



**Impactos das
Tecnologias na
Engenharia Química**

**Carmen Lúcia Voigt
(Organizadora)**

Atena
Editora

Ano 2019

Carmen Lúcia Voigt
(Organizadora)

Impactos das Tecnologias na Engenharia Química

Atena Editora
2019

2019 by Atena Editora

Copyright © da Atena Editora

Editora Chefe: Profª Drª Antonella Carvalho de Oliveira

Diagramação e Edição de Arte: Natália Sandrini e Lorena Prestes

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)

134	Impactos das tecnologias na engenharia química [recurso eletrônico] / Organizadora Carmen Lúcia Voigt. – Ponta Grossa (PR): Atena Editora, 2019. – (Impactos das Tecnologias na Engenharia Química; v. 1) Formato: PDF Requisitos de sistema: Adobe Acrobat Reader. Modo de acesso: World Wide Web. Inclui bibliografia ISBN 978-85-7247-237-1 DOI 10.22533/at.ed.371190304 1. Engenharia química – Pesquisa – Brasil. I. Voigt, Carmen Lúcia. II. Série. CDD 660.76
-----	--

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

Inovações tecnológicas surgem a todo o momento, em todo o mundo, sendo utilizadas como uma ferramenta estratégica para manutenção e crescimento dos negócios nas indústrias. A Engenharia Química foi uma das carreiras que mais contribuiu para a evolução da Era Industrial para a Era Moderna.

A preocupação em desenvolver produtos e processos de produção torna a Engenharia Química responsável por pesquisas e projetos em relação aos materiais que passam por mudanças físicas e químicas, adquirindo outras características.

A Engenharia Química trabalha com a manipulação de compostos e substâncias para se criar novos produtos. Estes produtos proporcionam uma melhoria na qualidade de vida humana, pois além de pesquisas relacionadas, existe a preocupação em viabilizar as invenções, criar métodos baratos e eficientes de fabricação em massa, implementando processos químico-industriais cada vez melhores, mais econômicos e mais ecológicos.

Neste primeiro volume, organizado para você, apresentamos o papel do Engenheiro Químico no mercado de trabalho, pois este aplica conhecimentos adquiridos no estudo de Química e de Engenharia para criar soluções voltadas à produção ou ao uso de substâncias químicas. É o profissional que constrói um elo entre a ciência e a manufatura. Cabe ao engenheiro químico lidar com a formulação e a solução de problemas associados à indústria química, bem como trabalhar na operação e manutenção de sistemas. Também são expostos, neste volume, trabalhos relacionados ao ensino teórico e prático de Engenharia Química.

Além disso, encontram-se trabalhos relacionados com aplicações estatísticas, simulações e otimização de processos para melhoria de utilização de produtos e subprodutos. Assim como são expostos trabalhos de caracterização de materiais e alterações em processos químicos utilizando novas técnicas de análise de produto, avaliando comportamento, característica de sistemas, propriedades físico-químicas e alteração de composição de produtos já utilizados no mercado.

Baseado nestes trabalhos, convidamos você a aperfeiçoar seus conhecimentos na área da Engenharia Química. Os trabalhos selecionados oportunizam uma nova visão de materiais, processos e técnicas na área, mostrando o impacto tecnológico no desenvolvimento da indústria e sua relação direta com a sociedade e meio ambiente.

Boa leitura.

Carmen Lúcia Voigt

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1	1
O PAPEL DO ENGENHEIRO QUÍMICO NO MERCADO DE TRABALHO: PRODUÇÃO DE UM GUIA PRÁTICO DIGITAL DESTINADO AOS GRADUANDOS E DEMAIS INTERESSADOS NA PROFISSÃO	
Raphael Carlos Rosa Pereira Eder Dias da Silva	
DOI 10.22533/at.ed.3711903041	
CAPÍTULO 2	8
GAMEQ: JOGO PARA O ENSINO NA ENGENHARIA QUIMICA	
Riccardo Cafagna Miguel do Valle Fróes Negreiros Falcão Felipe Emmanouil Martires Stamoglou Ana Lucia Barbosa de Souza Ewerton Emmanuel da Silva Calixto Fernando Luiz Pellegrini Pessoa	
DOI 10.22533/at.ed.3711903042	
CAPÍTULO 3	17
ELABORAÇÃO E AUTOMAÇÃO DE PROTÓTIPO DE REATOR CSTR CONSTRUÍDO COM MATERIAIS DE BAIXO CUSTO VOLTADO À EDUCAÇÃO DE ENGENHARIA QUÍMICA	
Cristiane Daliassi Ramos de Souza Sauro Franceschi de Carvalho Emeson de Souza Lemos Kevelyn Carolina Motta Sbravati	
DOI 10.22533/at.ed.3711903043	
CAPÍTULO 4	27
PROJETO DE DIMENSIONAMENTO DE MÓDULO CONTÍNUO A PARTIR DE MATERIAIS DE BAIXO CUSTO COMO IMPLEMENTAÇÃO DO ENSINO EXPERIMENTAL DE ENGENHARIA QUÍMICA	
Cristiane Daliassi Ramos de Souza Igor Moraes Bezerra Calixto Sauro Franceschi de Carvalho Matheus Macedo Teixeira Rafaela Misseia Cinque de Lima Marco Antônio de Alcântara Rocha	
DOI 10.22533/at.ed.3711903044	
CAPÍTULO 5	36
O SIMULADOR DO FUTURO APLICADO À INDÚSTRIA	
Fernanda Martins	
DOI 10.22533/at.ed.3711903045	
CAPÍTULO 6	43
TERMODINÂMICA QUÍMICA – COMPREENDENDO DE FORÇAS INTERMOLECULARES A COEFICIENTE DE ATIVIDADE	
Lisandra Ferreira de Lima Admilson Lopes Vieira	
DOI 10.22533/at.ed.3711903046	

CAPÍTULO 7	53
DETERMINAÇÃO DE CURVAS DE EQUILÍBRIO SÓLIDO-LÍQUIDO DE SOLVENTES EUTÉTICOS PROFUNDOS (DES) EMPREGANDO A CALORIMETRIA EXPLORATÓRIA DIFERENCIAL (DSC)	
Helena Pletsch Mariana Carolina Gipiela Corrêa Dias Marcos Rogério Mafra	
DOI 10.22533/at.ed.3711903047	
CAPÍTULO 8	59
ANÁLISE E DIAGNÓSTICO DE FALHAS POR TÉCNICAS ESTATÍSTICAS APLICADAS A SISTEMAS DE BOMBEAMENTO HIDRÁULICO	
Rebeca Albino de Jesus Ezequiel José da Silva Honorato Fábio George Nogueira Cruz José Nilton Silva	
DOI 10.22533/at.ed.3711903048	
CAPÍTULO 9	73
COMPARAÇÃO DE PERFIS DE VELOCIDADE OBTIDOS POR TUBO DE PITOT E POR SOFTWARE DE SIMULAÇÃO ANSYS CFX	
Victor Felipe Arthur Coutinho Ladeia Rosilanny Soares Carvalho Anna Clara Marques de Queiroz João Carlos Gonçalves	
DOI 10.22533/at.ed.3711903049	
CAPÍTULO 10	80
ENGENHARIA DE PROCESSOS: DIMENSIONAMENTO, SIMULAÇÃO E ANÁLISE DE SENSIBILIDADE DE SISTEMAS DE EVAPORAÇÃO MÚLTIPLO EFEITO DE INDÚSTRIAS DE CELULOSE <i>KRAFT</i>	
Jamilly Marques Gasparoni Cássia Regina Santos Nunes Almeida Gustavo Matheus de Almeida	
DOI 10.22533/at.ed.37119030410	
CAPÍTULO 11	96
PROJETO DE HIDROCICLONES USANDO OTIMIZAÇÃO ROBUSTA E ESTUDO DO EFEITO DA ROBUSTEZ	
Vitor Alves Garcia Fran Sérgio Lobato Luiz Gustavo Martins Vieira	
DOI 10.22533/at.ed.37119030411	
CAPÍTULO 12	111
SELEÇÃO DE VARIÁVEIS E CONTROLE DE COMPOSIÇÃO POR INFERÊNCIA DE TEMPERATURA EM PROCESSO PRODUTIVO DO ETILBENZENO	
Arioston Araújo de Moraes Júnior Leopoldo Oswaldo Alcazar Rojas Paulo Romero de Araujo Mariz Emanuella Francisca de Lacerda Vieira Marcelo da Silva Pedro Jonas Laedson Marinho da Silva Santos	
DOI 10.22533/at.ed.37119030412	

CAPÍTULO 13	119
INFLUÊNCIA DA VARIAÇÃO DE PH, TEMPERATURA E TEMPO DE VAPORIZAÇÃO NO PROCESSO DE TINGIMENTO DE TECIDOS	
Wanyr Romero Ferreira	
Wilson Costa Resende	
Aline Pereira Leite Nunes	
DOI 10.22533/at.ed.37119030413	
CAPÍTULO 14	128
ANÁLISE CORROSIVA DO AÇO 304 QUANDO SUBMETIDO AO PROCEDIMENTO DE GALVANOPLASTIA	
Renata de Oliveira Marinho	
Marcelo Batista Queiroz	
Eudesio Oliveira Vilar	
Márcia Cristina de Sousa	
DOI 10.22533/at.ed.37119030414	
CAPÍTULO 15	140
EFEITO DA DENSIDADE DE CORRENTE NO PROCESSO DE OBTENÇÃO DE REVESTIMENTOS DE Co-W OBTIDOS POR ELETRODEPOSIÇÃO	
Arthur Filgueira de Almeida	
Bianca Oliveira Evaristo	
Josiane Dantas Costa	
Mikarla Baía de Sousa	
Nathália Cristina Morais Lia Fook	
Renato Alexandre Costa de Santana	
Ana Regina Nascimento Campos	
DOI 10.22533/at.ed.37119030415	
CAPÍTULO 16	148
FILTRO DE KALMAN ESTENDIDO E REDE NEURAL ARTIFICIAL NA ESTIMATIVA DE CONCENTRAÇÃO EM UM REATOR QUÍMICO NÃO ISOTÉRMICO	
Arioston Araújo de Moraes Júnior	
Leopoldo Oswaldo Alcazar Rojas	
Marcelo da Silva Pedro	
Paulo Romero de Araujo Mariz	
Emanuella Francisca de Lacerda Vieira	
Jonas Laedson Marinho da Silva Santos	
Rodrigo Marinho Guimarães	
DOI 10.22533/at.ed.37119030416	
CAPÍTULO 17	153
COMPÓSITO DE NANOCELULOSE BACTERIANA E NANOTUBOS DE CARBONO	
Guilherme Colla	
Vinícius Heidemann de Souza	
Fernanda Vieira Berti	
Luismar Marques Porto	
DOI 10.22533/at.ed.37119030417	

CAPÍTULO 18	160
IMOBILIZAÇÃO DE COLÁGENO HUMANO TIPO I EM MEMBRANAS DE NANOCELULOSE BACTERIANA	
Ana Carolina Jorge Meyer	
Emily Marques dos Reis	
Luismar Marques Porto	
DOI 10.22533/at.ed.37119030418	
CAPÍTULO 19	167
CENTRIFUGATION STEP CONTROL OF CELLULOSE NANOCRYSTALS SUSPENSION BY pH AND TURBIDITY MEASUREMENTS	
Mayara Felix Santana	
Bárbara Castro Moreira	
Flávia Mitsue Yamashita	
Nilda de Fátima Ferreira Soares	
José Mauro de Almeida	
Alvaro Vianna Novaes de Carvalho Teixeira	
Deusanilde de Jesus Silva	
DOI 10.22533/at.ed.37119030419	
CAPÍTULO 20	173
ESTUDO TERMODINÂMICO DA ADSORÇÃO DO CORANTE CRISTAL VIOLETA EM NANOTUBOS DE CARBONO FUNCIONALIZADOS	
Leonardo Martins Vargas	
Gabriel Facciochi Dörtzbacher	
Guilherme Luiz Dotto	
DOI 10.22533/at.ed.37119030420	
CAPÍTULO 21	181
ESTUDO DA REOLOGIA E DA SALINIDADE DE MICROEMULSÕES À BASE DE GLICERINA PARA SEREM UTILIZADAS NA RECUPERAÇÃO DE PETRÓLEO	
Amanda Brito de Carvalho	
Fabiola Dias da Silva Curbelo	
Elayne Andrade Araújo	
Alfredo Ismael Curbelo Garnica	
DOI 10.22533/at.ed.37119030421	
CAPÍTULO 22	196
ORGANOFILIZAÇÃO DE ARGILAS BENTONÍICAS PARA APLICAÇÃO EM FLUIDOS DE PERFURAÇÃO BASE MICROEMULSIONADA	
Renata Rodrigues Magalhães	
Roxana Pereira Fernandes de Sousa	
Alfredo Ismael Curbelo Garnica	
Fabiola Dias da Silva Curbelo	
Thaine Taumaturgo Caminha	
DOI 10.22533/at.ed.37119030422	

CAPÍTULO 23	201
PROPRIEDADES FÍSICO-QUÍMICAS E VOLUMÉTRICAS DO QUEROSENE DE AVIAÇÃO E DO BIOQUEROSENE	
<p>Idila Rafaela Carvalho Gonçalves Ana Clara Cazarin Queiroz Luciana Loureiro de Pinho Rolemberg de Andrade Sílvia Maria Zanini Sebrão Krishnaswamy Rajagopal</p>	
DOI 10.22533/at.ed.37119030423	
CAPÍTULO 24	210
AVALIAÇÃO REOLÓGICA DE TINTAS ACRÍLICAS COMERCIAIS E ADITIVADAS COM CARGA CONDUTORA	
<p>Alex da Silva Sirqueira Monica Cristina dos Santos Vieira Monica Feijó Naccache Stanley Pires de Alcântara</p>	
DOI 10.22533/at.ed.37119030424	
CAPÍTULO 25	222
EFEITO DA ADIÇÃO DA CINZA GASEIFICADA DE CARVÃO PULVERIZADO NA FORMULAÇÃO DE CERÂMICA VERMELHA	
<p>Gabryella Cerri Mendonça Cristiano Corrêa Ferreira</p>	
DOI 10.22533/at.ed.37119030425	
CAPÍTULO 26	232
TRANSFERÊNCIA DE CALOR EM SISTEMAS PARTICULADOS: DETERMINAÇÃO DA CONDUTIVIDADE TÉRMICA EFETIVA DE FERTILIZANTES GRANULADOS NA ESTAGNAÇÃO DE AR	
<p>Hugo Perazzini Maisa Tonon Bitti Perazzini Rayssa Caroline Ribeiro Bernardes João Marcos Cardoso Silva</p>	
DOI 10.22533/at.ed.37119030426	
CAPÍTULO 27	248
DETERMINAÇÃO DA SOLUBILIDADE DA UREIA EM SOLUÇÕES AQUOSAS DE ETANOL	
<p>Raquel de Oliveira Silva Ana Paula Silva Capuci Raíssa Araújo de Oliveira Campos Ricardo Amâncio Malagoni</p>	
DOI 10.22533/at.ed.37119030427	
CAPÍTULO 28	255
CALIBRAÇÃO DE MEDIDORES DE VAZÃO COM ALTAS VAZÕES E VISCOSIDADES ELEVADAS: UMA ALTERNATIVA TÉCNICA À LEGISLAÇÃO BRASILEIRA DE ROYALTIES E PARTICIPAÇÕES ESPECIAIS	
<p>Carlos Eduardo Ribeiro de Barros Barateiro Romulo Carlos da Silva Emerik</p>	
DOI 10.22533/at.ed.37119030428	
SOBRE A ORGANIZADORA	271

SELEÇÃO DE VARIÁVEIS E CONTROLE DE COMPOSIÇÃO POR INFERÊNCIA DE TEMPERATURA EM PROCESSO PRODUTIVO DO ETILBENZENO

Arioston Araújo de Moraes Júnior

Universidade Federal da Paraíba
João Pessoa – PB

Leopoldo Oswaldo Alcazar Rojas

Universidade Federal da Paraíba
João Pessoa – PB

Paulo Romero de Araujo Mariz

Universidade Federal da Paraíba
João Pessoa – PB

Emanuella Francisca de Lacerda Vieira

Universidade Federal da Paraíba
João Pessoa – PB

Marcelo da Silva Pedro

Universidade Federal da Paraíba
João Pessoa – PB

Jonas Laedson Marinho da Silva Santos

Universidade Federal da Paraíba
João Pessoa – PB

RESUMO: Processos com múltiplas variáveis de entrada e múltiplas saídas (MIMO) são relativamente complexos quanto à definição do controle adequado, haja vista as interações decorrentes do acoplamento entre essas variáveis. Há, portanto, a necessidade de estabelecer uma estrutura de controle adequada e que forneça bom desempenho. Em busca dos melhores pares de variáveis Manipuladas-Controladas (MV-PV), recorrem-se as técnicas

de seleção de pares de variáveis. Esse trabalho faz uso dos algoritmos matemáticos da decomposição de valores singulares (SVD), matriz de ganho relativo (RGA) e matriz de ganho relativo para sistemas não quadráticos (NRG); para selecionar os melhores pares e implementar um sistema de controle em duas colunas de destilação do processo produtivo do Etilbenzeno. O processo foi simulado no *software Aspen Plus e Dynamics™*, a partir de dados reais de uma unidade. A aplicação das técnicas de seleção de variáveis indicou os melhores pares e verificou o controle de composições por inferência de temperaturas do componente chave pesado, na primeira torre, e chave leve da segunda coluna. O sistema de controle proposto mostrou-se satisfatório quando foram inseridos distúrbios inerentes ao processo, de modo que foram minimizados os efeitos transientes das composições.

1 | INTRODUÇÃO

As unidades industriais investem quando necessitam de uma estrutura de controle robusta e atuante, de modo que o processo opere em uma condição segura, eficaz e com os produtos dentro das especificações. Frequentemente, em processos químicos, nos deparamos com situações nas quais diversos

objetivos de controle estão disponíveis, ou seja, diversas variáveis de processos (PV) devem ser controladas enquanto outras devem ser observadas na condição de distúrbios e variáveis manipuladas (MV); é o caso de processos multivariáveis (MIMO). Equipamentos como reatores de mistura perfeita (CSTR) e colunas de destilação são exemplos práticos de processos multivariáveis (MORAIS JR, 2014).

O processo produtivo do etilbenzeno (EB) mostrou-se interessante para o presente estudo, porque possui diversas particularidades, dentre as quais se destacam a não linearidade, interatividade, malha de controle acoplada e produtos com alta pureza. A síntese de EB ocorre em dois reatores CSTR em série, a partir da reação do etileno (E) e o benzeno (B); onde também ocorre a formação do composto dietilbenzeno (DEB), originado da reação secundária entre o EB e o B. A saída do segundo reator do processo é corrente de alimentação da primeira coluna de destilação multicomponente, sendo seu composto chave leve, o benzeno (>99,9% molar), reciclado para o primeiro reator do processo. A segunda coluna de destilação tem como alimentação a corrente de base da primeira coluna, fornecendo uma corrente de topo rica em EB (>99,9% molar) e uma corrente de base rica no DEB (>99,9% molar), sendo a corrente de base da última coluna usada como corrente de reciclo para o segundo reator. Em colunas de destilação as medições das composições dos produtos de topo e de base não estão disponíveis em tempo real. Sendo assim, o controle das composições em alta pureza por inferência de temperatura motivou o esse trabalho.

2 | FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 Técnicas de seleção de pares de variáveis

Dentre as principais técnicas de seleção de pares de variáveis para fins de controle se destacam: a decomposição em valores singulares (SVD), matriz de ganho reativo (RGA) e a matriz de ganho reativo para sistemas não quadráticos (NRG).

2.2 Decomposição em valores singulares (SVD)

A SVD pode ser definida como um algoritmo numérico baseado na teoria de autovalores e autovetores da álgebra linear, com diversas aplicações no âmbito da engenharia. Considere a matriz simétrica K , formada pelo ganho em regime estacionário do sistema, de dimensão $\square^{m \times m}$. Podemos definir a decomposição de K como,

$$K_{m \times m} = U D P^T = [u_1 \ u_2 \dots u_m] \begin{bmatrix} \sigma_{11} & 0 & \dots & 0 \\ 0 & \sigma_{22} & \dots & 0 \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 0 & 0 & \dots & \sigma_{mn} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} p_1 \\ p_2 \\ \vdots \\ p_n \end{bmatrix} \quad (1)$$

As matrizes U e P são ortonormais. Os valores singulares s_N são os elementos da diagonal principal da matriz D ; e os autovalores correspondentes à matriz P são $\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_n$, organizados de tal forma que: $\sigma_1 \geq \sigma_2 \dots \geq \sigma_n > 0$ e $\sigma_1 \geq \sigma_2 \dots \geq \sigma_n > 0$ e $\sigma_1 = \sqrt{\lambda_1}, \sigma_2 = \sqrt{\lambda_2}, \dots, \sigma_n = \sqrt{\lambda_n}$. Os vetores u_1, u_2, \dots, u_n e v_1, v_2, \dots, v_n são vetores singulares à esquerda e p_1, p_2, \dots, p_n à direita, respectivamente. A razão entre o valor singular máximo e o mínimo, denomina-se o número condicional (NC).

$$NC = \sigma_{11} / \sigma_{mn} \quad (2)$$

2.3 Matriz de ganho relativo (RGA)

De acordo com MORAIS JR (2014), uma medida de interação não corrompida pelas unidades de variáveis do processo é a RGA, conhecida como a matriz de ganho relativo Λ . Os elementos de Λ são definidos como sendo a razão entre o ganho do sistema em malha aberta e o seu ganho em malha fechada, sendo a RGA definida pela Equação 3. O ganho relativo do sistema, λ_{ij} é, definido pela Equação 4. Na equação 4, PV_i representa as i variáveis de processo, que neste trabalho, são as temperaturas dos estágios das colunas, e MV_j representa as j variáveis manipuladas.

$$\Lambda = \begin{bmatrix} \lambda_{11} & \lambda_{12} & \dots & \lambda_{1n} \\ \lambda_{21} & \lambda_{22} & \dots & \lambda_{2n} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ \lambda_{n1} & \lambda_{n2} & \dots & \lambda_{nn} \end{bmatrix} \quad (3)$$

$$\lambda_{ij} = \frac{(\partial PV_i / \partial MV_j)_{MV_{k \neq j}}}{(\partial PV_i / \partial MV_j)_{PV_{k \neq i}}} = \frac{\text{GanhoDeMalhaAberta}}{\text{GanhoDeMalhaFechada}} \quad (4)$$

Para sistemas cuja dimensão é quadrática, a RGA é calculada a partir da matriz de ganho estacionário, realizando a multiplicação elemento por elemento (\otimes), conforme a Equação 5.

$$\Lambda = K \otimes (K^{-1})^T \quad (5)$$

2.4 Matriz de ganho relativo não quadrático (NRG)

Chang e Yu (1990) propôs a técnica NRG com o objetivo de medir a interação em um sistema multivariável para sistemas não quadráticos. A NRG é definida como:

$$\Lambda^N = K \otimes (K^\dagger)^T$$

(6)

Em que o sobrescrito \dagger representa a pseudo-inversa.

3 I MODELAGEM E SIMULAÇÃO

O processo produtivo do EB, apresentado no fluxograma da Figura 1, foi simulado em regime estacionário no *software* Aspen Plus™, sendo os dados de projeto e condições iniciais obtidas em Luyben (2011). Os reatores operam a volume de 200 m³ e às pressões de 19 e 20 atm, respectivamente. As colunas 1 e 2 (C1 e C2) possuem 21 e 25 estágios, alimentações nos estágios 10 e 15, operando com pressões de 0,1 e 0,3 atm, respectivamente. O modelo termodinâmico empregado para os cálculos das propriedades físicas foi de *Chao-Seader*. Os equipamentos do processo foram dimensionados para operar em regime transiente.

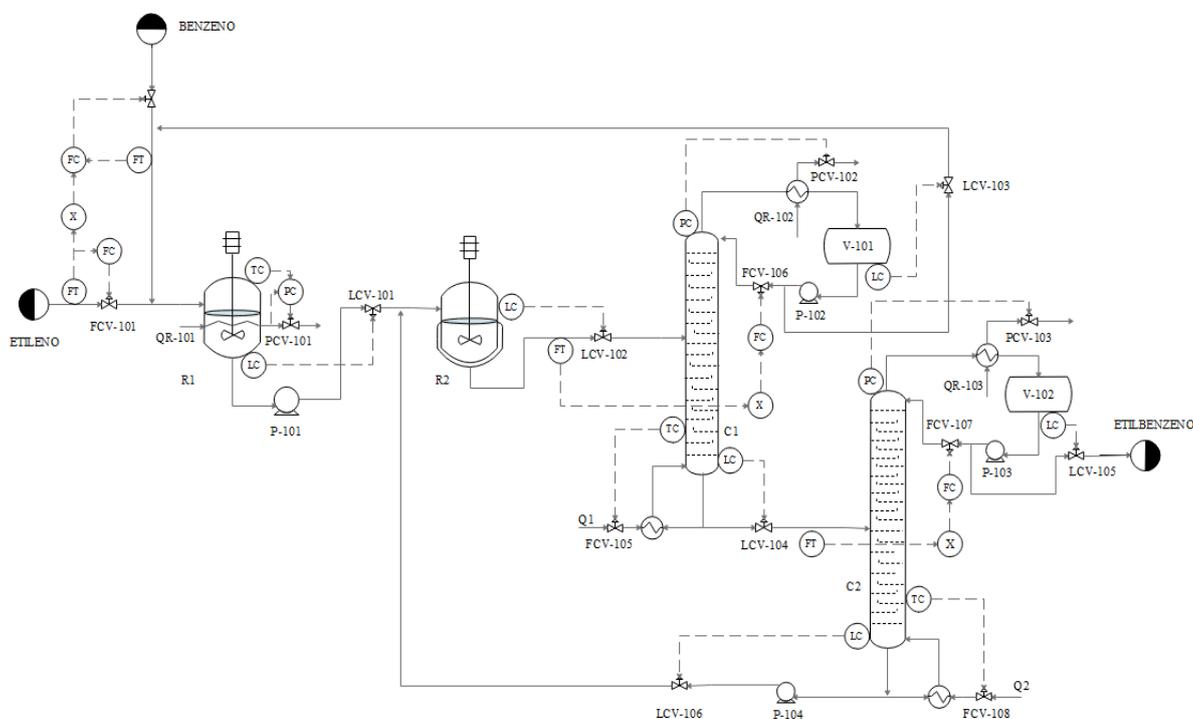


Figura 1 – Fluxograma da planta de Etilbenzeno

Fonte: Adaptado de Luyben (2011).

Os gráficos das Figuras 2.a e 2.b apresentam os perfis de composição ao longo dos estágios de C1 e C2. Verifica-se de acordo com a figura 2.a que em C1 o benzeno, x_B , sai em alta pureza no estágio 1 (topo). De acordo com a figura 2.b, o Etilbenzeno e o Dietilbenzeno, x_{EB} e x_{DEB} , estão em alta pureza nos estágios 1 e 25 (topo e base) de C2, respectivamente.

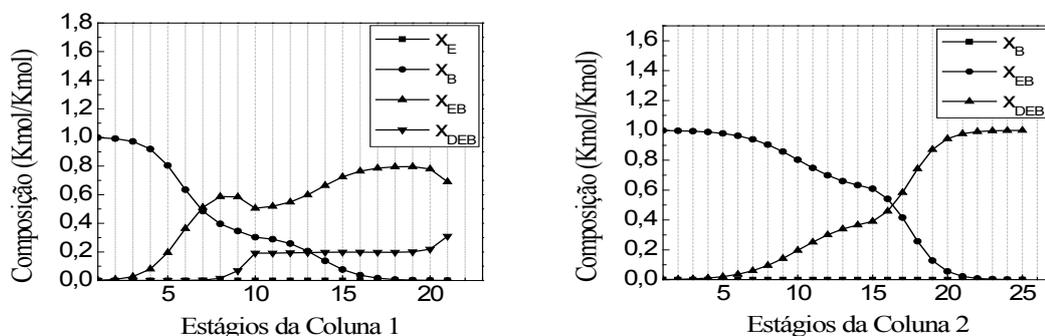


Figura 2 – Perfis de composição molar nas colunas de destilação C1 e C2

4 | RESULTADOS

Para obtenção das matrizes de ganho estacionário foram efetuadas perturbações com amplitude de 5% nas variáveis: D_1 , R_1 , RR_1 e Q_1 (C1); e D_2 , R_2 , RR_2 e Q_2 (C2). Em que, D, R, RR e Q refere-se a corrente de destilado, refluxo, razão de refluxo e carga térmica, respectivamente. O índice 1 é referente a primeira coluna e o 2 a segunda coluna.

Os algoritmos da SVD, RGA e NRG foram implementados no *software* Matlab®. De acordo com a tabela 1, o par de MV que apresenta menor NC é D_1 - R_1 . No entanto, essas variáveis são utilizadas para controle de nível do vaso de refluxo e vazão de alimentação de C1, respectivamente. Sendo assim, o próximo par com menor NC é RR_1 - Q_1 , selecionado para controle de temperatura em C_1 . Para C2 os resultados da tabela 2 indicam que os três primeiros pares são os que têm menores NC, entretanto essas variáveis já são empregadas no controle de outras variáveis. Assim, o par selecionado foi RR_2 e Q_2 .

Pares	NC
D_1 e R_1	1,856
RR_1 e Q_1	18,809
D_1 e Q_1	118,798
D_1 e RR_1	489,080
R_1 e Q_1	4500,0584

Tabela 1 – Número Condicional C_1 .

Pares	NC
D_2 e R_2	2,257
B_2 e R_2	9,217
B_2 e Q_2	19,476
RR_2 e Q_2	20,330
D_2 e Q_2	94,667

Tabela 2 – Número condicional C_2 .

De acordo com as figuras 3 e 4, os estágios que apresentaram maior sensibilidade foram 13 e 16 para C1, e 17 e 21 para C2. Pode-se, então, recorrer a RGA, para confirmar ou não a seleção do par PV-MV mais adequado. A RGA confirmou os resultados da SVD, indicando que a carga térmica (Q_1) deve ser empregada para controlar a temperatura do estágio 13 (T_{13}) de C1 e a carga térmica (Q_2) deve ser empregada para controlar a temperatura do estágio 17 (T_{17}) de C2. Esses resultados

são apresentados nas tabelas 3 e 4, tomando como base o fato que ganhos relativos próximo de uma unidade indicam que há interação entre as malhas e o controle é viável, enquanto valores negativos indicam o contrário.

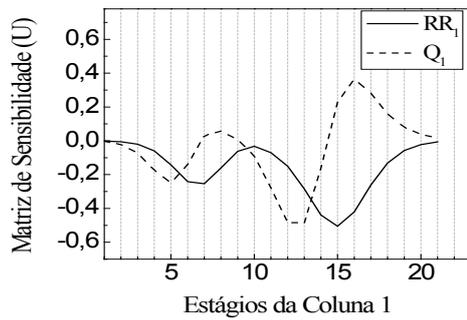


Figura 3 – Matriz de sensibilidade para C1

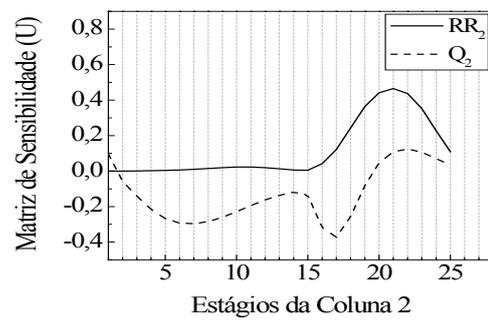


Figura 4 – Matriz de sensibilidade para C2

Os resultados da NRG foram análogos aos obtidos com a SVD e RGA, indicando os pares ideais T_{13} - Q_1 (C1) e T_{17} - Q_2 (C2), conforme apresentam, respectivamente, os gráficos das figuras 5 e 6. Com esses resultados foram implementados e sintonizados os controladores de temperaturas TC₁₃ e TC₁₇, indicados na figura 1. Para verificar o desempenho dos controladores foram efetuadas perturbações de +5% (no tempo de 10h) e -5% (no tempo de 30h), conforme observado nos gráficos das Figuras 7 e 8. Para essas mesmas perturbações, verifica-se que os controladores de temperatura minimizaram a sobre-elevação percentual (*overshoot*) das composições de x_{EB} (base de C1), x_B (topo de C1), x_{EB} (topo de C2), x_{DEB} (topo de C2) em comparação com a condição de malha aberta (MA), conforme apresentam os gráficos das figuras 9, 10, 11 e 12, respectivamente.

Pares	RR ₁	Q ₁
T ₁₃	-0,1825	1,1825
T ₁₇	1,1825	-0,1825

Tabela 3 – Resultado da RGA para C₁

Pares	RR ₂	Q ₂
T ₁₇	-0,02581	1,02581
T ₂₁	1,02581	-0,02581

Tabela 4 – Resultado da RGA para C₂

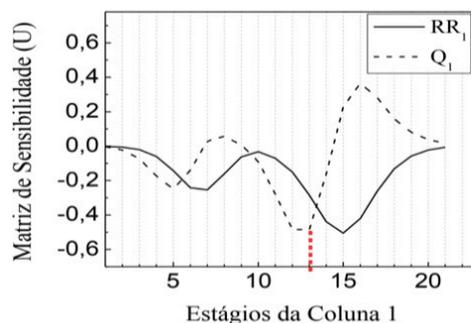


Figura 5 – NRG para o par RR₁ e Q₁

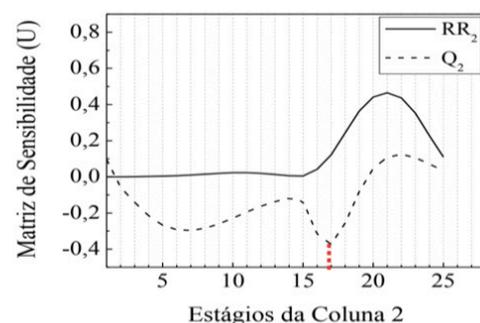


Figura 6 – NRG para o par RR₂ e Q₂

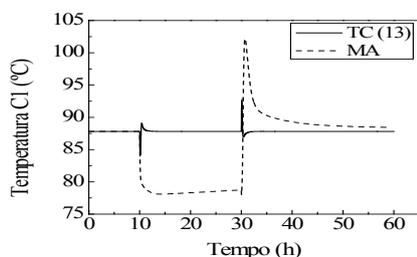


Figura 7 – Comportamento de T_{13} em C1

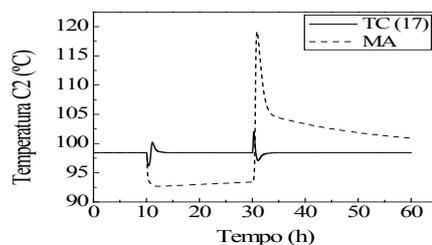


Figura 8 – Comportamento de T_{17} em C2

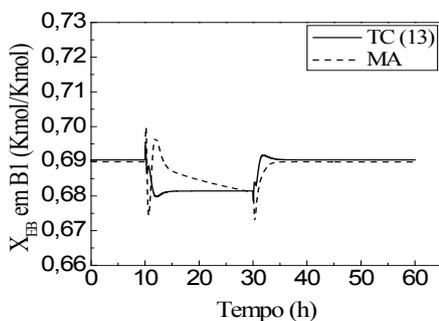


Figura 9 – Comportamento transiente da composição de EB (x_{EB}) na base de C1

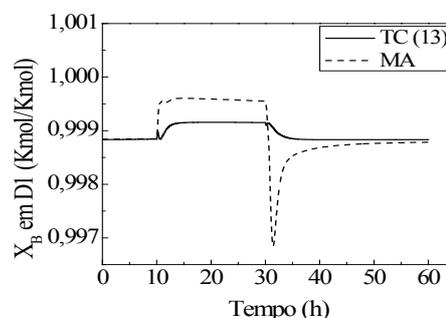


Figura 10 – Comportamento transiente da composição de B (x_B) no destilado de C1

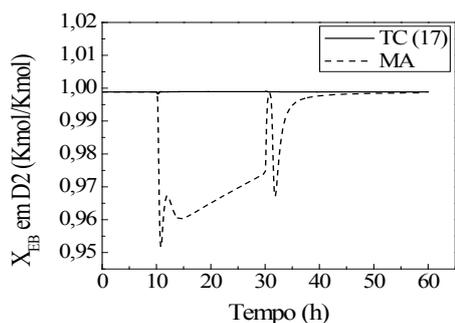


Figura 11 – Comportamento transiente da composição de EB (x_{EB}) no destilado de C2

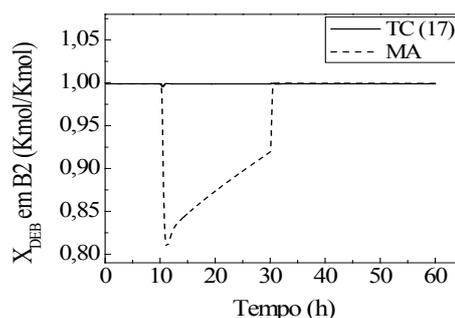


Figura 12 - Comportamento transiente da composição de DEB (x_{DEB}) na base de C2.

5 | CONCLUSÕES

O uso das técnicas SVD, RGA e NRG mostraram-se eficientes na seleção de estrutura de controle de temperatura para as colunas de destilação do processo do Etilbenzeno. De acordo com esse trabalho, verificou-se que as aplicações do controle singular por inferência de temperaturas mantiveram as respostas das composições com alta pureza, dentro de patamares aceitáveis para o processo. Assim, verificou-se de fato que o controle foi atuante para as composições x_{EB} (topo de C2), x_{DEB} (topo de C2), figuras 11 e 12, haja vista, que alterações na vazão de alimentação de C1 e C2, Figuras 7 e 8, proporcionam grandes distúrbios na temperatura dos estágios de maior sensibilidade, T_{13} (C1) e T_{17} (C2), e conseqüentemente nas composições de topo e de base.

REFERÊNCIAS

CHANG, J. W., & Yu, C.-C. (1990). **The relative gain for non-square multivariable systems**. Computers and Chemical Engineering, 45(4), 1309-1323.

LUYBEN, W. L. 2012. **Distillation Design and Control Usign Aspen Simulation**. New Jersey. Ed: John Wiley & Sons, 2nd.

MORAIS JR, A. A., 2014. **Seleção ótima de entradas no estudo de inferência e controle de composições em um processo de destilação industrial de alta pureza**. Congresso Nacional de Matemática Aplicada à Indústria-CNMAI, Caldas Novas – GO.

SOBRE A ORGANIZADORA

CARMEN LÚCIA VOIGT Doutora em Química na área de Química Analítica e Mestre em Ciência e Tecnologia de Alimentos pela Universidade Estadual de Ponta Grossa. Especialista em Química para a Educação Básica pela Universidade Estadual de Londrina. Graduada em Licenciatura em Química pela Universidade Estadual de Ponta Grossa. Experiência há mais de 10 anos na área de Educação com ênfase em avaliação de matérias-primas, técnicas analíticas, ensino de ciências e química e gestão ambiental. Das diferentes atividades desenvolvidas destaca-se uma atuação por resultado, como: supervisora de laboratórios na indústria de alimentos; professora de ensino médio; professora de ensino superior atuando em várias graduações; professora de pós-graduação *lato sensu*; palestrante; pesquisadora; avaliadora de artigos e projetos; revisora de revistas científicas; membro de bancas examinadoras de trabalhos de conclusão de cursos de graduação. Autora de artigos científicos. Atuou em laboratório multiusuário com utilização de técnicas avançadas de caracterização e identificação de amostras para pesquisa e pós-graduação em instituição estadual.

Agência Brasileira do ISBN
ISBN 978-85-7247-237-1

