



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 *KRAFT*

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	
Idila Rafaela Carvalho Gonçalves	
Ana Clara Cazarin Queiroz	
Luciana Loureiro de Pinho Rolemberg de Andrade	
Sílvia Maria Zanini Sebrão	
Krishnaswamy Rajagopal	
DOI 10.22533/at.ed.37119030423	
CAPÍTULO 24	210
AVALIAÇÃO REOLÓGICA DE TINTAS ACRÍLICAS COMERCIAIS E ADITIVADAS COM CARGA CONDUTORA	
Alex da Silva Sirqueira	
Mônica Cristina dos Santos Vieira	
Mônica Feijó Naccache	
Stanley Pires de Alcântara	
DOI 10.22533/at.ed.37119030424	
CAPÍTULO 25	222
EFEITO DA ADIÇÃO DA CINZA GASEIFICADA DE CARVÃO PULVERIZADO NA FORMULAÇÃO DE CERÂMICA VERMELHA	
Gabryella Cerri Mendonça	
Cristiano Corrêa Ferreira	
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	
Hugo Perazzini	
Maira Tonon Bitti Perazzini	
Rayssa Caroline Ribeiro Bernardes	
João Marcos Cardoso Silva	
DOI 10.22533/at.ed.37119030426	
CAPÍTULO 27	248
DETERMINAÇÃO DA SOLUBILIDADE DA UREIA EM SOLUÇÕES AQUOSAS DE ETANOL	
Raquel de Oliveira Silva	
Ana Paula Silva Capuci	
Raíssa Araújo de Oliveira Campos	
Ricardo Amâncio Malagoni	
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	
Carlos Eduardo Ribeiro de Barros Barateiro	
Romulo Carlos da Silva Emerik	
DOI 10.22533/at.ed.37119030428	
SOBRE A ORGANIZADORA	271

FILTRO DE KALMAN ESTENDIDO E REDE NEURAL ARTIFICIAL NA ESTIMATIVA DE CONCENTRAÇÃO EM UM REATOR QUÍMICO NÃO ISOTÉRMICO

Arioston Araújo de Moraes Júnior

Universidade Federal da Paraíba
João Pessoa – PB

Leopoldo Oswaldo Alcazar Rojas

Universidade Federal da Paraíba
João Pessoa – PB

Marcelo da Silva Pedro

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

Jonas Laedson Marinho da Silva Santos

Universidade Federal da Paraíba
João Pessoa – PB

Rodrigo Marinho Guimarães

Universidade Federal da Paraíba
João Pessoa – PB

RESUMO: A medição de algumas variáveis cruciais para o controle de um reator, como a concentração, geralmente não está disponível. Buscando contornar isso, foram desenvolvidos nesse trabalho sensores virtuais baseados em identificação de processos. Sendo aqui empregadas o modelo semi-empírico do filtro

de Kalman estendido (FKE) e a rede neural artificial (RNA), dotada do método do algoritmo de otimização de Levenberg-Marquardt, para o monitoramento do processo de produção do propileno glicol ($C_3H_8O_2$). Sendo estimada a concentração do reagente óxido de propileno (C_3H_6O) na corrente de saída de um reator químico continuamente agitado, simulado no software Simulink-Matlab®. Os resultados obtidos indicaram melhor desempenho à RNA em comparação com os resultados do FKE, sendo empregados critérios de erro na avaliação.

1 | INTRODUÇÃO

O aumento da competitividade na indústria está exigindo plantas químicas capazes de associar altos padrões de qualidade e baixos preços de produtos. Sendo assim, a disponibilidade em tempo real de variáveis críticas de processo químicos é crucial para o monitoramento das plantas industriais. Contudo, algumas medições, como a concentração de reagentes e produtos em reatores químicos, nem sempre estão disponíveis ou quando disponíveis, através de analisadores em linha de processo, há um grande custo em razão de aquisição, manutenção e mão de obra especializada.

Para superar esses problemas, surgiram os sensores virtuais (SV), baseados em algoritmos matemáticos, implementados em *softwares*, os quais utilizam medições físicas, como vazões, pressões, temperaturas, para estimar variáveis químicas ou bioquímicas, tais como as concentrações de reagentes e produtos (MORAIS JR., 2015). Nesse trabalho, foram desenvolvidos dois SV, o filtro de Kalma estendido (FKE) e uma rede neural artificial (RNA) com o método de treinamento de Levenberg-Marquardt, para o monitoramento da concentração de etileno glicol num processo de produção em reator continuamente agitado (CSTR), operando exotermicamente.

2 | METODOLOGIA

Foi desenvolvida inicialmente a modelagem matemática do processo, sendo a reação de produção do etileno glicol conduzida em um reator continuamente agitado (CSTR) exotermicamente, conforme Figura 1. A reação irreversível para produção do propileno glicol $C_3H_6O + H_2O \rightarrow C_3H_8O_2$ e a lei de velocidade para os reagentes e produto são descritas pelas Equações de (1) a (3).



$$-r_i = kC_i \quad (2)$$

$$-r_A = -r_B = r_C \quad (3)$$

Onde: *A* é óxido de propileno C_3H_6O ; *B* é a água; e *C* é propileno glicol

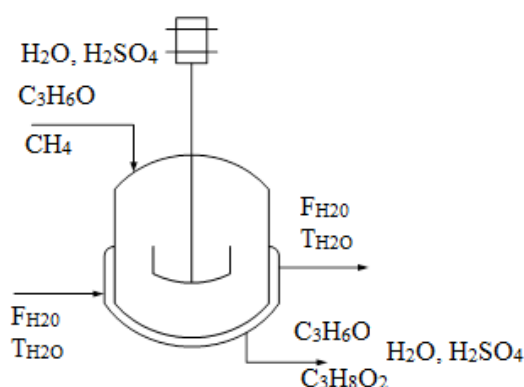


Figura 1 – Reator CSTR para Produção de Propileno Glicol

Fonte: O autor (2018).

Sendo C_i a concentração do componente i (A , B ou C); a equação 3 assume essa igualdade em razão da estequiometria da reação. Para a modelagem matemática, em regime transiente, foram feitos os balanços materiais para A , B e C em termos de concentração molar e o balanço de energia no reator, como segue (Equações de (4) a (6)):

$$\frac{dC_i}{dt} = r_i + \left(\frac{C_{i0} - C_i}{V} \right) v_0 \quad (4)$$

$$\frac{dC_M}{dt} = \left(\frac{C_{M0} - C_M}{V} \right) v_0 \quad (5)$$

$$\frac{dT}{dt} = \frac{\dot{Q} - \dot{W} + F_{A0} \theta C_p (T - T_0) - \Delta H (-r_A) V}{NC_p} \quad (6)$$

Sendo C_{i0} e C_p respectivamente, as concentrações do componente i na entrada e na saída; r_i as taxas de reação do componente i ; V e v_0 são, respectivamente o volume e a vazão volumétrica para cada corrente de alimentação; Q é o calor removido, W é o trabalho; θC_p é a soma do produto do calor específico molar de cada componente; T e T_0 são, respectivamente, as temperaturas das correntes de entrada e saída, respectivamente; ΔH é a variação de entalpia da reação; NC_p é a soma do produto entre o número de mols e a entalpia de cada componente. As condições iniciais e os parâmetros operacionais foram obtidos de Furusawa et al. (1969) e Fogler (2012).

Para o treinamento *off-line* das Redes Neurais Artificiais (RNA), foram coletados dados durante 60 horas de simulações, sendo inseridas perturbações nas variáveis de entrada do processo de $\pm 5\%$, $\pm 10\%$ e $\pm 15\%$, em distintos instantes de tempo. As RNA empregadas foram do tipo perceptron multicamadas, com duas camadas escondidas, sendo cada uma 15 neurônios. Foram testadas diferentes funções de ativação e algoritmos de otimização, sendo os que apresentaram melhores resultados foram obtidos com a função de ativação logarítmica sigmoideal e o algoritmo de Levenberg-Marquardt. O filtro de Kalman estendido (FKE) empregou as mesmas entradas da RNA, que foram: as temperaturas de entrada, do fluido refrigerante e da corrente de saída, além da vazão de alimentação do processo. O algoritmo implementado do FKE é formado pelas Eq. de (7) a (11), abaixo.

$$\hat{x}_{k|k-1} = f(\hat{x}_{k-1|k-1}, u_{k-1}) \quad (7)$$

$$P_{k|k-1} = A_{k-1} P_{k-1|k-1} A_{k-1}^T + Q_k \quad (8)$$

$$K_k = P_{k|k-1} C_k^T (C P_{k|k-1} C_k^T + R)^{-1} \quad (9)$$

$$\hat{x}_{k|k} = \hat{x}_{k|k-1} + K_k [y_k - h(\hat{x}_{k|k-1})] \quad (10)$$

$$P_{k|k} = (I - K_k C_k) P_{k|k-1} \quad (11)$$

3 | RESULTADOS E DISCUSSÕES

Foram verificados os desempenhos em tempo real dos dois sensores virtuais, onde nas Figuras 2 e 3 são apresentadas as estimativas da composição do reagente

na corrente de saída pela RNA e pelo FKE, respectivamente. Enquanto a Figura 4, apresenta o comparativo da RNA e do FKE com o modelo real do processo.

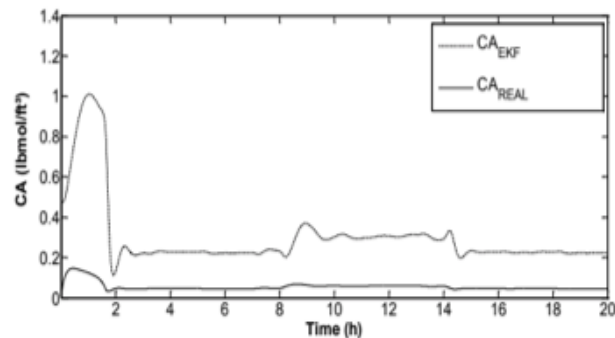
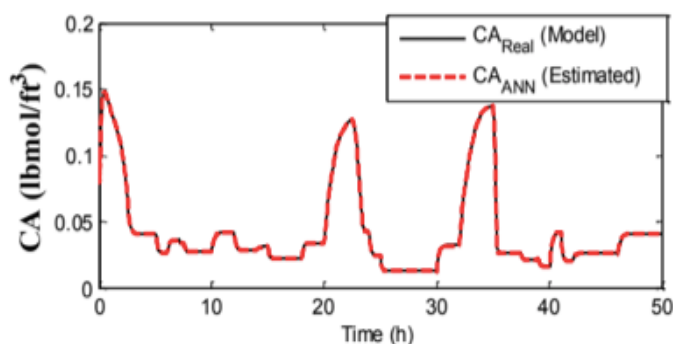


Figura 2 – Sensor Virtual com RNA Figura 3 – Sensor Virtual com FKE

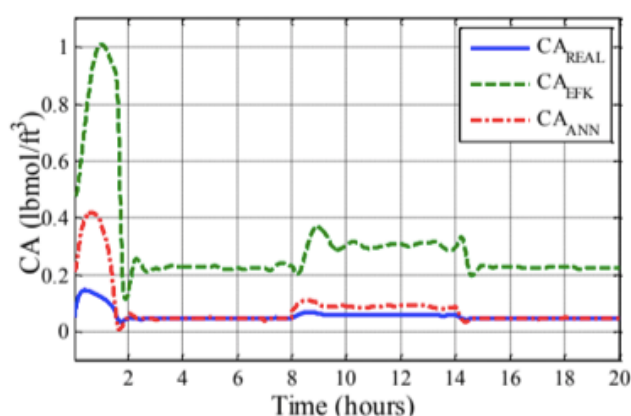


Figura 4 – Desempenhos dos sensores virtuais

Verifica-se através da Figura 2 que a concentração estimada do reagente óxido de propileno na saída do CSTR, feita com a RNA, apresentou resultados próximos dos valores reais, mesmo diante de perturbações ao longo do tempo. Já na figura 3, verifica-se que o FKE não foi tão efetivo quanto a RNA, verificando-se essa diferença entre o perfil de valores reais e estimados. Na figura 4, dispõem-se os valores da concentração de A reais e inferidas pelo FKE e pela RNA. Foram feitas perturbação de +20% no tempo de 8 horas, e de -20% em 14 horas, ambas na vazão molar de entrada de A (F_{A0}). Novamente, verifica-se que os valores obtidos pela RNA apresentaram maior coerência do que àqueles obtidos através do FKE.

De modo a fazer uma análise quantitativa dos sensores virtuais, foram empregados os critérios do erro médio quadrático (MSE) e da raiz do erro médio quadrático (RMSE), sendo os seguintes resultados obtidos: com a estimativa através do FKE MSE e RMSE foram $9,07 \times 10^{-2}$ e 0,30112, respectivamente; enquanto a RNA apresentou os seguintes valores para os mesmos testes, $4,3 \times 10^{-3}$ e 0,06549, respectivamente.

4 | CONCLUSÃO

Nesse trabalho foram empregados as redes neurais artificiais e o filtro de Kalman estendido para estimar a concentração do reagente óxido de propileno, na corrente de saída de um reator CSTR. Os resultados mostraram que a RNA apresentou maior robustez em relação ao FKE, o que pode ser justificado por a mesma ser um poderoso mecanismo identificação não-linear. Vale ressaltar, que podem ser utilizadas técnicas de sintonização para o FKE, que não foram empregadas nesse manuscrito. A qualidade dos resultados foi avaliada em função do MSE e RMSE, os quais confirmaram o melhor desempenho da RNA, haja vista que para essa foram apresentados menores valores dos critérios de erro empregados.

REFERÊNCIAS

FOGLER, H. SCOTT et al. **Elements of chemical reaction engineering**, 4th Edition. Pearson Education, 2006.

FURUSAWA, T., NISHIMURA, H., and MIYAUCHI, T. **Experimental study of a bistable continuous stirred tank reactor**. *Journal of Chemical Engineering of Japan*, Vol. 2, N° 1, 1969.

MORAIS JR., A. A. **Use of soft sensors to estimate impurities in high purity distillation columns**. PhD thesis, Federal University of Campina Grande/Campina Grande, 2015.

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

