentes temperaturas, onde estes podem estar separados por uma parede sólida. São classificados de acordo com o escoamento dos fluidos e quanto à sua construção mecânica (INCROPERA *et al.*, 2014).

No desenvolvimento de um projeto de trocador de calor, as temperaturas de entrada e saída dos fluidos, o coeficiente global de transferência de calor e a área superficial de transferência de calor são essenciais para otimizar o desempenho do equipamento (INCROPERA *et al.*, 2014).

A análise da eficiência de um trocador de calor é geralmente obtida analiticamente por dois métodos: a diferença de temperatura média logarítmica (LMTD) e o método da efetividade (NUT). O LMTD é um método simples, aplicado quando se deseja determinar o comprimento do trocador, conhecendo-se as temperaturas dos fluidos ou quando for possível determiná-las por meio de um balanço de energia (CUI *et al.*, 2014). Enquanto o NUT é comumente aplicado quando se possui o comprimento do trocador de calor e as temperaturas de entrada dos fluidos, e deseja-se obter as temperaturas de saída, bem como a taxa de transferência de calor (PERUSSI, 2010).

O uso de ferramentas computacionais para realizar modelagem matemática e otimização de problemas de engenharia possui um bom grau de confiabilidade no aperfeiçoamento de projetos (PELISSON & VIEIRA, 2015). As ferramentas computacionais possuem grande diversidade conforme sua aplicação, sendo capazes de descrever processos industriais com boa precisão e otimização (COSTA *et al.*, 2015). O SOLVER do MS Excel é uma ferramenta computacional que apresenta uma interface amigável, onde os usuários podem criar planilhas eletrônicas para executar uma série de cálculos de um modo rápido e prático (FERREIRA & VIEIRA, 2017). Já o DWSIM é um software que permite a simulação de processos de engenharia química, com uma interface amigável e dinâmica, constituído de fluxogramas e figuras, o que permite ao usuário uma melhor compreensão do seu funcionamento e da fenomenologia do processo estudado (JAIN *et al.*, 2017).

O objetivo desse trabalho é comparar a eficiência de diferentes métodos no dimensionamento de trocadores de calor casco e tubo. Serão utilizados três métodos distintos: um método analítico (LMTD) e dois métodos computacionais (Solver do Microsoft Excel e DWSIM). A eficiência será obtida a partir da estimativa de erros.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

A transferência de calor ocorre quando existe uma diferença de temperatura em um meio ou entre dois meios. Classifica-se a transferência de calor em três modos distintos: condução, convecção e radiação. A transferência de calor por condução ocorre quando calor é transferido através de um meio estacionário, que pode ser um sólido ou um fluido, em que existe um gradiente de temperatura. Em contraste, a transferência de calor por convecção ocorre entre uma superfície e um fluido em movimento, por diferença de massa específica quando ambos

estão em diferentes temperaturas. Já a transferência de calor por radiação ocorre quando a energia é transferida na forma de ondas eletromagnéticas entre dois meios a diferentes temperaturas (INCROPERA *et al.*, 2014).

No âmbito da transferência de calor, existem os trocadores de calor, que são utilizados na engenharia em inúmeras aplicações, desde sistemas de aquecimento e resfriamento, como ar-condicionado, a processos químicos. Em projetos de trocadores de calor, costuma-se trabalhar com o coeficiente global de transferência de calor, U , que representa a contribuição de todos os efeitos de condução e convecção que geralmente ocorrem ao longo da área de transferência de calor (ÇENGEL & GHAJAR, 2012).

A análise de um trocador de calor envolve a escolha do tipo e tamanho do trocador que permita alcançar a mudança na temperatura especificada em um escoamento de vazão mássica conhecida. Diante disso, o método da diferença de temperatura média logarítmica (LMTD) estabelece uma relação para a diferença de temperatura média equivalente entre os dois fluidos, sendo obtida a partir do perfil real de temperatura dos fluidos ao longo do trocador de calor (ÇENGEL & GHAJAR, 2012). Uma vez especificadas as temperaturas de entrada e saída dos dois fluidos e o coeficiente global de transferência de calor, é possível determinar a área de transferência de calor (CUI *et al.*, 2014).

Em projetos de trocadores de calor, é imprescindível a investigação de fatores que otimizem o processo. Neste âmbito, as ferramentas computacionais são capazes de descrever processos industriais com boa precisão, o que reduz custos e, conseqüentemente, maximiza os lucros (COSTA *et al.*, 2015).

O suplemento SOLVER do MS Excel é uma das ferramentas computacionais mais aplicadas na resolução de problemas de engenharia tanto em âmbito acadêmico quanto industrial. Isso ocorre pelo fato desse mecanismo ser altamente acessível e versátil, apresentando uma interface amigável, o que possibilita a criação de planilhas eletrônicas, além de realizar a otimização de parâmetros do sistema por meio da simulação de dados (LIMA *et al.*, 2006).

O DWSIM é um software *open-source* compatível com os padrões CAPE-OPEN que permite a simulação de processos de engenharia química. O software foi desenvolvido com base nos modelos termodinâmicos e princípios das operações unitárias, apresentando uma interface dinâmica com fluxogramas e figuras, permitindo que o usuário possa compreender o funcionamento do fenômeno do processo e possa observá-lo macroscopicamente (JAIN *et al.*, 2017).

3 METODOLOGIA

De forma a exemplificar a utilização dos softwares avaliados neste trabalho, adotou-se um problema de engenharia química envolvendo um trocador de calor, equipamento amplamente utilizado nas indústrias químicas, para promover o resfriamento e/ou aquecimento de fluidos.

Considerou-se que o trocador de calor avaliado é utilizado para resfriar uma solução a 95% de álcool etílico (calor específico igual a 3810 J/kg.K) de 66 a 42 °C, escoando a uma vazão de 6,93 kg/s. O fluido refrigerante é água (calor específico igual a 4187 J/kg.K) disponível a 10 °C e 6,3 kg/s. O trocador é do tipo casco e tubo e possui 72 tubos com diâmetro externo igual a 0,0254 m cada. O coeficiente global de transferência de calor baseado na área externa de um tubo é igual a 568 W/m².K.

De posse dessas informações, a proposta é calcular de forma analítica a área de troca térmica e o comprimento dos tubos do trocador de calor acima descrito e, em seguida, otimizar esse dimensionamento com o auxílio do Solver no MExcel e do DWSIM. Ao final deste procedimento, será possível estimar qual método possui a melhor eficiência.

3.1 Dimensionamento analítico

O primeiro passo no dimensionamento de um trocador de calor se dá pelo método da média logarítmica da diferença de temperaturas (LMTD), que pode ser calculado pela Equação (1). Para o cálculo desta quantidade de calor trocada, foi utilizada a corrente de álcool etílico a 95%, pois esta dispõe de todas as variáveis necessárias.

$$\dot{Q}_t = \dot{M}_{\text{Álcool}} * c_{p\text{Álcool}} * (T_{\text{entÁlcool}} - T_{\text{saiÁlcool}}) \quad (1)$$

A quantidade de calor perdida pelo álcool etílico é igual à quantidade de calor recebida pela água. Dessa forma, um balanço de energia permitiu o cálculo da temperatura que a água deixa o trocador de calor. A Equação (2) mostra o cálculo realizado:

$$T_{\text{saiÁgua}} = T_{\text{entÁgua}} + \frac{\dot{M}_{\text{Álcool}} * c_{p\text{Álcool}} * (T_{\text{entÁlcool}} - T_{\text{saiÁlcool}})}{\dot{M}_{\text{Água}} * c_{p\text{Água}}} \quad (2)$$

Uma vez que a temperatura de saída da água foi determinada, é possível calcular a média logarítmica da diferença de temperaturas (LMTD) (Equação (3)), para então proceder com os cálculos necessários para a determinação da área de troca térmica do trocador de calor.

$$\Delta T_{LM} = \frac{(T_{\text{entÁlcool}} - T_{\text{saiÁgua}}) - (T_{\text{saiÁlcool}} - T_{\text{entÁgua}})}{\ln \left[\frac{(T_{\text{entÁlcool}} - T_{\text{saiÁgua}})}{(T_{\text{saiÁlcool}} - T_{\text{entÁgua}})} \right]} \quad (3)$$

O valor de ΔT_{LM} possibilitou a determinação da área de troca térmica e, conseqüentemente, do comprimento dos tubos do trocador de calor por meio das Equações (4) e (5), respectivamente.

$$\dot{Q}_t = U * A * \Delta T_{LM} \quad (4)$$

$$L = \frac{A}{\pi * d_o * n} \quad (5)$$

3.2 Otimização no Solver

O emprego do Microsoft Excel na resolução deste problema de engenharia química, visa executar o dimensionamento acima descrito de forma analítica com o auxílio de um software computacional. Esta decisão tem como objetivo minimizar os erros matemáticos inerentes aos cálculos, o que conduz a melhores resultados.

Para a execução desta parte, os dados do problema, bem como as equações de projeto utilizadas, foram inseridos em uma planilha do Microsoft Excel, como mostra a Figura 1.

Figura 1 – Planilha do Microsoft Excel com a rotina de cálculo.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K
1	DIMENSIONAMENTO DE UM TROCADOR DE CALOR CASCA E TUBO										
2											
3	Dados			Fluido Quente (Álcool Etilico)				Fluido Frio (Água)			
4	$d_o =$	0,0254	m		$C_p =$	3810	J/kg.K		$C_p =$	4187	J/kg.K
5	$n =$	72	tubos		$T_{ent} =$	66	°C		$T_{ent} =$	10	°C
6	$U =$	568	W/m ² .K		$T_{ent} =$	339,15	K		$T_{ent} =$	283,15	K
7	$A =$?	m ²		$T_{sai} =$	42	°C		$T_{sai} =$?	°C
8	$L =$?	m		$T_{sai} =$	315,15	K		$T_{sai} =$?	K
9					$M =$	6,93	kg/s		$M =$	6,3	kg/s
10											
11											
12			$Q_t =$		W		$\Delta T_{LM} =$		°C		
13			$T_{sai, \acute{a}gua} =$		°C		$A =$		m ²		
14			$T_{sai, \acute{a}gua} =$		K		$L =$		m2		

Fonte: Autoria própria.

A Tabela 1 evidencia as equações inseridas nas células que serão utilizadas no cálculo das variáveis do problema.

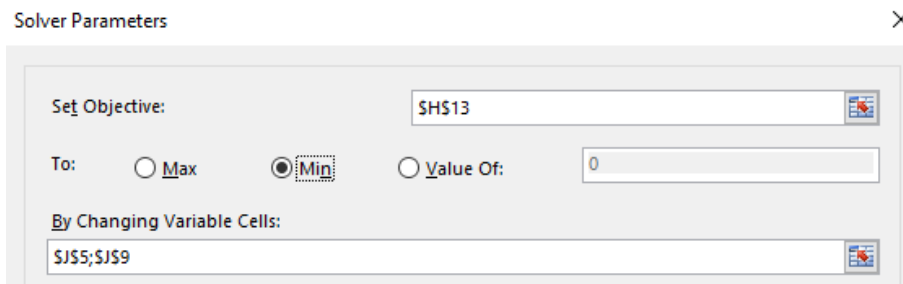
Tabela 1 – Equações inseridas nas células.

Célula	Equação
D12	(1)
D13	(2)
H12	(3)
H13	(4)
H14	(5)

Fonte: Autoria própria.

Uma vez que os dados e equações necessárias foram inseridos na planilha, a opção de resolução com o Solver foi selecionada para que se possa inserir as informações requeridas na rotina de cálculo desse suplemento. O objetivo deste problema foi minimizar o valor da área de troca térmica (célula H13) do trocador através da variação das condições iniciais do processo (temperatura e vazão de entrada da água), as quais correspondem às células J5 e J9. A janela com as informações inseridas no Solver está mostrada na Figura 2. O Solver variou os valores da temperatura e vazão de entrada da água de resfriamento de forma a encontrar o menor valor possível para a área de troca térmica necessária para que ocorra o resfriamento desejado da corrente de álcool etílico.

Figura 2 – Parâmetros adotados para a otimização com o Solver.



Solver Parameters

Set Objective:

To: Max Min Value Of:

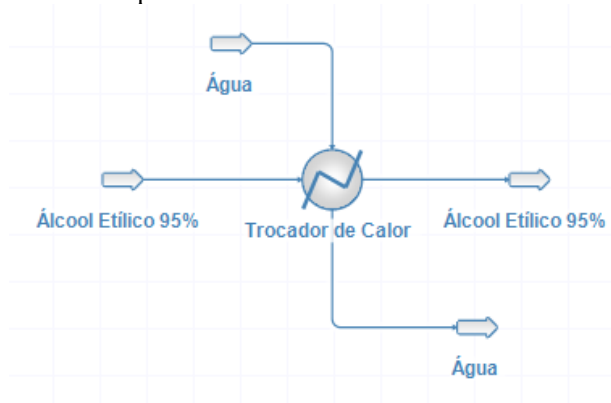
By Changing Variable Cells:

Fonte: Autoria própria.

3.3 Simulação no DWSIM

Com o intuito de avaliar o desempenho de softwares destinados à simulação e otimização de processos químicos, foi realizada uma simulação no software DWSIM. Ao criar uma nova simulação, foram inseridos os componentes relativos a este processo (água e álcool etílico), bem como foi selecionado o pacote termodinâmico (Peng Robinson) necessário para a realização dos cálculos pelo software. Em seguida, o trocador de calor foi selecionado como equipamento e as condições operacionais do mesmo foram inseridas. A Figura 3 mostra o trocador de calor e as correntes do processo.

Figura 3 – Trocador de calor com as correntes do processo no software DWSIM.



Fonte: Autoria própria.

O método de resolução foi selecionado para a determinação da área de troca térmica do trocador, uma vez que os demais parâmetros utilizados (temperaturas de entrada e saída dos fluidos, vazões mássicas e coeficiente global de troca térmica) são conhecidos.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Através da resolução das equações de projeto para o dimensionamento analítico do trocador de calor proposto, foi possível determinar as variáveis necessárias para o projeto do mesmo. Os valores calculados para os parâmetros de projeto estão listados na Tabela 2.

Tabela 2 – Valores calculados para os parâmetros de projeto.

Grandeza	Valor calculado	Unidade
Q_t	633679,2	W
$T_{sai,água}$	34,02	°C
ΔT_{LM}	31,98	°C
A	34,88	m ²
L	6,07	m

Fonte: Autoria própria.

Os valores encontrados foram otimizados com o auxílio do SOLVER no MS Excel, onde foram variados os valores da temperatura e vazão de entrada de água no trocador de calor, com o intuito de minimizar a área de troca térmica para o menor valor possível. Os resultados fornecidos pelo SOLVER após a otimização seguem descritos na Tabela 3.

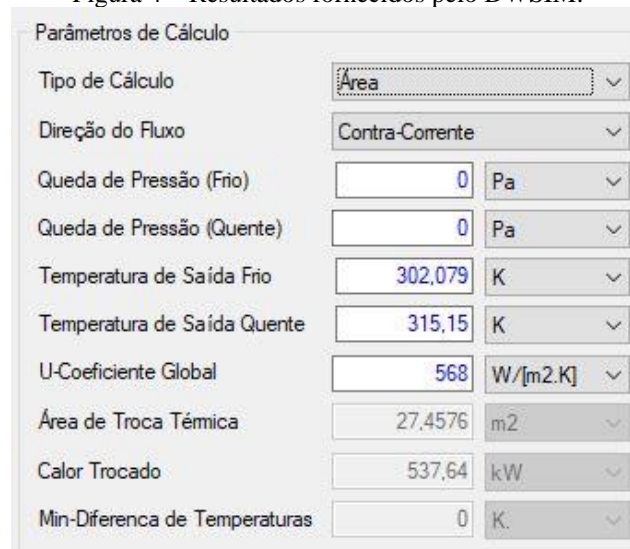
Tabela 3 – Valores fornecidos pelo SOLVER após a otimização do dimensionamento.

Parâmetro otimizado	Variável manipulada	Valor final para a variável manipulada	Área otimizada	Comprimento dos tubos otimizado
Área (A)	$T_{ent,água}$	0 °C	26,57 m ²	4,62 m

Fonte: Autoria própria.

A simulação realizada no DWSIM forneceu um valor para a área de troca térmica do trocador de calor em questão. A Figura 4 mostra os resultados fornecidos pelo software após o processo de simulação.

Figura 4 – Resultados fornecidos pelo DWSIM.



Parâmetros de Cálculo

Tipo de Cálculo	Área	
Direção do Fluxo	Contra-Corrente	
Queda de Pressão (Frio)	0	Pa
Queda de Pressão (Quente)	0	Pa
Temperatura de Saida Frio	302,079	K
Temperatura de Saida Quente	315,15	K
U-Coefficiente Global	568	W/[m ² .K]
Área de Troca Térmica	27,4576	m ²
Calor Trocado	537,64	kW
Min-Diferença de Temperaturas	0	K

Fonte: Autoria própria.

Analisando-se os valores para a área de troca térmica encontrados através dos métodos empregados neste trabalho, é notório que o processo de otimização com o auxílio do SOLVER foi o que mostrou os melhores resultados, com uma área de troca térmica de 26,57 m² contra 27,46 m² e 34,88 m² encontrados por meio do DWSIM e do dimensionamento analítico, respectivamente.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Observou-se que as metodologias propostas atenderam ao objetivo do trabalho. A utilização do Excel e DWSIM se mostrou uma boa ferramenta de ensino dentro do processo de aprendizagem, uma vez que integra a simulação de processos via softwares computacionais em comparação com soluções analíticas. Dentre as metodologias propostas, o suplemento Solver do MS Excel obteve o melhor resultado, otimizando de forma mais eficiente o problema proposto. Uma grande vantagem do uso desse software diz respeito à sua maneira de programação quando comparada a outros programas computacionais similares, permitindo que o usuário navegue e trabalhe de forma mais facilitada e ágil, mesmo possuindo pouca familiarização com o programa. Assim, o software EXCEL exibiu os melhores resultados dentre as metodologias propostas.

REFERÊNCIAS

ÇENGEL, Yunus A.; GHAJAR, Afshin J. **Transferência de calor e massa: uma abordagem prática**. 4ª ed. São Paulo: McGraw-Hill. 2012.

COSTA, E. C.; MACHADO, N. T.; ARAÚJO, M. E. Simulação do processo de produção de biodiesel de óleo de palma utilizando os softwares ASPEN HYSYS E DWSIM. In: 14º Encontro de Profissionais de Química da Amazônia, 2015, Belém. **Anais**. Belém: UFPA, 2015.

CUI, X.; CHUA, K. J.; ISLAM, M. R.; YANG, W. M. Fundamental formulation of a modified LMTD method to study indirect evaporative heat exchangers. **Energy Conversion and Management**, v.88, p. 372-381, 2014.

FERREIRA, M. C.; VIEIRA, F. T. Diagnóstico do uso de softwares computacionais no ensino de Engenharia Química. In: Proceedings da V Semana de Engenharia Química UFES, 2017, São Paulo. **Proceedings**. São Paulo: UFES, 2017.

INCROPERA, Frank P. *et al.* **Fundamentos de transferência de calor e de massa**. 7ª ed. Rio de Janeiro: LTC. 2014.

JAIN, R.; MOUDGALYA, K. M.; FRITZON, P; POP, A. Development of a Thermodynamic Engine in OpenModelica. In: Proceedings da 12th International Modelica Conference, 2017, Praga. **Proceedings**. Praga, 2017.

LIMA, O. C. M.; UEMURA, V. O.; VARESCHINI, D. T.; DE BARROS, M. A. S. D. Excel como ferramenta didática de apoio na implantação de metodologias de cálculo e análise de sistemas de evaporação. In: XXXIV – Congresso Brasileiro de Ensino de Engenharia, 2006, Passo Fundo. **Anais**. Passo Fundo: UPF, 2006.

PELISSON, G. T.; VIEIRA, F. T. Intensificação do uso de ferramentas computacionais nos cursos de graduação em engenharia química – A experiência da UFES, Campus Alegre. In: XI – Congresso Brasileiro de Engenharia Química em Iniciação Científica, 2015, Campinas. **Anais**. Campinas: UNICAMP, 2015.

PERUSSI, Ronaldo. **Análise do desempenho de trocadores de calor de fluxo cruzado por simulação numérica**. 2010. 138 f. Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2010.



COBENGE

2019

XLVII Congresso Brasileiro
de Educação em Engenharia
e II Simpósio Internacional
de Educação em Engenharia
da ABENGE

17 a 20 SETEMBRO de 2019

Fortaleza - CE

"Formação por competência na engenharia
no contexto da globalização 4.0"

USE OF SOLVER AND DWSIM AS COMPUTER SOFTWARE TOOLS IN THE DESIGN OF SHELL AND TUBE HEAT EXCHANGERS

Abstract: Heat exchangers are equipment used on heating and cooling of products or environments. A view of the concepts involved in the processes of thermal exchange, as well as the sizing of equipment for this unitary operation, must be understood in a clear and objective way within the course of chemical engineering, enabling an understanding of the relationship between the variables and their respective influences in a chemical process. The use of computational software that simulate processes appears as a powerful teaching tool within this context. In this work, two software were used: Excel and DWSIM, compared to an analytical method in order to solve a theoretical problem involving the design of a heat exchanger. Among the methods studied, MS Excel presented the best results. The objective of this work was to demonstrate teaching strategy with the use of a computer software tool of easy access, with a friendly and accessible graphical interface, in solving problems of chemical engineering.

Keywords: Heat exchanger. Design. Excel. Solver. DWSIM.

Promoção:



Associação Brasileira de Educação em Engenharia

Realização:



FACULDADE
ARI DE SÁ



UNIVERSIDADE
FEDERAL DO CEARÁ

Organização local do evento:

