

Ensino de Ciências e Educação Matemática 2

Felipe Antonio Machado Fagundes Gonçalves
(Organizador)

Atena
Editora

Ano 2019

Felipe Antonio Machado Fagundes Gonçalves
(Organizador)

Ensino de Ciências e Educação Matemática 2

Atena Editora
2019

2019 by Atena Editora

Copyright © da Atena Editora

Editora Chefe: Profª Drª Antonella Carvalho de Oliveira

Diagramação e Edição de Arte: Geraldo Alves e Karine de Lima

Revisão: Os autores

Conselho Editorial

Prof. Dr. Alan Mario Zuffo – Universidade Federal de Mato Grosso do Sul
Prof. Dr. Álvaro Augusto de Borba Barreto – Universidade Federal de Pelotas
Prof. Dr. Antonio Carlos Frasson – Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Prof. Dr. Antonio Isidro-Filho – Universidade de Brasília
Profª Drª Cristina Gaio – Universidade de Lisboa
Prof. Dr. Constantino Ribeiro de Oliveira Junior – Universidade Estadual de Ponta Grossa
Profª Drª Daiane Garabeli Trojan – Universidade Norte do Paraná
Prof. Dr. Darllan Collins da Cunha e Silva – Universidade Estadual Paulista
Profª Drª Deusilene Souza Vieira Dall’Acqua – Universidade Federal de Rondônia
Prof. Dr. Eloi Rufato Junior – Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Prof. Dr. Fábio Steiner – Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul
Prof. Dr. Gianfábio Pimentel Franco – Universidade Federal de Santa Maria
Prof. Dr. Gilmei Fleck – Universidade Estadual do Oeste do Paraná
Profª Drª Girlene Santos de Souza – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia
Profª Drª Ivone Goulart Lopes – Istituto Internazionele delle Figlie de Maria Ausiliatrice
Profª Drª Juliane Sant’Ana Bento – Universidade Federal do Rio Grande do Sul
Prof. Dr. Julio Candido de Meirelles Junior – Universidade Federal Fluminense
Prof. Dr. Jorge González Aguilera – Universidade Federal de Mato Grosso do Sul
Profª Drª Lina Maria Gonçalves – Universidade Federal do Tocantins
Profª Drª Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte
Profª Drª Paola Andressa Scortegagna – Universidade Estadual de Ponta Grossa
Profª Drª Raissa Rachel Salustriano da Silva Matos – Universidade Federal do Maranhão
Prof. Dr. Ronilson Freitas de Souza – Universidade do Estado do Pará
Prof. Dr. Takeshy Tachizawa – Faculdade de Campo Limpo Paulista
Prof. Dr. Urandi João Rodrigues Junior – Universidade Federal do Oeste do Pará
Prof. Dr. Valdemar Antonio Paffaro Junior – Universidade Federal de Alfenas
Profª Drª Vanessa Bordin Viera – Universidade Federal de Campina Grande
Profª Drª Vanessa Lima Gonçalves – Universidade Estadual de Ponta Grossa
Prof. Dr. Willian Douglas Guilherme – Universidade Federal do Tocantins

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP) (eDOC BRASIL, Belo Horizonte/MG)

E59 Ensino de ciências e educação matemática 2 [recurso eletrônico] /
Organizador Felipe Antonio Machado Fagundes Gonçalves. –
Ponta Grossa (PR): Atena Editora, 2019. – (Ensino de ciências e
educação matemática – v.2)

Formato: PDF

Requisitos de sistema: Adobe Acrobat Reader

Modo de acesso: World Wide Web

Inclui bibliografia

ISBN 978-85-7247-072-8

DOI 10.22533/at.ed.728192501

1. Educação. 2. Prática de ensino. 3. Professores – Formação.
I. Gonçalves, Felipe Antonio Machado Fagundes.

CDD 370.1

Elaborado por Maurício Amormino Júnior – CRB6/2422

O conteúdo dos artigos e seus dados em sua forma, correção e confiabilidade são de
responsabilidade exclusiva dos autores.

2019

Permitido o download da obra e o compartilhamento desde que sejam atribuídos créditos aos
autores, mas sem a possibilidade de alterá-la de nenhuma forma ou utilizá-la para fins comerciais.

www.atenaeditora.com.br

APRESENTAÇÃO

A obra “Ensino de Ciências e Educação Matemática”, em seu segundo volume, contém vinte capítulos que abordam as Ciências sob uma ótica de Ensino nas mais diversas etapas da aprendizagem.

Os capítulos encontram-se divididos em cinco seções: Ensino de Ciências e Biologia, Ensino de Física, Educação Matemática, Educação Ambiental e Ciência e Tecnologia.

As seções dividem os trabalhos dentro da particularidade de cada área, incluindo pesquisas que tratam de estudos de caso, pesquisas bibliográficas e pesquisas experimentais que vêm contribuir para o estudo das Ciências, desenvolvendo propostas de ensino que podem corroborar com pesquisadores da área e servir como aporte para profissionais da educação.

No que diz respeito à Educação Matemática, este trabalho pode contribuir grandemente para os professores e estudantes de Matemática, por meio de propostas para o ensino e aprendizagem, que garantem o avanço das ciências exatas e também fomentando propostas para o Ensino Básico e Superior.

Indubitavelmente esta obra é de grande relevância, pois proporciona ao leitor um conjunto de trabalhos acadêmicos de diversas áreas de ensino, permeados de tecnologia e inovação.

Felipe Antonio Machado Fagundes Gonçalves

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1	1
O MODELO DIDÁTICO DA MOLÉCULA DE DNA: CONSTRUÇÃO E UTILIZAÇÃO NO ENSINO DA BIOLOGIA	
Daiane Cristina Ferreira Golbert Pollyana Secundo de Oliveira Ferreira Iara Ingrid de Assis Rony Robson Fideles de Souza	
DOI 10.22533/at.ed.7281925011	
CAPÍTULO 2	10
O USO DE JOGOS APLICADO AO ENSINO DE CIÊNCIAS NATURAIS: UM ESTUDO DE CASO	
Elaine Santana de Souza Gerson Tavares do Carmo Mariana Monteiro Soares Crespo de Alvarenga	
DOI 10.22533/at.ed.7281925012	
CAPÍTULO 3	27
EMERGÊNCIA DOS ERROS NUMA ATIVIDADE EXPERIMENTAL EM DESACORDO AO REDUACIONISMO	
Thales Cerqueira Mendes Bruno de Andrade Martins Kelison Ricardo Teixeira	
DOI 10.22533/at.ed.7281925013	
CAPÍTULO 4	38
IMPACTOS DO PIBID NA VIDA PROFISSIONAL DO EGRESSO DO CURSO DE LICENCIATURA EM FÍSICA NO IFNMG- CAMPUS JANUÁRIA	
Pollyana Antunes de Oliveira Edinei Canuto Paiva	
DOI 10.22533/at.ed.7281925014	
CAPÍTULO 5	59
UM DIAGNÓSTICO SOBRE A ABORDAGEM DO TEMA “COSMOLOGIA” NA LITERATURA E NO ENSINO DE FÍSICA EM ESCOLAS DE CAJAZEIRAS-PB	
Heydson Henrique Brito Da Silva Mauro Parnaíba Duarte	
DOI 10.22533/at.ed.7281925015	
CAPÍTULO 6	68
SISTEMA MONETÁRIO: UMA EXPERIÊNCIA NO ENSINO DA MATEMÁTICA FINANCEIRA NOS ANOS INICIAIS DO ENSINO FUNDAMENTAL	
Ana Luisa Tenório dos Santos Aline Jaislane de Souza Tavares	
DOI 10.22533/at.ed.7281925016	

CAPÍTULO 7 74

UTILIZAÇÃO DO APLICATIVO RÉGUA E COMPASSO COMO RECURSO METODOLÓGICO NO ENSINO E ESTUDO DE ÂNGULOS

Islaine Conceição Pereira Bezerra
Igor Brendol Pereira Morais
Abigail Fregni Lins

DOI 10.22533/at.ed.7281925017

CAPÍTULO 8 82

O ESTÁGIO CURRICULAR SUPERVISIONADO NO CURSO DE PEDAGOGIA E O ENSINO DA MATEMÁTICA ESCOLAR: MAPEANDO DISSERTAÇÕES E TESES

Jónata Ferreira de Moura

DOI 10.22533/at.ed.7281925018

CAPÍTULO 9 96

O IMAGINÁRIO DE ESTUDANTES DE LICENCIATURAS EM MATEMÁTICA DE SÃO LUÍS - MA SOBRE A EJA

Rayane de Jesus Santos Melo
Maria Consuelo Alves Lima

DOI 10.22533/at.ed.7281925019

CAPÍTULO 10 108

O PROCESSO DE JUVENILIZAÇÃO E POSSIBILIDADES PARA O ENSINO DE MATEMÁTICA NA EDUCAÇÃO DE JOVENS E ADULTOS

Rayane de Jesus Santos Melo
Maria Consuelo Alves Lima

DOI 10.22533/at.ed.72819250110

CAPÍTULO 11 119

APLICAÇÃO DA TÉCNICA DE ESTABILIZAÇÃO POR SOLIDIFICAÇÃO A PARTIR DA INCORPORAÇÃO DE RESÍDUO DE GRANITO EM MATRIZ CIMENTÍCIA VISANDO SUA UTILIZAÇÃO COMO CONSTITUINTE DE CONCRETO PARA PISOS

Mário Gomes da Silva Júnior
André Luiz Fiquene de Brito
Ana Cristina Silva Muniz

DOI 10.22533/at.ed.72819250111

CAPÍTULO 12 134

APLICAÇÃO DE ARGILAS ESMECTÍCIAS ORGANOFÍLICAS NA ADSORÇÃO DE EFLUENTES PETROLÍFEROS EM SISTEMA DE BANHO FINITO

Joseane Damasceno Mota
Rochelia Silva Souza Cunha
Luana Araújo de Oliveira
Patrícia Noemia Mota de Vasconcelos
Meiry Glauca Freire Rodrigues

DOI 10.22533/at.ed.72819250112

CAPÍTULO 13 146

BLOCO DE GESSO E ISOPOR PARA VEDAÇÕES VERTICAIS INTERNAS EM ALVENARIA NÃO ESTRUTURAL

Daniel Pessanha de Queiroz
Cristiane Rodrigues Macedo
Cláudio Luis de Araújo Neto

DOI 10.22533/at.ed.72819250113

CAPÍTULO 14 149

ISOLAMENTO DA MICOTA ANEMÓFILA PRESENTE NA SALA DE MEMORIAL DA BIBLIOTECA JOSEPH MESEL DO IFPE – CAMPUS RECIFE

Francisco Braga da Paz Junior
Davi Nilson Mendonça Souza
Eliana Santos Lyra da Paz
Carlos Fernando Rodrigues Guaraná
Lindeberg Rocha Freitas
Ubirany Lopes Ferreira

DOI 10.22533/at.ed.72819250114

CAPÍTULO 15 155

ISOLAMENTO DE LEVEDURAS DA VAGEM DA ALGAROBA (PROPOPIS JULIFLORA) E ANÁLISE DA ATIVIDADE AMILOLÍTICA E FERMENTATIVA DOS ISOLADOS

Caroliny Hellen Azevedo da Silva
Rayane Dias dos Santos
Jonas Luiz Almada da Silva

DOI 10.22533/at.ed.72819250115

CAPÍTULO 16 166

OTIMIZAÇÃO DA VAZÃO DE FLUIDO REFRIGERANTE E ÁREA DE TROCA TÉRMICA DE UM TROCADOR DE CALOR CONTRA-CORRENTE

Mário Gomes da Silva Júnior
Camila Barata Cavalcanti
Josiele Souza Batista Santos

DOI 10.22533/at.ed.72819250116

CAPÍTULO 17 177

PREVALÊNCIA DE FUNGOS ANEMÓFILOS COLETADOS NA SALA DE ACERVOS DA BIBLIOTECA DO IFPE – CAMPUS RECIFE

Eliana Santos Lyra da Paz
Thayná Lacerda Almeida
Francisco Braga da Paz Junior
Carlos Fernando Rodrigues Guaraná
Clécio Florêncio de Queiroz
Maria do Livramento Ferreira Lima

DOI 10.22533/at.ed.72819250117

CAPÍTULO 18 183

UMA PROPOSTA MODERNA DA ELETRÓLISE DE MICHAEL FARADAY

Mateus Carneiro Guimarães dos Santos
Maria Danielly Lima Santos
Mayana Mirelly Horta Santos
Erivanildo Lopes da Silva

DOI 10.22533/at.ed.72819250118

CAPÍTULO 19 192

MÓDULO AUTOMATIZADO DE MONITORAMENTO DE SOLO

Alysson Ramon do Amaral Andrade
Alexandre da Silva Coelho Barbosa
Douglas Cassiano da Silva
Francisco Cassimiro Neto
Jadson de Oliveira Viana
José Alves do Nascimento Neto

DOI 10.22533/at.ed.72819250119

CAPÍTULO 20 197

PROCESSO GTAW: NOVAS TECNOLOGIAS

Geovanna Vitória da Silva Gonçalves
Marcos Mesquita da Silva
Thalyne Keila Menezes da Costa
Divanira Ferreira Maia
Jomar Meireles Barros

DOI 10.22533/at.ed.72819250120

SOBRE O ORGANIZADOR..... 203

OTIMIZAÇÃO DA VAZÃO DE FLUIDO REFRIGERANTE E ÁREA DE TROCA TÉRMICA DE UM TROCADOR DE CALOR CONTRA-CORRENTE

Mário Gomes da Silva Júnior

Universidade Federal de Campina Grande,
Departamento de Engenharia Química
Campina Grande – Paraíba

Camila Barata Cavalcanti

Universidade Federal de Campina Grande,
Departamento de Engenharia Química
Campina Grande – Paraíba

Josiele Souza Batista Santos

Universidade Federal de Campina Grande,
Departamento de Engenharia Química
Campina Grande – Paraíba

RESUMO: O trocador de calor consiste em um equipamento de ampla aplicação industrial que objetiva alcançar temperaturas desejadas para correntes de processo. Este representa uma grande parcela da energia gasta nas indústrias, e por isso, mostra-se fundamental seu estudo para otimização de custos. O estudo consiste na determinação da temperatura de saída do fluido refrigerante e área de troca térmica ótima para um trocador de calor simples do tipo casco e tubo, com 1 passo em cada uma das regiões (1-1), em modo de operação contracorrente com um tempo de operação anual de 8640 horas, para o arrefecimento de uma corrente de processo quente. A partir da modelagem matemática do fenômeno obteve-se a função objetivo do sistema, relacionada ao critério de desempenho

do equipamento, e a mesma foi minimizada através do método da *Golden Section*. Todo o processo de otimização foi desenvolvido no software *MatLab*[®]. Desta forma, com base nos resultados obtidos foi realizada a análise do comportamento da função objetivo em função da temperatura de saída e da vazão de fluido refrigerante e finalmente foram alcançados os valores ótimos para o processo proposto.

PALAVRAS-CHAVE: Trocador de calor, Otimização, Golden Section.

ABSTRACT: The heat exchanger consists of an equipment of wide industrial application that aims to achieve desired temperatures for process currents. This represents a large part of the energy spent in the industries, and therefore, it is fundamental its study for cost optimization. The study consists in the determination of the refrigerant exit temperature and optimum thermal exchange area for a simple heat exchanger of the shell and tube type, with 1 step in each one of the regions (1-1), in countercurrent operation mode with an annual operating time of 8640 hours, for a hot process stream cooling. From the phenomenon mathematical modeling, the system objective function was obtained, related to the performance criterion of the equipment, and it was minimized through the Golden Section method. The entire optimization process was developed in *MatLab*[®] software. Thus, based on

the obtained results, the objective function behavior was analyzed as a function of the outlet temperature and the refrigerant flow rate, and finally, the optimum values were reached for the proposed process.

KEYWORDS: Heat exchanger, Optimization, Golden Section.

1 | INTRODUÇÃO

1.1 Trocadores de Calor

A troca de calor entre fluidos de diferentes temperaturas é de suma importância e possui diversas funções na engenharia (TONASSI *et al.*, 2014). O equipamento usado para implementar essa troca térmica é conhecido como trocador de calor (INCROPERA *et al.*, 2008), e suas aplicações industriais englobam desde o aquecimento/resfriamento de correntes de processo, com ou sem mudança de fase, até o contato direto ar-água nas torres de resfriamento da central de utilidades (FILHO, 2007). Esse dispositivo representa uma grande parcela da energia gasta no processo de uma indústria, e por isso, esforços têm sido despendidos em termos de pesquisa para aprimorar e otimizar estes sistemas (PERUSSI, 2010).

O estudo consiste na determinação da temperatura de saída do fluido refrigerante e área de troca térmica ótima para um trocador de calor simples do tipo casco e tubo com 1 passo em cada uma das regiões (1-1), em modo de operação contra-corrente, ou seja, os fluidos quente e frio entram e saem do sistema por extremidades opostas, como representado na Figura 1. O trocador de calor apresenta um tempo de operação de 8640 horas por ano.

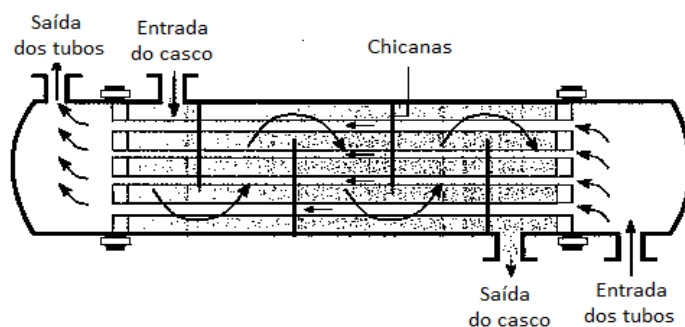


Figura 1: Trocador de calor casco e tubo com um passe no casco e um passe no tubo (modo de operação contra-corrente).

Fonte: INCROPERA *et al.*, 2008.

No sistema em estudo, a corrente de processo apresenta um fluxo mássico de $1000 \frac{Kg}{h}$ e uma temperatura de entrada $T_1 = 90^\circ C$. Esta precisa ser resfriada a $T_2 = 50^\circ C$ por uma corrente fria disponível a temperatura $t_2 = 30^\circ C$, como mostrado na Figura 2.

Tanto o fluido de processo quanto o fluido refrigerante consiste em água, apresentando então uma capacidade calorífica de $1 \frac{kcal}{kg \cdot ^\circ C}$. O coeficiente global de troca térmica do equipamento é $U = 500 \frac{kcal}{h \cdot m^2 \cdot ^\circ C}$.

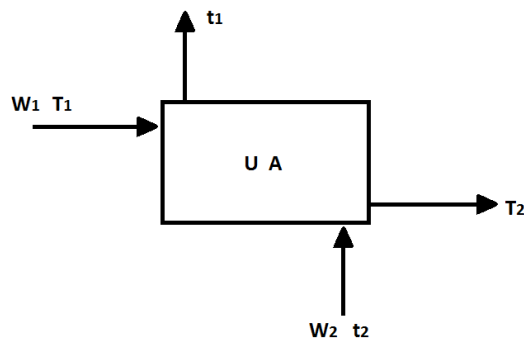


Figura 2: Trocador de calor com representação das temperaturas das correntes.

Fonte: Elaborada pelos Autores.

1.2 Análise Econômica

A análise do custo ótimo para a aquisição e operação do trocador de calor será fundamentada nas seguintes informações relacionadas ao custo global do processo:

- Investimento do trocador de calor: $3200 \left(\frac{A}{50}\right)^{0,48}$ \$, onde A corresponde a área de troca térmica do equipamento em m^2 ;
- Custo do fluido refrigerante: $5 \times 10^{-6} \frac{\$}{kg}$;
- Custo de manutenção: 2% do investimento/ano.

O critério de desempenho do equipamento (função que deve ser minimizada), mostrado a seguir, relaciona o custo operacional e custos de investimento, onde o custo operacional corresponde a soma dos custos de fluido refrigerante e custos de manutenção.

Critério de Desempenho: Custo Anual = 50% Custo Operacional + 10% ao ano sobre o investimento.

Para se otimizar a operação de troca térmica, é necessária a minimização do critério de desempenho para um menor custo anual, e dessa forma, a partir deste, se torna possível a determinação de valores ótimos para a temperatura de saída do fluido refrigerante, vazão da corrente de fluido refrigerante, e a área de troca térmica do trocador de calor. Pretende-se, através desse estudo, conectar conhecimentos da área da Engenharia Química, entre eles, fundamentos de transferência de calor, e a apresentação e uso do método de otimização da *Golden Section*, que foi implementado no *software* Matlab®.

2 | METODOLOGIA

Inicialmente foi calculada a quantidade de calor cedida pela corrente de fluido quente, dada pela Equação (1):

$$q_{\text{hot}} = W_1 C_p (T_1 - T_2) \quad (1)$$

Substituindo os devidos valores na Equação (1), temos:

$$q_{\text{hot}} = 1000 \left(\frac{\text{kg}}{\text{h}} \right) \times 1 \left(\frac{\text{kcal}}{\text{kg} \cdot ^\circ\text{C}} \right) \times (90 - 50) (^\circ\text{C}) \quad (2)$$

Logo,

$$q_{\text{hot}} = 40000 \frac{\text{kcal}}{\text{h}} \quad (3)$$

É importante salientar que no trocador de calor, considerou-se que o calor cedido pelo fluido quente é igual ao calor recebido pelo fluido refrigerante, sendo a quantidade de calor transferida para o ambiente desprezível. Numa situação industrial este comportamento pode ser alcançado com a utilização de um eficiente sistema de isolamento térmico.

Visto que o custo do fluido refrigerante $C_{\text{ref}} = 5 \times 10^{-6} \frac{\$}{\text{kg}}$; e tempo de operação, $t = 8640 \frac{\text{hrs}}{\text{ano}}$, o custo de refrigeração em $\frac{\$}{\text{ano}}$ é dado por:

$$C_{\text{refrigerante}} = C_{\text{ref}} W_2 t \quad (4)$$

O custo de manutenção do equipamento corresponde a 2% do investimento por ano, $C_{\text{investimento}} = 3200 \left(\frac{\text{A}}{50} \right)^{0,48}$. Logo,

$$C_{\text{manutenção}} = 0,02 C_{\text{investimento}} \quad (5)$$

$$C_{\text{manutenção}} = 0,02 \times 3200 \left(\frac{\text{A}}{50} \right)^{0,48} \quad (6)$$

O custo operacional é obtido da seguinte forma:

$$C_{\text{operacional}} = C_{\text{refrigerante}} + C_{\text{manutenção}} \quad (7)$$

Substituindo as Equações (4) e (6) na Equação (7):

$$C_{\text{operacional}} = C_{\text{ref}} W_2 t + 0,02 \times 3200 \left(\frac{\text{A}}{50} \right)^{0,48} \quad (8)$$

Sabendo que a função objetivo do problema, a ser minimizada, corresponde a função custo do critério de desempenho do trocador de calor, temos que:

$$C_{\text{anual}} = 0,5C_{\text{operação}} + 0,1C_{\text{investimento}} \quad (9)$$

$$C_{\text{anual}} = 0,5 \left[C_{\text{ref}} W_2 t + 0,02 \times 3200 \left(\frac{A}{50} \right)^{0,48} \right] + 0,1 \left[3200 \left(\frac{A}{50} \right)^{0,48} \right] \quad (10)$$

Visto que o custo anual do critério de desempenho se encontra em função de duas variáveis A e W_2 , o balanço de energia do sistema foi realizado no intuito de tornar a função objetivo uma função de apenas uma dessas duas variáveis, que se encontram relacionadas entre si.

O balanço de energia para o sistema em estudo pode ser dado pela Equação (11).

$$\Delta H = W + Q \quad (11)$$

Considerando que não há trabalho sendo realizado sobre ou pelo sistema e que não existe nenhuma fonte de calor externa ao equipamento, além de assumir isolamento do mesmo :

$$\Delta H = 0 \quad (12)$$

$$H_s - H_e = 0 \quad (13)$$

$$(W_1 C_p T_2 + W_2 C_p t_1) - (W_1 C_p T_1 + W_2 C_p t_2) = 0 \quad (14)$$

$$W_2 C_p (t_1 - t_2) = W_1 C_p (T_1 - T_2) \quad (15)$$

$$W_2 = \frac{W_1 (T_1 - T_2)}{(t_1 - t_2)} \quad (16)$$

Pode-se observar que a Equação (16) está em função de t_1 . Logo, a área (A) também deve ser colocada em função de t_1 . Conhecendo a quantidade de calor trocada pelos fluidos, podemos aplicá-la na Equação (17), que representa a quantidade de calor trocado pelo trocador de calor:

$$Q = UA \left[\frac{\Delta t_1 - \Delta t_2}{\ln \left(\frac{\Delta t_1}{\Delta t_2} \right)} \right] \quad (17)$$

Isolando a variável A , temos:

$$A = \frac{Q}{U \left[\frac{\Delta t_1 - \Delta t_2}{\ln \left(\frac{\Delta t_1}{\Delta t_2} \right)} \right]} \quad (18)$$

Portanto, substituindo as Equações (16) e (18) na Equação (10) temos a função

objetivo do problema.

$$C = 0,5 \left[C_{ref} \left(\frac{W_1(T_1 - T_2)}{(t_1 - t_2)} \right) t + 0,02 * 3200 \left(\frac{\left(\frac{Q}{U \frac{\Delta T_1 - \Delta T_2}{\ln(\frac{\Delta T_1}{\Delta T_2})}} \right)}{50} \right)^{0,48} \right] + 0,1 \left[3200 \left(\frac{Q}{U \frac{\Delta T_1 - \Delta T_2}{\ln(\frac{\Delta T_1}{\Delta T_2})}} \right)^{0,48} \right] \quad (19)$$

Com a formulação matemática detalhada e a função objetivo determinada, foi implementado o método de otimização do *Golden Section* no *software* MatLab® para a resolução do problema.

2.1 Golden Section

O método da *Golden Section* é uma simples técnica de busca, de propósito geral, em uma única variável. O intervalo de busca deve conter um único valor ótimo, sendo assim, unimodal (CHAPRA & CANALE, 2008).

A ideia fundamental no procedimento da redução intervalar consiste na permanência da razão entre as distâncias dos 4 pontos de análise a cada iteração.

Considere a seguinte representação intervalar, mostrada na Figura 3.

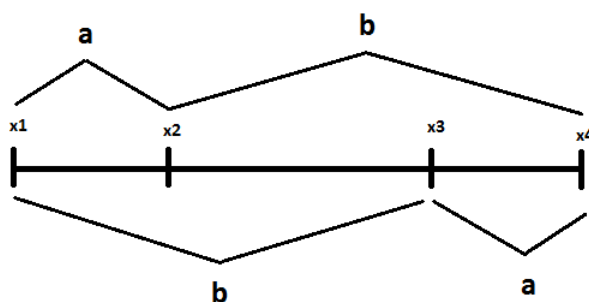


Figura 3: Representação intervalar utilizada no método da *Golden Section*.

Fonte: Elaborada pelos Autores.

Suponhamos que no processo de busca do ponto de mínimo em um intervalo unimodal, verifica-se que o ponto x_2 apresenta o maior valor quando aplicado a função objetivo. Dessa forma, este ponto deve ser eliminado e um novo ponto deve ser calculado objetivando a redução intervalar. Para que as distâncias entre os pontos se mantenham proporcionalmente constantes, a seguinte relação deve ser obedecida.

$$\frac{b}{a+b} = \frac{a}{b} \quad (20)$$

Considerando a razão $\frac{a}{b} = \tau$, temos que:

$$\frac{a+b}{b} = \frac{b}{a} \rightarrow \frac{a}{b} + 1 = \frac{b}{a} \rightarrow \tau + 1 = \frac{1}{\tau} \rightarrow \tau^2 + \tau - 1 = 0 \quad (21)$$

E os valores de T que satisfazem a equação (21) são dados a seguir:

$$T = \frac{-1 \pm \sqrt{5}}{2} \quad (22)$$

Sabendo-se que o valor de T deve ser positivo, o único valor que pode ser considerado é o valor de $\tau = \frac{-1 + \sqrt{5}}{2} = 0,618033988$, chamado de razão de ouro.

Em seguida, considera-se um intervalo unitário onde $a+b=1$ e $T=b$. A partir do valor de T, o valor intermediário calculado a cada iteração, que depende de qual dos 2 extremos será eliminado (aquele em que a função tiver o maior valor), pode ser determinado como mostra as Equações (24) e (26):

$$\frac{1}{x_4 - x_1} = \frac{\tau}{x_3 - x_1} \quad (23)$$

$$x_3 = x_1 + \tau(x_4 - x_1) \quad (24)$$

$$\frac{1}{x_4 - x_1} = \frac{\tau}{x_4 - x_2} \quad (25)$$

$$x_2 = x_4 - \tau(x_4 - x_1) \quad (26)$$

O método consiste na redução intervalar de procura a partir da análise e comparação dos valores da função nos pontos calculados. Este tem como vantagem o fato de não trabalhar com o cálculo de derivadas. Porém, como ponto negativo apresenta a possibilidade da necessidade de muitas iterações, tornando o processo exaustivo, dependendo do tamanho do intervalo inicial de busca.

3 | RESULTADOS E DISCUSSÕES

Na Figura 4, pode-se observar o comportamento da função custo do critério de desempenho, a partir da variação da temperatura de saída da corrente fria (t_1).

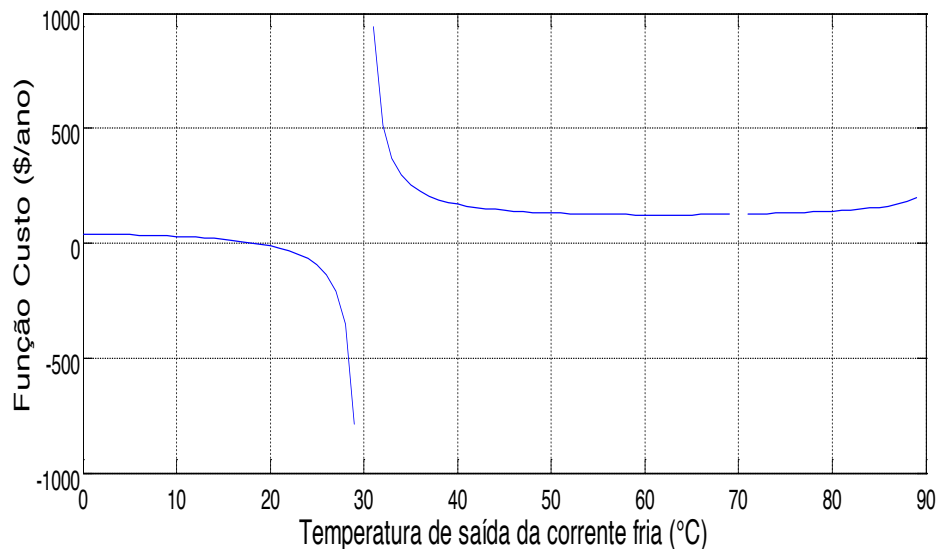


Figura 4: Gráfico da Função custo (\$/ano) do critério de desempenho versus Temperatura da saída da corrente fria (°C).

Fonte: Elaborada pelos Autores.

Observando a Figura 4 verifica-se a existência de 3 regiões distintas a serem avaliadas. Como a corrente fria entra a 30°C e está sendo aquecida não é fisicamente possível que a temperatura de saída desta corrente seja menor do que 30°C. Desta forma, é possível afirmar que o intervalo $]-\infty, 30^{\circ}\text{C}[$ não faz parte do domínio da função custo do critério de desempenho. Dos fundamentos de trocadores de calor, sabe-se que as curvas de temperatura de saída e entrada das correntes fria e quente, respectivamente, não se tocam. Como a temperatura de entrada da corrente quente é 90°C, a temperatura de saída da corrente fria não pode fisicamente ser maior que esta.

A partir da Figura 4 podemos ainda observar uma descontinuidade da função na temperatura de 70°C. Esta se justifica pelo fato do cálculo da média logarítmica da diferença das temperaturas (MLDT) ser indefinida nesse ponto. Após assumir essas restrições para a variável temperatura de saída do fluido refrigerante, temos que o domínio a ser analisado da nossa função custo se encontra no intervalo $]30, 90^{\circ}\text{C}[$.

A Figura 5 apresenta o gráfico da função objetivo no intervalo de viabilidade física para a temperatura de saída do fluido refrigerante como explicado anteriormente.

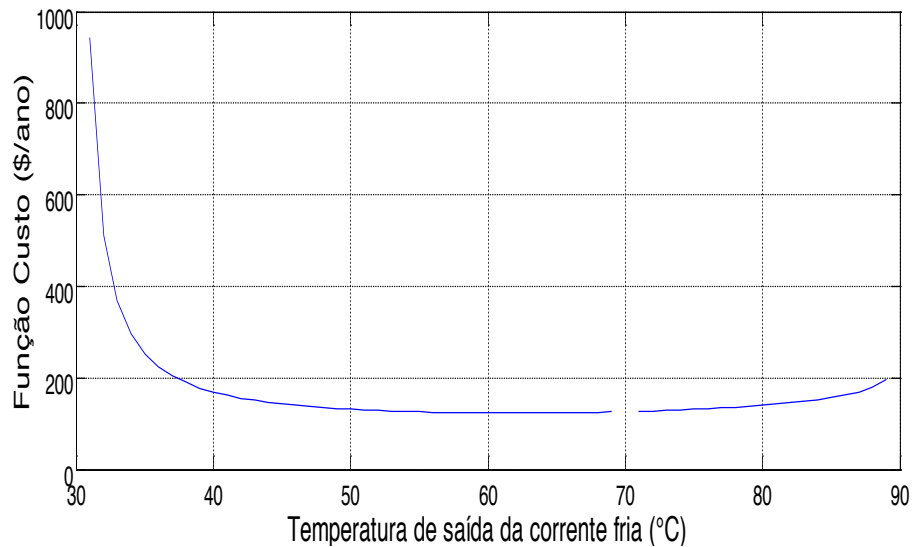


Figura 5: Gráfico da Função custo (\$/ano) versus Temperatura da saída da corrente fria (°C), no intervalo de 30 a 90 °C.

Fonte: Elaborada pelos Autores.

Os dados resultantes da simulação feita na plataforma MatLab® são agrupados na Tabela 1 e 2 a seguir. A Tabela 1 indica os valores ótimos da temperatura de saída do fluido frio, vazão da corrente de refrigerante, área de troca térmica e custo anual do processo.

Temperatura de saída do fluido frio (°C)	61,67276001
Área de troca térmica (m²)	3,34412470
Vazão da corrente refrigerante (Kg/h)	1262,91488294
Custo anual do critério de desempenho (\$/ano)	123,37215882

Tabela 1: Resultados dos valores ótimos obtidos.

Fonte: Elaborada pelos autores.

A Tabela 2 apresenta os custos de investimento, refrigerante, manutenção e operação do processo otimizado.

Custo de investimento (\$/ano)	873,57452138
Custo de refrigerante (\$/ano)	54,55792294
Custo de manutenção (\$/ano)	17,47149043
Custo de operação (\$/ano)	72,02941337
Custo anual do critério de desempenho (\$/ano)	123,37215882

Tabela 2: Resultados para os custos individuais do processo.

Fonte: Elaborada pelos autores.

A partir da Tabela 2, verifica-se que o custo ótimo do processo calculado foi de \$945,60, sendo este a soma dos custos de investimento e operação.

Fazendo a avaliação dos resultados com respeito a função custo anual, pode-se observar as mesmas conclusões já tomadas anteriormente com relação aos intervalos de operação da temperatura de saída da corrente fria. A Figura 6 demonstra o comportamento da função custo anual em função da vazão de fluido refrigerante. A partir da mesma é possível observar que há uma mudança de comportamento da função no ponto onde a vazão de fluido refrigerante é 667 Kg/h, aproximadamente.

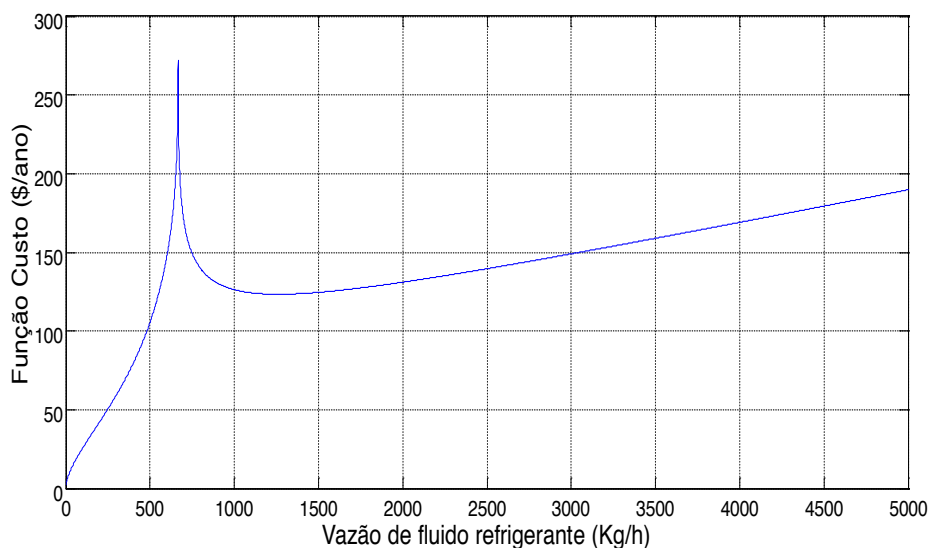


Figura 6: Gráfico do custo anual (\$/ano) em função da vazão de fluido refrigerante (Kg/h).

Fonte: Elaborada pelos Autores.

Tal mudança de comportamento é justificada pelo fato da temperatura de saída do fluido refrigerante não poder ser maior que 90°C. Desta forma, a partir do momento em que a W_2 atinge valores maiores que 667 Kg/h, o valor de t_1 passa a ser menor que 90°C.

Por fim, o gráfico exibido na Figura 7 corresponde a função custo plotada a partir do limite inferior de W_2 definido anteriormente.

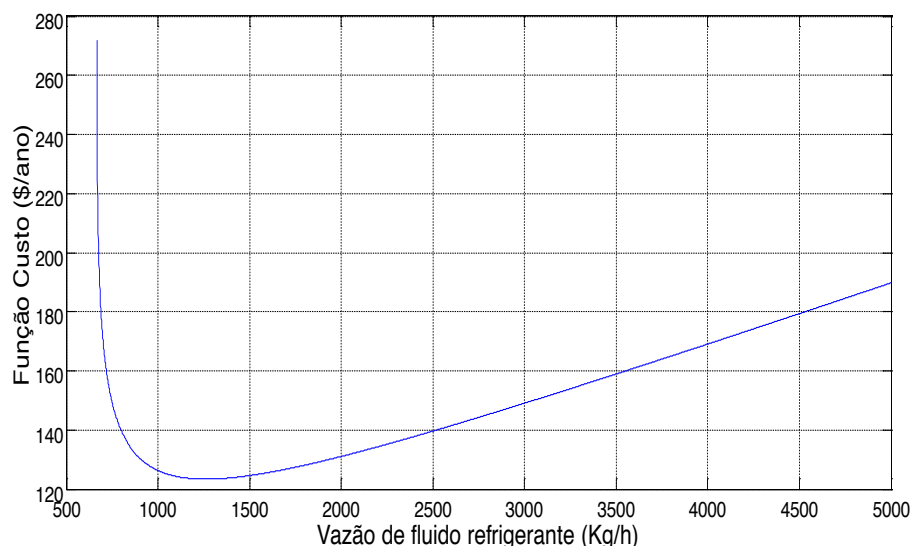


Figura 7: Gráfico da função que representa o critério de desempenho do equipamento (\$/ano)

em função da vazão de fluido refrigerante (Kg/h), no intervalo de 667 a 5000 Kg/h.

Fonte: Elaborada pelos Autores.

4 | CONCLUSÃO

A partir dos resultados alcançados foi constatada a convergência da solução do problema. Foi obtido uma temperatura ótima dentro do intervalo teórico possível e a partir desse valor foi encontrado valores das correntes de vazão de fluido refrigerante (aproximadamente 1,26 vezes maior que a vazão de fluido quente) e área de troca térmica ótima. Dessa forma, encontrou-se o menor custo anual possível para operação desse trocador de calor em contra-corrente, sendo este resultado da integração de conhecimentos específicos da engenharia química.

REFERÊNCIAS

CHAPRA, S. C.; CANALE, R. P. **Métodos numéricos para Engenharia**. 6° edição, São Paulo: Editora McGraw-Hill, 2008.

INCROPERA, F. P.; DEWITT, D. P.; BERGMAN, T. L.; LAVINE, A. D. **Fundamentos de transferência de calor e de massa**. 6° edição, Rio de Janeiro: Editora LTC, 2008.

FILHO, L. O. O. **Uma abordagem matricial para modelagem e simulação de redes de trocadores de calor com aplicações para o gerenciamento da deposição**. Dissertação de mestrado em Engenharia Química – Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro – RJ, 2007.

PERUSSI, R. **Análise do desempenho de trocadores de calor de fluxo cruzado por simulação numérica**. Dissertação de mestrado em Engenharia Mecânica - Escola de Engenharia de São Carlos, São Carlos – SP, 2010.

TONASSI, E. L. R.; LEMOS, J. C.; LIMA, E. R. A.; COSTA, A. L. H. **Simulação dinâmica de uma rede de trocadores de calor**. Publicado nos anais do Congresso Brasileiro de Engenharia Química. Florianópolis-SC, 2014.

SOBRE O ORGANIZADOR

Felipe Antonio Machado Fagundes Gonçalves - Mestre em Ensino de Ciência e Tecnologia pela Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR) em 2018. Licenciado em Matemática pela Universidade Estadual de Ponta Grossa (UEPG), em 2015 e especialista em Metodologia para o Ensino de Matemática pela Faculdade Educacional da Lapa (FAEL) em 2018. Atua como professor no Ensino Básico e Superior. Trabalha com temáticas relacionadas ao Ensino desenvolvendo pesquisas nas áreas da Matemática, Estatística e Interdisciplinaridade.

Agência Brasileira do ISBN
ISBN 978-85-7247-072-8

