



Impactos das
Tecnologias na
Engenharia Química 3

Carmen Lúcia Voigt
(Organizadora)

 **Atena**
Editora

Ano 2019

Carmen Lúcia Voigt
(Organizadora)

Impactos das Tecnologias na Engenharia Química 3

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 3 [recurso eletrônico] / Organizadora Carmen Lúcia Voigt. – Ponta Grossa (PR): Atena Editora, 2019. – (Impactos das Tecnologias na Engenharia Química; v. 3) Formato: PDF Requisitos de sistema: Adobe Acrobat Reader. Modo de acesso: World Wide Web. Inclui bibliografia ISBN 978-85-7247-231-9 DOI 10.22533/at.ed.319190104 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

O acentuado crescimento da população mundial, bem como a ânsia de melhor nível de vida, têm criado elevadas pressões sobre os recursos naturais, matérias-primas, o solo, a água, o ar e os ecossistemas em geral. A intensificação das atividades humanas nas últimas décadas tem gerado um acelerado aumento na produção de resíduos sólidos urbanos, tornando-se um grave problema para as administrações públicas.

A indústria química tem contribuído para a geração de efluentes líquidos e gasosos contendo substâncias tóxicas, bem como de resíduos sólidos perigosos que, lançados diretamente ou indiretamente sem qualquer tratamento no meio ambiente, podem provocar grandes desequilíbrios ecológicos. O uso intensivo de produtos químicos, se por um lado trouxe elevados benefícios aos padrões de vida, por outro lado, os níveis de poluição que estão associados à sua produção são por vezes muito elevados.

As novas tecnologias na Engenharia Química auxiliam nos processos de recuperação e reutilização de resíduos, assim como conversão em novas fontes de energia. Além das diversas formas de obtenção de energia renovável já existente, cada vez mais vem surgindo uma maior procura por outras formas de energia não poluentes. Essas razões são as mais motivacionais: a ideia de uma possível escassez de recursos fósseis, a tentativa de reduzir as emissões de gases nocivos para a atmosfera e que causam o efeito estufa, e, além disso, almeja se alcançar certa independência em relação petróleo.

As questões energéticas são extremamente importantes para a sustentabilidade das sociedades modernas, uma vez que a sobrevivência humana depende do fornecimento contínuo de energia. Esse cenário faz com que seja preciso realizar buscas por alternativas energéticas que sustentem a necessidade humana e que não prejudiquem o ambiente.

Para empresas, além da questão ambiental, um excessivo gasto de energia (advinda de recursos não renováveis) é sinônimo de prejuízo. Eis então uma grande oportunidade para engenheiros químicos intervirem na melhoria da eficiência energética dos processos, ajudar a desenvolver tecnologias limpas e promover a utilização de energias alternativas nas indústrias. Com isso, ocorrerá uma redução de custos e será uma contribuição válida ao meio ambiente o que hoje em dia vem gerando maior competitividade para as empresas. O uso de resíduos agrícolas como fonte de bioenergia tem despertado crescente interesse no setor de agroenergia.

Neste terceiro volume, apresentamos trabalhos com impactos tecnológicos relacionados à indústria, focando na reutilização de produtos e conversão em energia renovável, bem como avanço nos processos para redução da poluição atmosférica e em efluentes. Com isso, convidamos você a aperfeiçoar seus conhecimentos da Engenharia Química voltada para a área ambiental trazendo benefícios para toda a sociedade.

Boa leitura.

Carmen Lúcia Voigt

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1	1
UTILIZAÇÃO DE RESÍDUOS PARA O TRATAMENTO DE EFLUENTES CONTENDO METAIS PESADOS	
Kaíque Souza Gonçalves Cordeiro Oliveira	
Pedro Henrique Trindade Dias Cabral	
Roberta Resende Maciel da Silva	
Carla Torres Dias	
José Renato Guimarães	
Ana Paula Fonseca Maia de Urzedo	
DOI 10.22533/at.ed.3191901041	
CAPÍTULO 2	8
RESÍDUOS DE CANA-DE-AÇÚCAR E MILHO COMO MATÉRIA PRIMA DO ETANOL 2G: ATUALIDADES E PERSPECTIVAS	
Caroline Müller	
Letícia Mara Milani	
Anderson Giehl	
Évelyn Taize Barrilli	
Letícia Deoti	
Ana Carolina Lucaroni	
Viviani Tadioto	
Helen Treichel	
Sérgio Luiz Alves Júnior	
DOI 10.22533/at.ed.3191901042	
CAPÍTULO 3	23
MODELAGEM DA PRODUÇÃO DE BIOSURFACTANTE A PARTIR DE RESÍDUOS AGROINDUSTRIAIS EM BIORREATOR EM BATELADA ATRAVÉS DA OTIMIZAÇÃO DE PARÂMETROS CINÉTICOS POR ALGORITMO GENÉTICO	
Júlia do Nascimento Pereira Nogueira	
Ana Luiza Bandeira de Mello de Albuquerque Campos	
Brunno Ferreira dos Santos	
Filipe Alves Coelho	
DOI 10.22533/at.ed.3191901043	
CAPÍTULO 4	29
VALORIZAÇÃO DE RESÍDUOS AGROINDUSTRIAIS PARA A PRODUÇÃO DO FUNGO ENTOMOPATOGÊNICO <i>METARHIZIUM ANISOPLIAE</i> POR PROCESSOS DE FERMENTAÇÃO EM ESTADO SÓLIDO	
Eloane Daize Gomes Dallastra	
Enylson Xavier Ramalho	
Lina María Grajales Agudelo	
DOI 10.22533/at.ed.3191901044	
CAPÍTULO 5	40
DESENVOLVIMENTO DE UM COSMÉTICO A PARTIR DE RESÍDUO AGROINDUSTRIAL	
Ana Paula Olivo	
Kátya Regina de Freitas Zara	
Leonardo da Silva Arrieche	
DOI 10.22533/at.ed.3191901045	

CAPÍTULO 6	51
INFLUÊNCIA DA GORDURA RESIDUAL DE UNIDADES INDUSTRIAIS DE AVES NA FABRICAÇÃO DE BASE PARA CREME HIDRATANTE	
Jacqueline Hahn Bernardi Cristina Helena Bruno Andreia Cristina Furtado Leonardo da Silva Arrieche	
DOI 10.22533/at.ed.3191901046	
CAPÍTULO 7	58
ANÁLISE DA COMPRESSÃO AXIAL E ABSORÇÃO DE ÁGUA EM CONCRETO PRODUZIDO COM CAROÇO RESIDUAL DE AZEITONA	
Manoela Silva Lima Mariotini Carotta Alan Carlos de Almeida Ana Paula de Carvalho Faria Luiz Felipe Lima Panizzi Jonas dos Santos Pacheco Cristiane de Souza Siqueira Pereira	
DOI 10.22533/at.ed.3191901047	
CAPÍTULO 8	63
INFLUÊNCIA DO TRATAMENTO QUÍMICO NA FIBRA DE COCO PARA UTILIZAÇÃO EM COMPÓSITO POLIMÉRICO	
Wenderson Gomes dos Santos Gilmar Alves Borges Lauro Henrique Hamoy Guerreiro Dilson Nazareno Pereira Cardoso Douglas Alberto Rocha de Castro Emerson Cardoso Rodrigues	
DOI 10.22533/at.ed.3191901048	
CAPÍTULO 9	68
INFLUÊNCIA DOS TRATAMENTOS ORGANOSOLV E HIDROTÉRMICO APLICADOS AO BAGAÇO DE CANA NAS PROPRIEDADES MECÂNICAS DE COMPÓSITOS COM PEAD	
Bruno Chaboli Gambarato Tatiana Raposo de Paiva Cury Sérgio Teodoro de Oliveira	
DOI 10.22533/at.ed.3191901049	
CAPÍTULO 10	74
PROPRIEDADES MECÂNICAS E TÉRMICAS DE COMPÓSITOS DE POLIPROPILENO RECICLADO REFORÇADOS COM BAGAÇO DE CANA	
Bruno Chaboli Gambarato Gilson Carlos Rodrigues Paulino Amanda Santos Leopoldino Lucas Bruno de Paiva	
DOI 10.22533/at.ed.31919010410	

CAPÍTULO 11 79

BALANÇO ENERGÉTICO DO SISTEMA INTEGRADO DE BIO-COMBUSTÃO

Ihana Aguiar Severo
Yuri Naidon Favero
Mariany Costa Deprá
Rodrigo Stefanello Bizello Barrios
Rosangela Rodrigues Dias
Mariane Bittencourt Fagundes
Roger Wager
Leila Queiroz Zepka
Eduardo Jacob-Lopes

DOI 10.22533/at.ed.31919010411

CAPÍTULO 12 85

CARACTERIZAÇÃO DE GENÓTIPOS DE SORGO BIOMASSA PARA BIOENERGIA

Maria Lúcia Ferreira Simeone
Patrícia Abraão de Oliveira
Kirley Marques Canuto
Rafael Augusto da Costa Parrella
Cynthia Maria Borges Damasceno
Robert Eugene Schaffert

DOI 10.22533/at.ed.31919010412

CAPÍTULO 13 90

DESENVOLVIMENTO DE BIODIGESTOR E AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO PARA TRATAMENTO DE RESÍDUO SÓLIDO ORGÂNICO

Flávia Souza Pio
Letícia Tamara Santana
Lorena Kelly Corrêia
Francine Duarte Castro

DOI 10.22533/at.ed.31919010413

CAPÍTULO 14 97

RESOLUÇÃO DE PROBLEMA DE VALOR NO CONTORNO ASSOCIADO À MODELAGEM DE BIORREATORES TUBULARES DE FLUXO DISPERSO E CINÉTICA DE MICHAELIS-MENTEN LINEARIZADA

Samuel Conceição Oliveira
Felipe Coelho Morilla

DOI 10.22533/at.ed.31919010414

CAPÍTULO 15 104

SIMULAÇÃO E AVALIAÇÃO DE CICLOS A VAPOR PARA COGERAÇÃO DE BIOENERGIA NO SETOR SUCROENERGÉTICO

Welban Ricardo Ursino
Samuel Conceição Oliveira

DOI 10.22533/at.ed.31919010415

CAPÍTULO 16 114

AVALIAÇÃO DE ÓLEOS DE SOJA COM DIFERENTES ORIGENS NA PRODUÇÃO DO BIODIESEL VIA ROTA METÁLICA

Melissa Rafaela Wolf
Isabela Silveira Tobias Perassi
Nadine de Assis
Fulvy Antonella Venturi Pereira

DOI 10.22533/at.ed.31919010416

CAPÍTULO 17 123

PRODUÇÃO DE BIODIESEL PELA TRANSESTERIFICAÇÃO SUPERCRÍTICA ETANÓLICA: MODELAGEM E SIMULAÇÃO

Erich Potrich
Bruno Elias Suzart Chamas
Antonio José Gonçalves da Cruz
Roberto de Campos Giordano

DOI 10.22533/at.ed.31919010417

CAPÍTULO 18 129

PRODUÇÃO DE BIOETANOL UTILIZANDO CÉLULAS DE SACCHAROMYCES CEREVISIAE IMOBILIZADAS EM ESFERAS DE ALGINATO DE CÁLCIO REVESTIDAS COM QUITOSANA

Lucidio Cristovão Fardelone
Taciani do Santos Bella de Jesus
Leonardo Akira Kamimura Oura
Gustavo Paim Valença
José Roberto Nunhez
José Augusto Rosário Rodrigues
Paulo José Samenho Moran

DOI 10.22533/at.ed.31919010418

CAPÍTULO 19 137

AUTOMAÇÃO E DIAGNÓSTICO DE FALHAS EM SENSORES E ATUADORES APLICADOS NA PLANTA DE TRATAMENTO DA PRODUÇÃO DO BIODIESEL

Thalys de Freitas Fernandes
Dinilton Pessoa de Albuquerque Neto
Gerônimo Barbosa Alexandre
José Nilton Silva

DOI 10.22533/at.ed.31919010419

CAPÍTULO 20 157

ESTUDO CINÉTICO DA REAÇÃO DE FENTON COM PÓ DE MINÉRIO NO TRATAMENTO DE ÁGUAS DE LAVAGEM DE BIODIESEL E AVALIAÇÃO DA LIXIVIABILIDADE DO RESÍDUO

Jamyla Soares Anício Oliveira Félix
Aline Givisiez de Souza
Francine Duarte Castro

DOI 10.22533/at.ed.31919010420

CAPÍTULO 21 173

APLICAÇÃO DE CARVÃO ATIVADO CALCINADO NA REMOÇÃO DE ÓLEO DIESEL

Leonardo Henrique de Oliveira
Selene Maria Arruda Guelli Ulson de Souza
Antônio Augusto Ulson de Souza

DOI 10.22533/at.ed.31919010421

CAPÍTULO 22	178
DETERMINAÇÃO EXPERIMENTAL DA CURVA DE POLARIZAÇÃO DE UMA CÉLULA A COMBUSTÍVEL TIPO PEM	
Roque Machado de Senna Thais Santos Henrique Senna Marcelo Linardi	
DOI 10.22533/at.ed.31919010422	
CAPÍTULO 23	187
ANÁLISE DA EFICIÊNCIA INDIVIDUAL DE COLETA E GLOBAL NA SEPARAÇÃO DE PARTICULADOS DE MAGNESITA EM CICLONE LAPPLE	
Polyana Gomes de Aguiar Daiane Ribeiro Dias Annanda Alkmim Alves Mariana Oliveira Marques João Carlos Gonçalves	
DOI 10.22533/at.ed.31919010423	
CAPÍTULO 24	194
ANÁLISE DE HIDROCARBONETOS AROMÁTICOS POLICÍCLICOS (PAH) NO AR ATMOSFÉRICO USANDO SISTEMA PASSIVO DE AMOSTRAGEM PARA MONITORAMENTO AMBIENTAL	
Aldo Muro Júnior Nicola Pittet Muro Nelson Roberto Antoniosi Filho Maria Isabel Ribeiro Alves	
DOI 10.22533/at.ed.31919010424	
CAPÍTULO 25	213
CAPTURA DE CO ₂ UTILIZANDO O PROCESSO CALCIUM-LOOPING	
Juliana Alves da Silva Ricardo José Chimentão João Batista Oliveira dos Santos	
DOI 10.22533/at.ed.31919010425	
CAPÍTULO 26	224
DESENVOLVIMENTO DE PROCESSO QUÍMICO DE CAPTURA DE CO ₂ UTILIZANDO A TECNOLOGIA HIGEE NA INTENSIFICAÇÃO DE PROCESSOS PRODUTIVOS	
Kaíque Souza Gonçalves Cordeiro Oliveira José Renato Guimarães Brenda Sedlmaier Costa Coelho Camila Ceravolo de Carvalho Francine Silveira Vieira Luiza Moreira Santos Jorge David Alguiar Bellido	
DOI 10.22533/at.ed.31919010426	

CAPÍTULO 27 232

Zn-ZIF EM TECIDO APLICADO NO PROCESSO DE CAPTURA DE CH₄

Guilherme Andreoli Gil
Guilherme Otávio Lima
Lucas Mendes Pedro
Bianca Bastos Caruzi
Fabrício Maestá Bezerra
Murilo Pereira Moisés

DOI 10.22533/at.ed.31919010427

CAPÍTULO 28 239

INIBIDOR DE CORROÇÃO OBTIDO POR LIXIVIAÇÃO DE CIGARRO APÓS SEU CONSUMO

Lauren Marcilene Maciel Machado
Luciana Rodrigues Machado

DOI 10.22533/at.ed.31919010428

CAPÍTULO 29 249

ENRIQUECIMENTO DE BACTÉRIAS REDUTORAS DE SULFATO AUTÓCTONES E SUA ADESÃO EM ESPUMA DE POLIURETANO EM REATOR ANAERÓBIO NO TRATAMENTO DE DRENAGEM ÁCIDA DE MINA

Alessandra Giordani
Renata Piacentini Rodriguez
Leonardo Henrique Soares Damasceno
Gunther Brucha

DOI 10.22533/at.ed.31919010429

CAPÍTULO 30 255

BIODEGRADAÇÃO DO SURFACTANTE LINEAR ALQUILBENZENO SULFONATO DE SÓDIO EM DOIS DETERGENTES LIQUIDOS COMERCIAIS UTILIZANDO FUNGO FILAMENTOSO *Penicillium crustosum*

Sulamita Aparecida Ambrosia dos santos
Luiza Maria Amaral Frossard de Paula
Mayara Costa Franco
Karen Sartori Jeunon Gontijo
Ana Maria de Oliveira
Enio Nazaré de Oliveira Junior

DOI 10.22533/at.ed.31919010430

CAPÍTULO 31 272

DEGRADAÇÃO DE CORANTES ALIMENTÍCIOS UTILIZANDO LAFeO₃ COMO CATALISADOR EM REAÇÃO FOTO-FENTON SOLAR

Patrícia Grassi
Fernanda Caroline Drumm
Siara Silvestri
Sérgio Luiz Jahn
Edson Luiz Foletto

DOI 10.22533/at.ed.31919010431

CAPÍTULO 32	281
DEGRADAÇÃO FOTOCATALÍTICA DE RODAMINA B COM UM CATALISADOR À BASE DA BIOMASSA PORONGO: EFEITO DA DOPAGEM COM FERRO	
William Leonardo da Silva	
Mariéle Schaedler Nascimento	
Matheus Severo Schalenberger	
Joana Bratz Lourenço	
DOI 10.22533/at.ed.31919010432	
CAPÍTULO 33	287
AVALIAÇÃO DA DEGRADAÇÃO FOTOCATALÍTICA, UTILIZANDO TiO_2 E ZNO, DO ANTIBIÓTICO METRONIDAZOL (MTZ) A PARTIR DA ESPECTROFOTOMETRIA	
Luiza Barbosa Petersen Mendes	
Luciane Pimentel Costa Monteiro	
Leandro Vahia Pontual	
DOI 10.22533/at.ed.31919010433	
CAPÍTULO 34	303
CARACTERIZAÇÃO DE CÁPSULAS DE CAFÉ PÓS CONSUMO VISANDO A RECICLAGEM NA INDÚSTRIA TÊXTIL	
Valquíria Aparecida dos Santos Ribeiro	
Priscilla Sayuri Nakazawa	
Ana Maria Ferrari	
Ana Claudia Ueda	
DOI 10.22533/at.ed.31919010434	
CAPÍTULO 35	315
APPLICATION OF THE MARKOV CHAIN MONTE CARLO METHOD TO ESTIMATION OF PARAMETERS IN A MODEL OF ADSORPTION-ENHANCED REACTION PROCESS FOR MERCURY REMOVAL FROM NATURAL GAS	
Josiel Lobato Ferreira	
Diego Cardoso Estumano	
Mariana de Mattos Vieira Mello Souza	
Emanuel Negrão Macêdo	
DOI 10.22533/at.ed.31919010435	
CAPÍTULO 36	322
SÍNTESE E CARACTERIZAÇÃO DE CATALISADORES BASEADOS EM ÓXIDO DE FERRO SUPOSTADOS EM CARVÃO ATIVADO DERIVADO DA CASCA DO COCO VERDE	
Natália Matos Silva Pereira	
Marta Cecilia da Esperança Santos	
Sirlene Barbosa Lima	
Maria Luiza Andrade da Silva	
DOI 10.22533/at.ed.31919010436	
SOBRE A ORGANIZADORA	334

AUTOMAÇÃO E DIAGNÓSTICO DE FALHAS EM SENSORES E ATUADORES APLICADOS NA PLANTA DE TRATAMENTO DA PRODUÇÃO DO BIODIESEL

Thalys de Freitas Fernandes

Aluno do Doutorado do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química da Universidade Federal de Campina Grande
E-mail: thalys.fernandes@yahoo.com.br

Dinilton Pessoa de Albuquerque Neto

Aluno de Graduação em Engenharia Elétrica e Jovem Pesquisador do Instituto Federal de Pernambuco Campus Garanhuns
E-mail: diniltonp@hotmail.com

Gerônimo Barbosa Alexandre

Professor EBTT do Instituto Federal do Pernambuco Campus Garanhuns
E-mail: geronimo.alexandre@garanhuns.ifpe.edu.br

José Nilton Silva

Professor Adjunto do Departamento de Engenharia Química da Universidade Federal de Campina Grande
E-mail: nilton@deq.ufcg.edu.br

RESUMO: Em geral quatro tarefas estão envolvidas no monitoramento do processo: (1) detecção da falha, que fornece uma indicação de que algo está errado no processo; (2) identificação da falha, determina onde houve o defeito; (3) estimativa da falha, que avalia a amplitude da falha; (4) reconstrução da falha, eliminar a falha para que a informação correta seja enviada para o (s) controlador (es).

Este artigo apresenta uma metodologia para detecção e isolamento de falhas em processos industriais, combinado ao controle tolerante a falhas; técnicas baseadas em modelos fazem a detecção da anomalia; um classificador lógico com limiares fixos para a identificação e o controle tolerante é alcançado por uma lei de controle auto reconfigurável, usando a estimativa da severidade da falha. A estratégia proposta é aplicada na planta de tratamento de efluentes da produção do biodiesel. O artigo discute como definir limiares adaptativos para sistemas de monitoramento de unidades processuais e a automação usada na planta experimental. Os resultados experimentais e de simulação atestam a eficiência da técnica proposta, ainda que esteja sendo utilizada uma lei de controle clássica, o diagnosticador de falhas independe da lei de controle.

PALAVRAS-CHAVE: Detecção e Identificação de falhas, Controle tolerante a falhas, planta experimental.

ABSTRACT: Early fault detection can help prevent unexpected stops, accidents and reduce start-up time of the process. Usually four tasks are involved in the monitoring process: (1) fault detection, which gives an indication that something is wrong in the process; (2) the failure identification, determines where there was the defect; (3) an estimate of the fault,

which evaluates the amplitude of the fault; (4) reconstruction of the fault, clear the fault so that the correct information is sent to the (s) controller (s). This paper presents a methodology for detecting and isolating faults in industrial processes, combined with fault tolerant control; Model-based techniques make the detection of the anomaly; a logic classifier with fixed thresholds for the identification and tolerant control is achieved by a self-reconfigurable control law, using the estimate of the fault severity. The proposed strategy is applied to the wastewater treatment plant of biodiesel production. The article discusses how to define adaptive thresholds for monitoring processing units and automation systems used in experimental plant. The experimental results and simulation attest to the efficiency of the proposed technique, although it is being used a classical control law the fault diagnostician independent of the control law.

KEYWORDS: Fault detection and identification, Fault tolerant control, Experimental Process.

1 | INTRODUÇÃO

A falha é entendida como qualquer tipo de desvio (mal-funcionamento) na dinâmica atual do sistema, em outras palavras uma anomalia na planta que leve a parada total ou parcial do processo. Tal falha pode ocorrer tanto nos sensores (instrumentos), ou atuadores, ou nos componentes do processo.

O diagnóstico de falhas em sistemas de instrumentação e controle de processos industriais contribui para minimizar a ocorrência de interrupções não programadas, na prevenção de acidentes, bem como para evitar condições de operação anormais que degradem a qualidade do produto final. De modo geral um sistema de diagnóstico de falhas contempla as seguintes etapas: (1) a detecção da falha, que provê uma indicação do que está errado no processo; (2) a identificação da falha, que permite localizar onde ocorreu o defeito; (3) a estimativa da falha, que avalia a severidade da falha; (4) a mitigação da falha, que permite restaurar sinais perdidos por conta da ocorrência da falha (Alexandre & Lima, 2013).

A estratégia proposta para diagnóstico de eventos anormais em sistemas industriais faz uso de técnicas analíticas para detecção de falhas em sensores e atuadores, sendo elas: Equações de paridade ou relações de consistência, obtido pela conservação direta do modelo de entrada-saída ou espaço de estado do sistema; observadores de estado; identificação paramétrica e o filtro de Kalman. Na identificação é usado um classificador lógico com limiares fixos e para o controle tolerante é utilizada a estimativa da severidade (magnitude) da falha para a reconfiguração da lei de controle, vale destacar que na literatura encontram-se estratégias de monitoramento que envolve apenas uma das técnicas de detecção, aqui serão utilizadas em conjunto gerando um banco de resíduos, os quais serão classificados pelo classificador lógico. O banco de resíduos dará informações ricas do processo, conseqüentemente um diagnosticador robusto e eficiente será alcançado, minimizando a ocorrência de alarmes falsos. Cada técnica foi testada individualmente, para determinar qual (ais)

técnica (as) é (são) sensível (eis) a desvios de entrada e quais delas são sensíveis a desvios de saída ou ambos, concluída esta etapa definiu-se uma metodologia híbrida para detecção e diagnóstico de falhas. A metodologia foi testada numa planta de tratamento de efluentes do biodiesel. O artigo discute como definir limiares adaptativos para sistemas de monitoramento de unidades processuais.

A contribuição do trabalho é afirmada pelos seguintes pontos: Desenvolvimento de uma planta experimental inédita para o tratamento de efluentes da produção do biodiesel; roteiro para definição de limiares adaptativos de cartas de controle estatístico frente às mudanças operacionais; projeto de um sistema de diagnóstico de falhas em plantas industriais, onde combina várias técnicas encontradas na literatura em uma única estrutura, que são classificadas para dar uma informação precisa ao operador.

Este artigo está organizado da seguinte maneira. Na Seção 1 é feita caracterização da problemática em estudo, as metas traçadas e as contribuições do trabalho. Na Seção 2 é apresentada a metodologia utilizada para consecução dos objetivos propostos. A descrição sucinta da planta de produção de biodiesel, em especial a subunidade de tratamento de efluentes instalada na UFCG é ilustrada na Seção 3. Na seção 04 é discutido o roteiro técnico para o projeto e implementação física de controladores industriais, enfocando os resultados da automação inserida na planta de tratamento de efluentes da produção do biodiesel. A Seção 5 aos resultados experimentais e de simulação obtidos da implementação da estratégia de diagnóstico de falhas em sensores e atuadores quando avaliada a planta de tratamento de efluentes, nesta seção é feita uma reflexão da construção de limiares adaptativos as mudanças operacionais, o que leva o sistema de diagnóstico ser robusto nas respostas frente às variações da planta em tempo real. Finalmente na Seção 6 apresentam-se as conclusões e eventuais trabalhos futuros.

2 | METODOLOGIA

A metodologia proposta para consecução dos objetivos estabelecidos consiste na execução das atividades ilustradas no diagrama de blocos da Figura 1. Vale ressaltar que a etapa denominada de diagnóstico de falhas é o foco e enseja a realização das etapas de detecção, isolamento e mitigação do defeito.

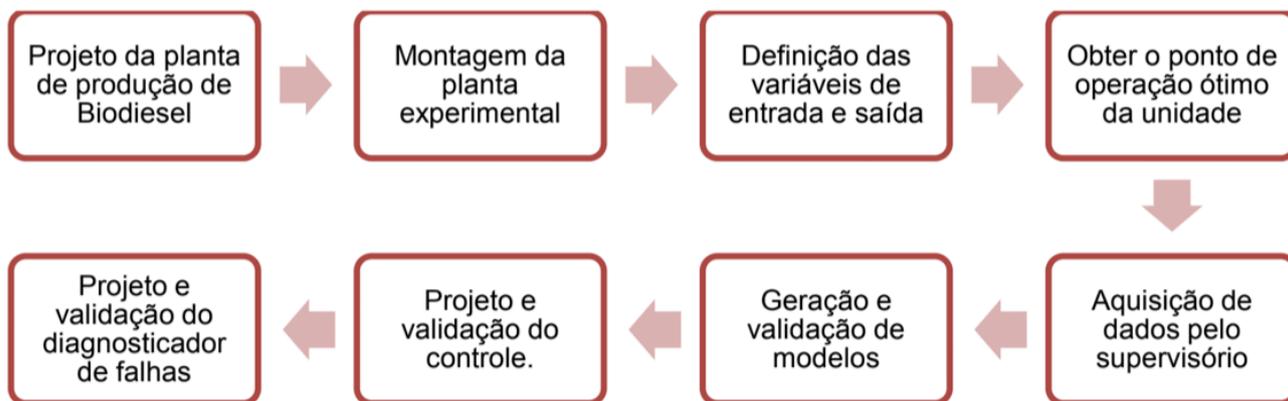


Figura 1. Fluxograma descritivo da metodologia proposta.

3 | DESCRIÇÃO DA PLANTA EXPERIMENTAL

A planta de produção de biodiesel para realização dos estudos encontra-se instalada no Laboratório de Química e Biomassa da Universidade Federal de Campina Grande, cuja representação pode ser visualizada no fluxograma da Figura 2, conforme proposto por Fernandes e Araújo (2012).

O reator tubular vertical proposto para o sistema é constituído por um cano de PVC (Policloreto de Venila – Policloreto) de 0,225 m de comprimento e 0,047 m de diâmetro, onde fora adaptada uma entrada para o efluente na parte inferior e duas saídas para os produtos na parte superior conforme se observa na Figura 03. Na primeira corrente de saída do reator tubular obtêm-se o efluente tratado que é armazenado no tanque 07 para posteriores análises físico-químico e a segunda corrente (vazão volumétrica) corresponde a uma suspensão predominantemente sólida, que é estocada no tanque 08, que será objeto de estudos futuros (Fernandes e Araújo, 2012; Fernandes e Araújo, 2011; Meneses e Araújo, 2011).

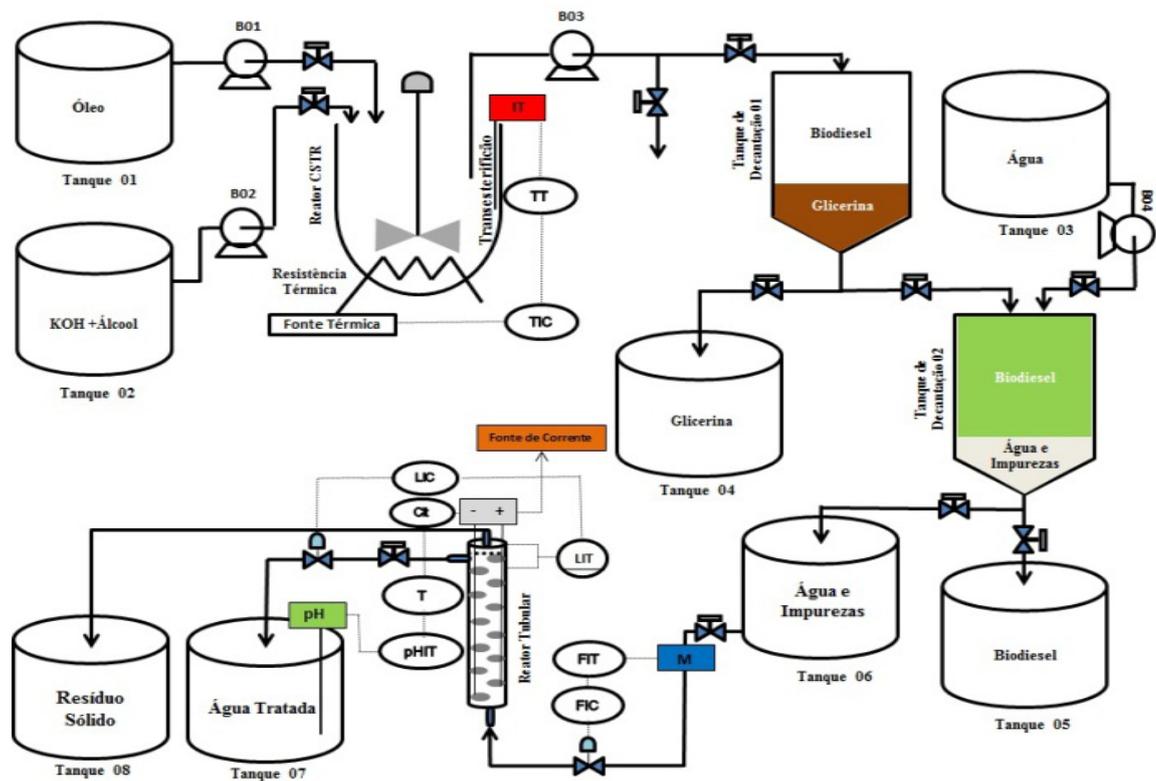


Figura 2. Fluxograma descritivo da planta de produção de biodiesel e tratamento de efluente.

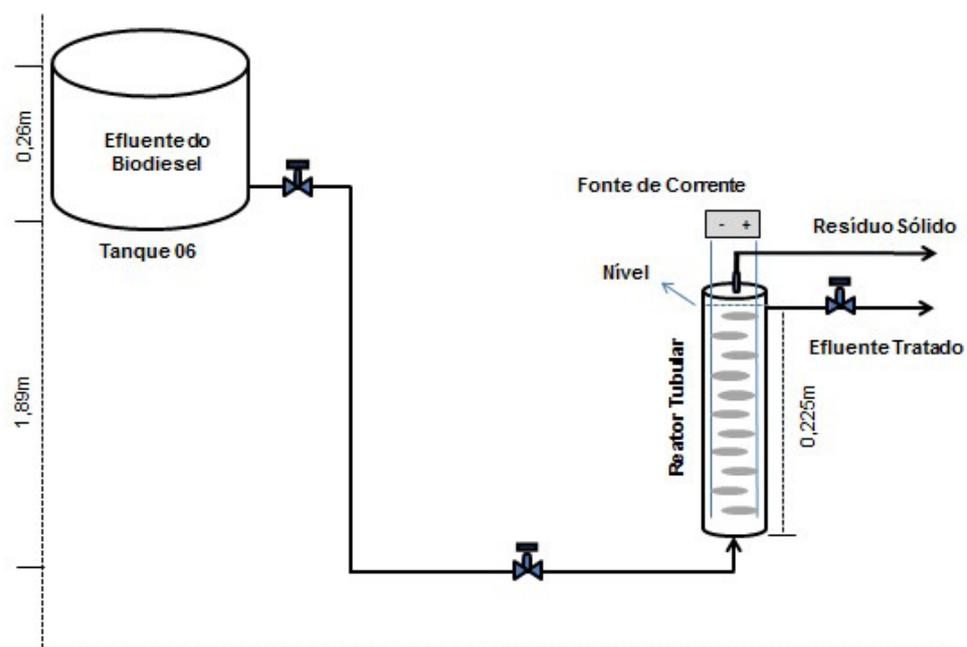


Figura 3. Esquemático do sistema experimental projetado para tratamento de efluentes.

A planta é constituída por dois processos reacionais e um processo de separação física. A primeira etapa reacional é a reação de transesterificação via rota homogênea, que se dá no reator de fluxo contínuo (CSTR) a partir da mistura do óleo vegetal com uma solução alcóolica catalítica. Duas bombas centrífugas (B01) e (B02) são usadas para bombear óleo do Tanque 01 e solução alcóolica do Tanque 02 para o reator, e duas válvulas pós as bombas para se regular as respectivas vazões. Dentro do reator foi inserido um controlador de temperatura, com o propósito de manter a temperatura

da reação de transesterificação na temperatura ótima de operação, essencial para se alcançar a conversão desejada em um tempo reduzido, se comparado com o sistema sem aquecimento. A instrumentação consiste de um Indicador de Temperatura (IT), um Transmissor de Temperatura (TT) e um Controlador-Indicador de Temperatura (TIC) que atua na fonte térmica geradora de calor.

Na corrente de saída do reator há uma Bomba (B03) para enviar os produtos do (CSTR) para o Tanque de Decantação 01. Uma corrente lateral foi inserida por meio de uma válvula manual para a retirada de amostras de biodiesel. As amostras são retiradas para a verificação da conversão, via análises cromatográficas. O produto sintetizado no reator batelada é inserido em um tanque de decantação 01, onde por diferença de densidade formam-se duas fases: uma menos densa, constituída de biodiesel e outra mais densa, a glicerina. A glicerina é primeiramente retirada do tanque de decantação 01 e estocada em um tanque 04, onde, posteriormente é destinada a empresas produtoras de detergentes e medicamentos. Já o biodiesel é enviado há um tanque de decantação 02, para ser purificado.

Para o bombeamento de água (agente de lavagem e purificação do biodiesel) do Tanque 03 para o tanque de decantação 02 foi inserido uma bomba centrífuga (B04). Após a mistura formam-se duas fases: uma mais densa contendo efluente (água, subprodutos e reagentes da transesterificação) e outra menos densa, o biodiesel isento de impurezas. O efluente é a primeira mistura que é separada e enviada para o tanque 06, dando início a etapa de tratamento de efluentes, já o biodiesel é armazenado no tanque 05 para que, posteriormente, sejam realizadas as análises físico-químicas.

A partir do tanque 06, inicia-se a planta de tratamento de efluente, em destaque na Figura 03, que será o foco de desenvolvimento desse trabalho. O tanque 06 alimenta o reator de eletrofloculação com efluente proveniente da purificação do biodiesel, cujo fluxo de efluente ocorre via força gravitacional. Devido à dificuldade de se controlar a vazão de entrada do reator tubular, fora proposto um controle de vazão, visto que à medida que o Tanque 06 aumenta ou diminui o nível, há queda de pressão no sistema. Assim, uma malha de controle da vazão de entrada do reator foi projetada com a seguinte instrumentação: um sensor ou indicador de vazão (M), um Transmissor Indicador de vazão (FIT) e um Controlador Indicador de vazão (FIC), que atua na válvula de controle inserida antes da entrada do reator.

O reator tubular foi projetado para ser operado na vertical. É constituído por um cano de PVC (Policloreto de Venila – Policloreto) de 0,245m de comprimento e 0,047m de diâmetro, onde fora adaptada uma entrada para o efluente na parte inferior e duas saídas para os produtos na parte superior, conforme se observa na Figura 03 e 05. Na primeira corrente de saída obtêm-se o efluente tratado que é armazenado no tanque 07 para posteriores análises e a segunda corrente corresponde a uma suspensão predominantemente sólida, que é estocada no tanque 08. Essa suspensão está sendo estudada para fins de viabilidade de recuperação de solos e compostagens.

No reator tubular foi projetada uma malha de controle de nível do líquido, visto

que o volume de efluente não pode transbordar e nem atingir valores abaixo da saída de líquido, sendo mais uma variável difícil de controlar manualmente. A instrumentação instalada consiste em: um Medidor de Nível, um Sensor e Transmissor de Nível (LIT) e um Controlador Indicador (LIC), que atua na segunda válvula de controle inserida na corrente de água tratada.

Ainda no reator tubular foi inserida uma malha para o controle do pH do efluente tratado que é lançado no Tanque 07. Esse controle faz a regulação do pH do líquido a partir da tensão aplicada. A instrumentação usada consiste em: um Indicador de pH (pH) ou pHmetro no Tanque 07, um Transmissor Indicador de pH (pHIT) que envia um sinal para o Transdutor (T), que repassa o sinal medido para o Controlador Indicador de tensão (CIt), o qual atua na fonte de corrente que alimenta o reator tubular, ajustando a tensão e conseqüentemente a corrente no meio reacional.

Para o reator tubular foram construídos três arranjos de eletrodos, sendo que cada um possui 12 placas circulares de alumínio, distribuídas em forma de chicanas. A distância entre as placas foi tomada de forma que o fluxo de efluente não permitisse que as mesmas entrassem em contato, para que não fechassem o circuito e levando em consideração que estas ficassem o mais próximo possível para melhorar a eficiência do tratamento. Conforme observado na Figura 04, de um lado do arranjo encontra-se um conjunto de placas interconectadas, chamadas de catodo e do outro, o anodo.



Figura 4. Eletrodos de alumínio distribuídos alternadamente em forma de chicanas.

A visão geral da planta experimental de tratamento e controle de efluentes é visualizada na Figura 05. O reator tubular para tratamento de efluente via eletrofloculação mostra-se eficiente do ponto de vista energético e operacional, para cada metro cúbico de efluente tratado, leva em média 30 min de operação, para uma tensão de 4,4 Volts, com um gasto de apenas R\$ 0,23 e por se tratar de um reator de fluxo contínuo, não há necessidade de parada da planta para cada volume de efluente tratado, o startup do reator tubular se dá apenas para realização de troca e manutenção de eletrodos.

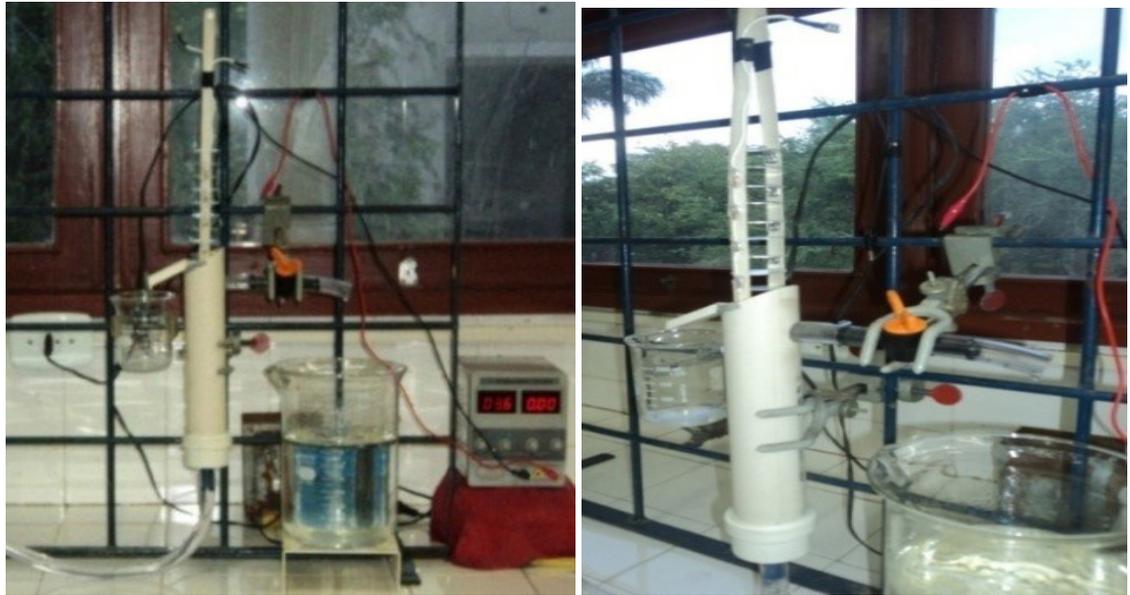


Figura 5. Visão geral reator tubular em pré-funcionamento.

A turbidez do efluente é uma das características mais importantes para conhecer se o processo de eletrofloculação com um reator de fluxo contínuo pode ou não ser viável para o tratamento de efluentes gerados pela produção do biodiesel, pois, é uma característica fácil de ser analisada. Na Figura 06 é possível observar nitidamente essa diferença de coloração para o efluente, antes e após ter sido submetido ao processo de tratamento.



Figura 6. Diferença de clarificação entre o efluente tratado (ET) e bruto (EB).

4 | AUTOMAÇÃO DA PLANTA DE TRATAMENTO DE EFLUENTES

Antes da instalação do sistema de automação e controle da operação da planta de tratamento se faz necessário projetar, avaliar e validar o controlador PID (estrutura a ser configurada no CLP), para manipular as variáveis de decisão. De modo geral deve-se seguir as etapas descritas na Figura 07.

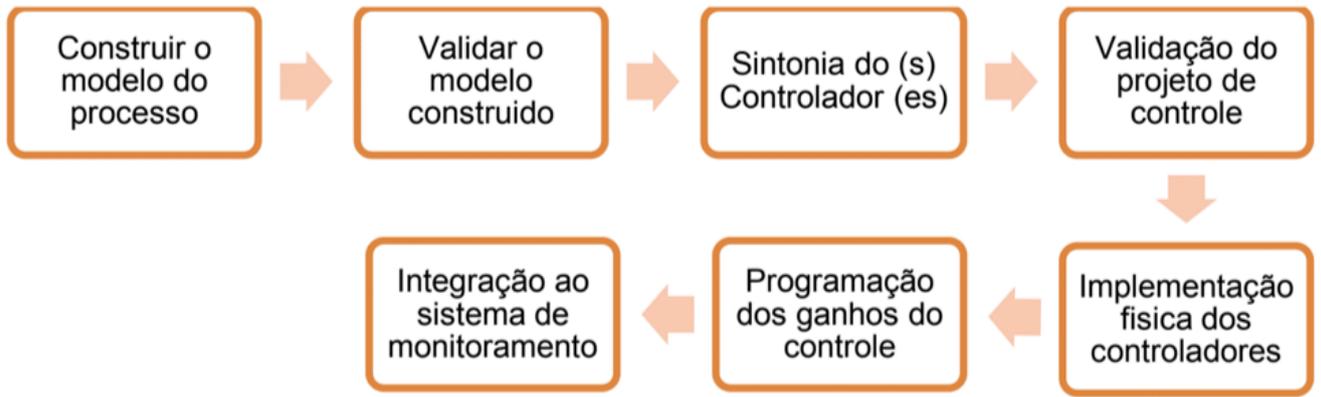


Figura 7. Avaliação de uma estratégia de controle.

Os dados de entrada e saída foram coletados experimentalmente (três variáveis de entrada: Potencial Hidrogeniônico – pH inicial do efluente, a tensão aplicada e a vazão volumétrica de entrada e duas variáveis de saída: pH Final, Vazão de saída e consumo energético). Estes dados foram utilizados para alimentar o estimador de parâmetros na identificação do modelo do processo. Os modelos obtidos em funções de transferências são dados pelas equações de 1-4.

$$G_1(s) = \frac{ME(s)}{Vazao(s)} = \frac{18.1}{34,14s^2 + 3414s + 1} e^{-30s} \quad (1)$$

$$G_2(s) = \frac{ME(s)}{Tensao(s)} = \frac{27}{0,473s^2 + 4,73s + 1} e^{-30s} \quad (2)$$

$$G_3(s) = \frac{CE(s)}{Tensao(s)} = \frac{0.154}{15,28s^2 + 30,57s + 1} e^{-30s} \quad (3)$$

$$G_4(s) = \frac{pH(s)}{Tensao(s)} = \frac{1.8}{4,562s^2 + 5,072s + 1} e^{-30s} \quad (4)$$

Onde: m é a massa despreendida dos eletrodos de alumínio durante a reação, Q é a vazão de alimentação do reator de fluxo contínuo, E é o consumo energético para o tratamento de determinada quantidade de efluente (água + óleo + sólidos) e s é o operador de Laplace.

As curvas levantadas experimentalmente foram comparadas com as curvas produzidas pelos modelos, sendo satisfatório o erro quadrado de 98% entres os dados estimados e os dados medidos, afirmando a qualidade do modelo construído, outros

testes para fins de controle foram avaliados, por exemplo: resposta ao degrau, resposta em frequência e estabilidade do processo em malha aberta e em malha fechada. Após validar os modelos construídos, a etapa seguinte é o projeto do controlador (sintonia, validação e programação).

Os parâmetros de sintonia dos controladores utilizados para regular as principais malhas da planta foram obtidos por técnicas clássicas de sintonia, Ziegler & Nichols (1942) e estão dispostos na Tabela 1.

Descrição do bloco	pH × variação de tensão	Desgaste dos eletrodos ×variação de vazão	Desgaste dos eletrodos ×variação de tensão	Consumo energético × variação de tensão
Controlador: $C(s) = K_p + \frac{K_i}{s} + K_d s$	$K_p = 2,5$ $K_i = 0,5$ $K_d = 2,5$	$K_p = 0,0075$ $K_i = 0,065$ $K_d = 0,11$	$K_p = 1,75$ $K_i = 0,1$ $K_d = 0,07$	$K_p = 10$ $K_i = 0,003$ $K_d = 0,75$
Set-point	8,0 (volts/s)	8,0 ($g/dm^3 \cdot s^{-1}$)	10 ($\frac{g}{volts}$)	0.1 (kWh)

Tabela 1. Parâmetros de sintonia do sistema de controle da planta de tratamento de efluentes.

A planta foi ajustada para o ponto ótimo de operação obtido durante as baterias de ensaios realizados na plataforma experimental, ou seja, tensão de alimentação de 4,4 volts, pH inicial de 8,0 e a vazão volumétrica de entrada de 8 ml/s. as respostas do sistema de controle quando as malhas de pH, massa do eletrodos e o consumo energético estão sendo controladas podem ser visualizadas nas Figuras de 8 a 11.

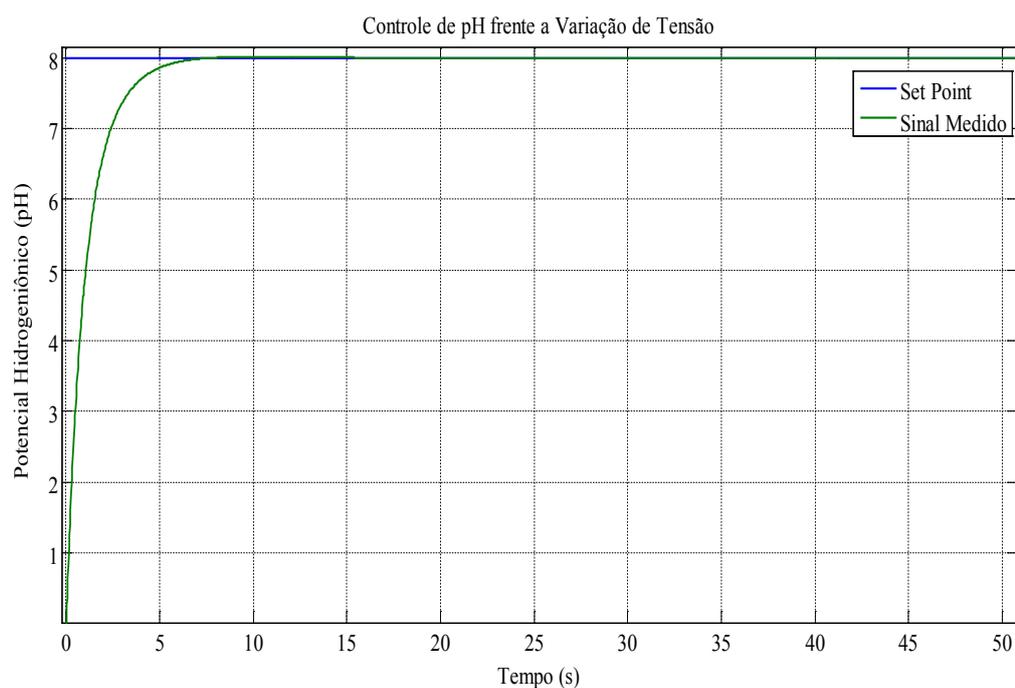


Figura 8. Controle do pH.

As simulações foram realizadas em software de simulação matemática, usando passo de integração fixo, tolerância de 0,001, método de integração ODE45-Dormand-Prince solver, duração de 500 segundos, com o objetivo de validar o controle proposto, foram realizadas simulações do processo em malha aberta e da planta de tratamento de efluentes operando em malha fechada.

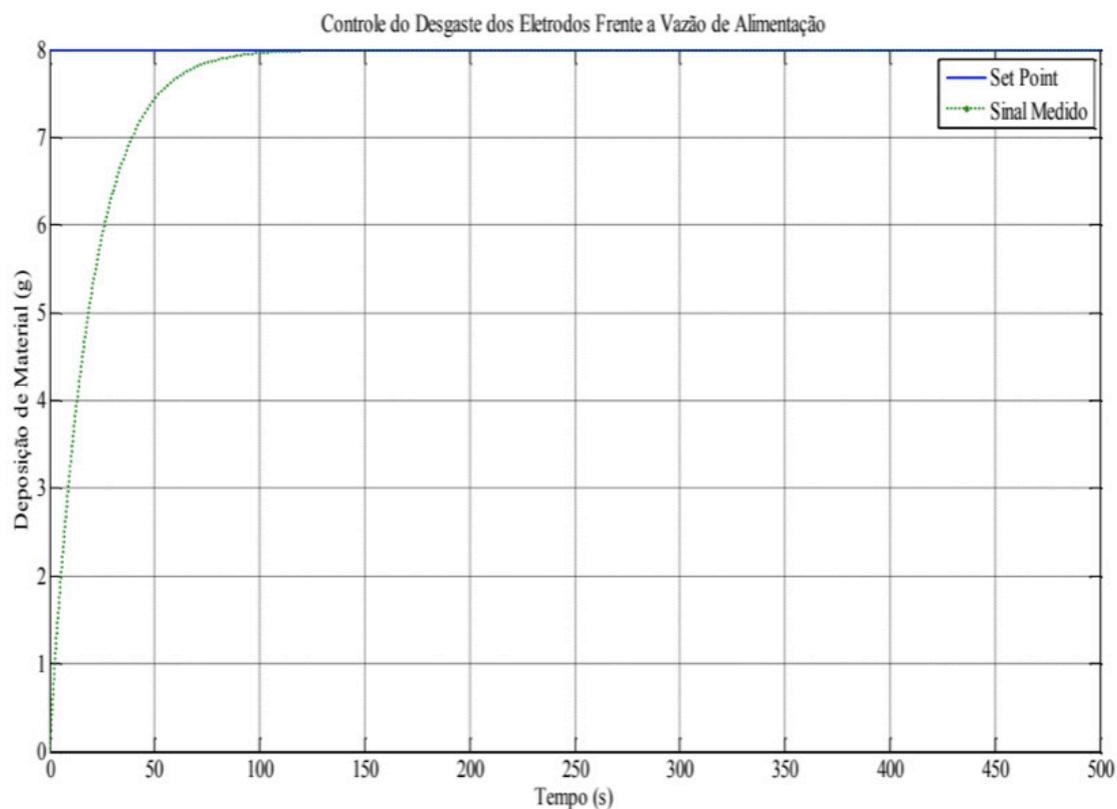


Figura 9. Controle do desgaste dos eletrodos - vazão.

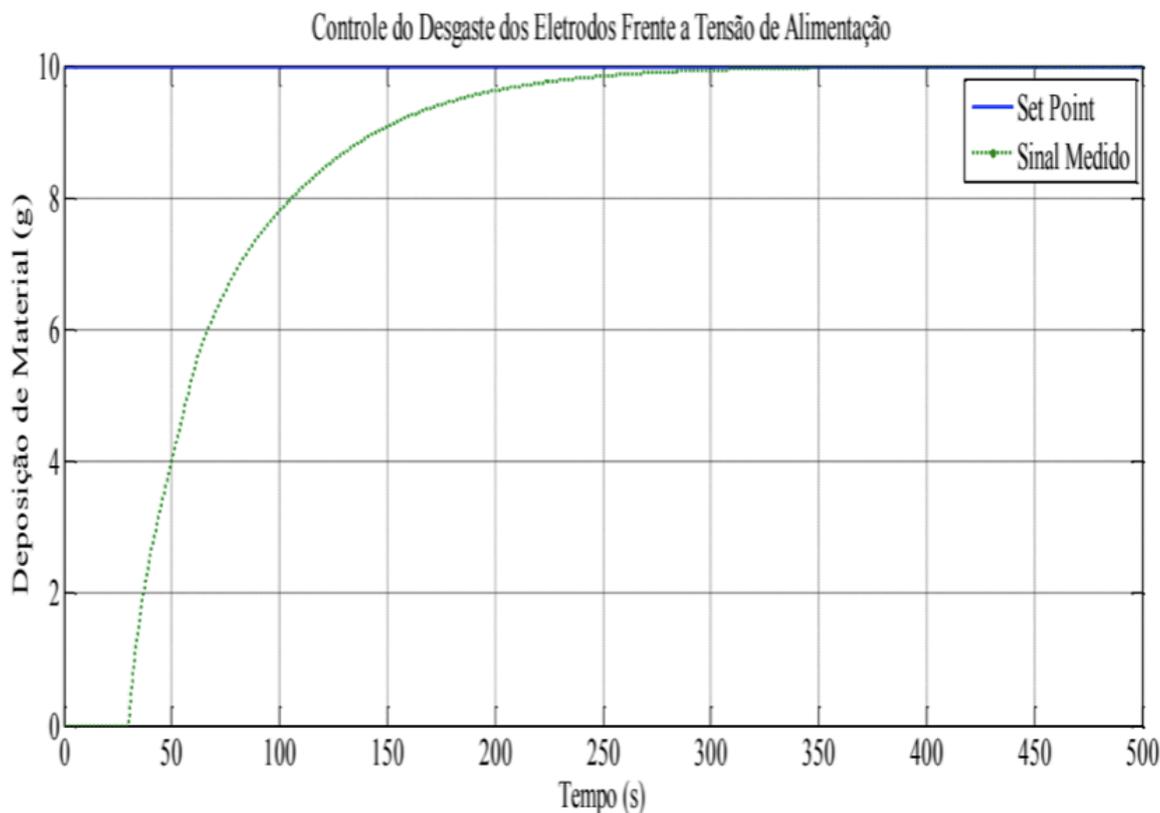


Figura 10. Controle da massa dos eletrodos – Tensão.

A malha de regulação do pH frente as variações da fonte de alimentação de tensão apresenta boa dinâmica, com uma rápida resposta de controle, como também a malha de controle do desgaste dos eletrodos, tendo respectivamente tempo de acomodação de 25 segundos e 180 segundos respectivamente. Já as malhas que regulam o desgaste dos eletrodos frente às variações de carga de alimentação de fluido e o consumo energético do sistema (variável de regulação a tensão de alimentação) apresenta uma resposta de controle mais lenta, tendo tempo estabelecimento de 645 segundos e 250 segundos respectivamente.

A explicação para este fato está em: A) a mensuração da massa dos eletrodos foi feita antes e depois do funcionamento do reator, o que não representa com fidelidade o desgaste durante o processo de eletrofloculação que ocorre e os valores utilizados para fins de controle foram às médias de cada ponto de operação da planta; B) para acelerar a reação de eletrofloculação (aumento do número de íons na solução) foi inserido cloreto de sódio para aumentar a corrente elétrica que circula de um eletrodo para outro, este fato impacta que o consumo energético fica alterado, não sendo proporcional a variação da tensão de alimentação.

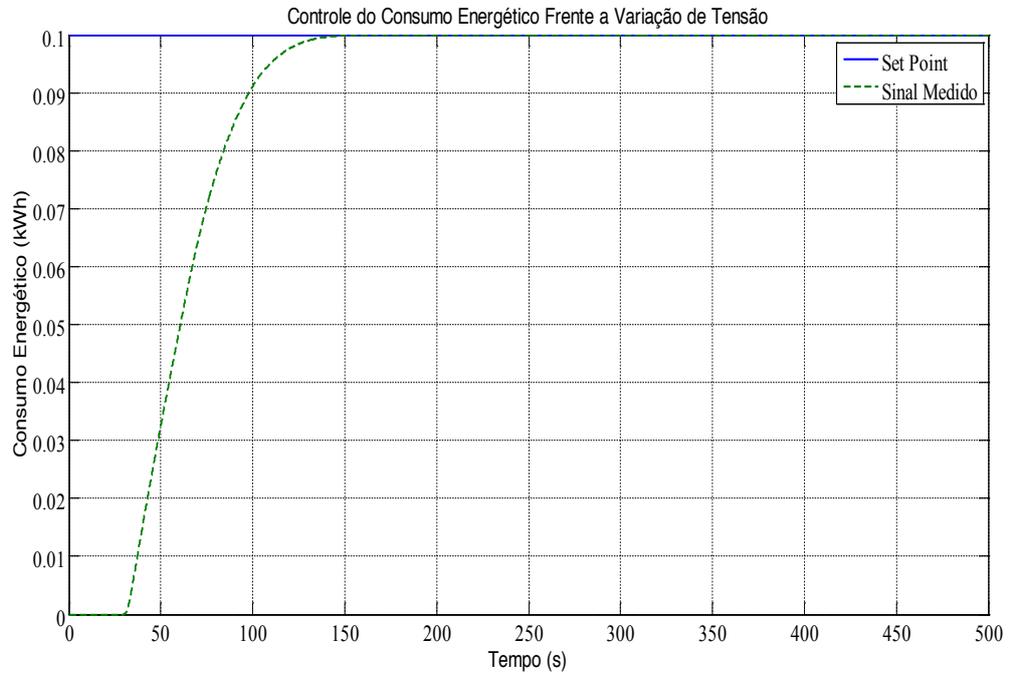


Figura 11. Controle do consumo energético.

Os resultados de simulação mostraram que os modelos matemáticos construídos são capazes de mapear os dados experimentais coletados, com boa precisão e eficiência, bem como os controladores projetados conseguem atender aos objetivos de gestão da energia manipulada.

5 | DIAGNÓSTICO DE FALHAS AVALIADO A PLANTA EXPERIMENTAL

Para a planta experimental de tratamento de efluentes foi projetado o arranjo do sistema de monitoramento de falhas nos sensores atuadores presentes via Software ilustrado na Figura 12.

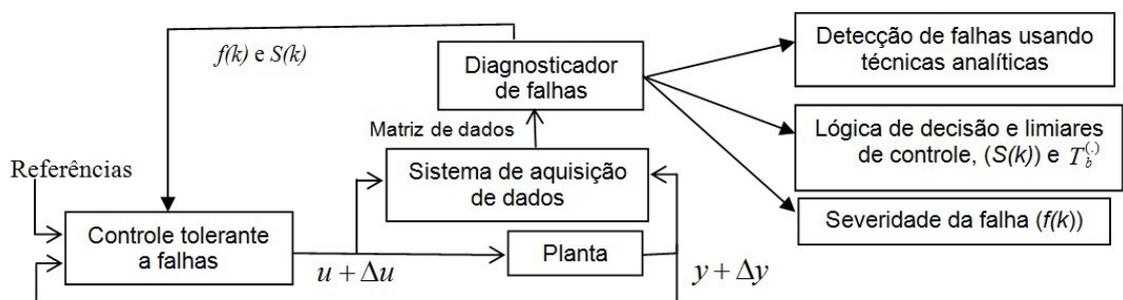


Figura 12. Fluxograma da estratégia de monitoramento de falhas em sistemas industriais.

Continuamente o sistema em operação interatua com o módulo controlador e suas variáveis são medidas (entrada e saída) e organizadas pelo sistema de aquisição de dados. O sistema de aquisição processa os dados na forma de uma matriz de dados que são enviados ao módulo de diagnose de falhas. A assinatura de anormalidade é

caracterizada observando os resíduos gerados pelas técnicas clássicas de controle. As etapas da detecção e do diagnóstico são alcançadas utilizando lógica de decisão com limiares fixos, que avalia o banco de resíduos gerado e indica a ocorrência de defeito e onde aconteceu o defeito. Já a etapa da mitigação é computada executando o algoritmo recursivo para reprogramação da lei de controle, tomando como entradas o sinal lógico de ocorrência de falha (f) e a estimativa da magnitude da falha (\hat{r}_b), ambos fornecidos pelas etapas de detecção e diagnóstico.

Vale ressaltar que o controle tolerante é alcançado pelo algoritmo da reprogramação da lei de controle, f , é a estimativa da severidade da falha (magnitude), \hat{r}_b , é o sinal lógico da ocorrência de falha (nível alto “1”, houve falha ou nível baixo “0”, não houve falha) proveniente do diagnosticador de falhas, r_b , é o sinal de entrada da planta provenientes das leituras dos atuadores, y , é o sinal de saída da planta, proveniente dos sensores, r_b^{pa} , corresponde a falhas aditivas ocorridas nas leituras dos atuadores e r_b^{obs} , corresponde a falhas aditivas ocorridas nos sensores presentes na instrumentação da planta.

O sistema de monitoramento irá detectar e identificar falhas nos instrumentos de medição e nos instrumentos de atuação, falhas internas ou estruturais não serão diagnosticadas visto que produzem um pequeno efeito no resíduo.

A lógica utilizada no classificador é descrita como,

Proposição 01. $Ser r_b^{pa} > T_b^{pa} \Rightarrow falha \text{ no atuador } b;$

Proposição 02. $Ser r_b^{obs} > T_b^{obs} \text{ e } r_b^{Kal} > T_b^{Kal} \text{ e } r_b^{Ident} > T_b^{Ident} \Rightarrow falha \text{ no sensor } b;$

Se proposição 01 ou proposição 02 verdade $\Rightarrow falha \text{ no processo.}$

Onde $r_b^{(.)}$, T_b é o resíduo gerado pela técnica detecção (equação de paridade (pa.), observador de estados (obs.), filtro de Kalman (Kal.), identificação paramétrica (Ident.)) e o limiar fixo para o sensor respectivamente.

As falhas consideradas no presente texto são as abruptas aditivas intermitentes e abruptas aditivas permanentes, tendo em vista serem mais usuais e deletérias ao processo do que as falhas incipientes. As falhas abruptas, devido a sua forma, são mais fáceis de detectar que as falhas incipientes, que produzem um pequeno efeito nos resíduos. O cenário de falhas é descrito na Tabela 2. Os ruídos inseridos são ruído branco, contaminando todas as frequências.

Componente	Tipo de falha	Tempo (s)	Amplitude da falha
Sensor de pH	Abrupta: degrau	100-250	+60% no valor de operação normal
	Ruído de medição	0-300	Média nula e variância
Sensor de vazão	Abrupta: degrau	100-300	no valor de operação normal
	Ruído de estado	0-300	Média nula e variância

Tabela 2. Cenário de falhas nos componentes.

Para exibir o desempenho do diagnosticador de falhas foram simuladas as falhas intermitentes e permanentes do cenário da Tabela 2 e visualizadas na Figura 13. O comportamento das saídas controladas na presença de falhas é ilustrado na Figura 14. Pode-se observar que a dinâmica das malhas é alterada no instante da ocorrência da falta e a ação de controle não é suficiente para manter a saída no ponto de operação desejado.

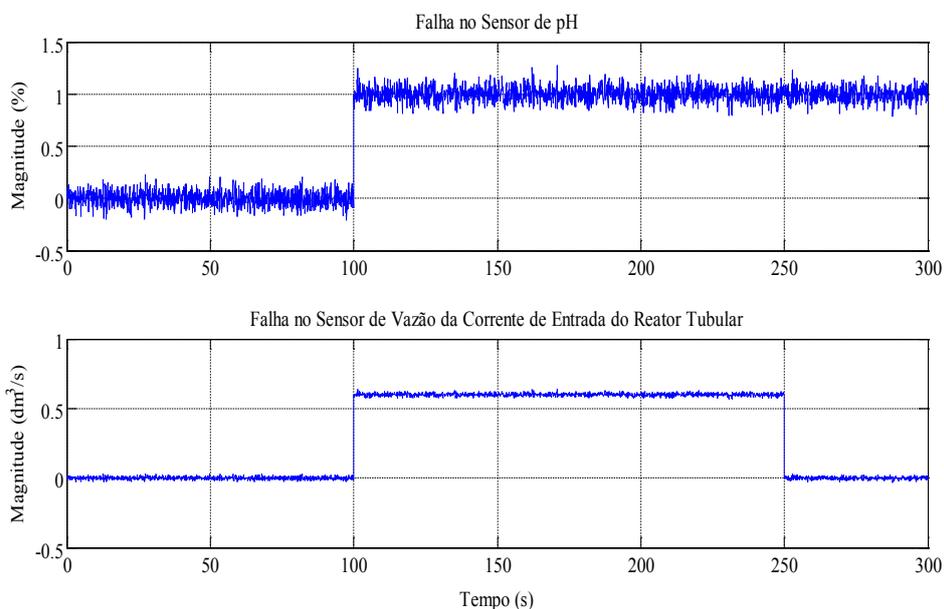


Figura 13. Falhas aplicadas aos medidores.

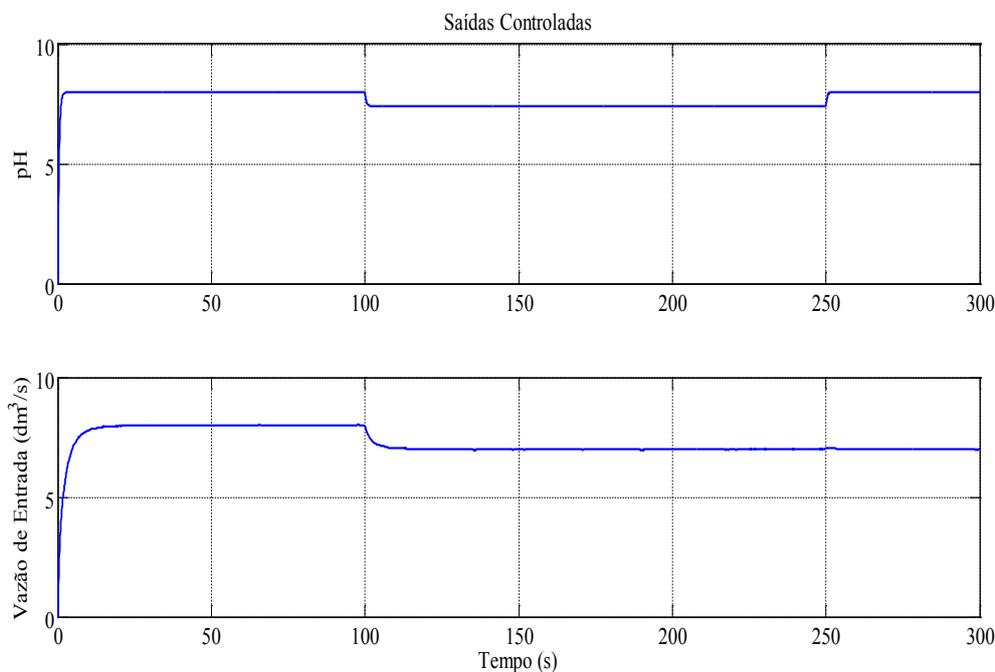


Figura 14. Saídas controladas na presença de falhas.

Os valores dos limiares de decisão utilizados no classificador lógico devem ser escolhidos de forma a minimizar a ocorrência do falso alarme e a perda de alarme.

Assim, o valor do *threshold* (limiar) deve ser escolhido entre o valor máximo de resíduos, quando não existem falhas, ao valor de erro máximo aceitável na medição. Na ocorrência de ser feito para cada resíduo gerado por múltiplas falhas é necessário definir os limitadores do sinal de amplitude: o limiar de decisão para evitar falsos alarmes; e os limitadores de diminuição do sinal, para evitar perda de alarmes. Devendo qualquer uma das técnicas de detecção e para cada ponto de operação da unidade industrial.

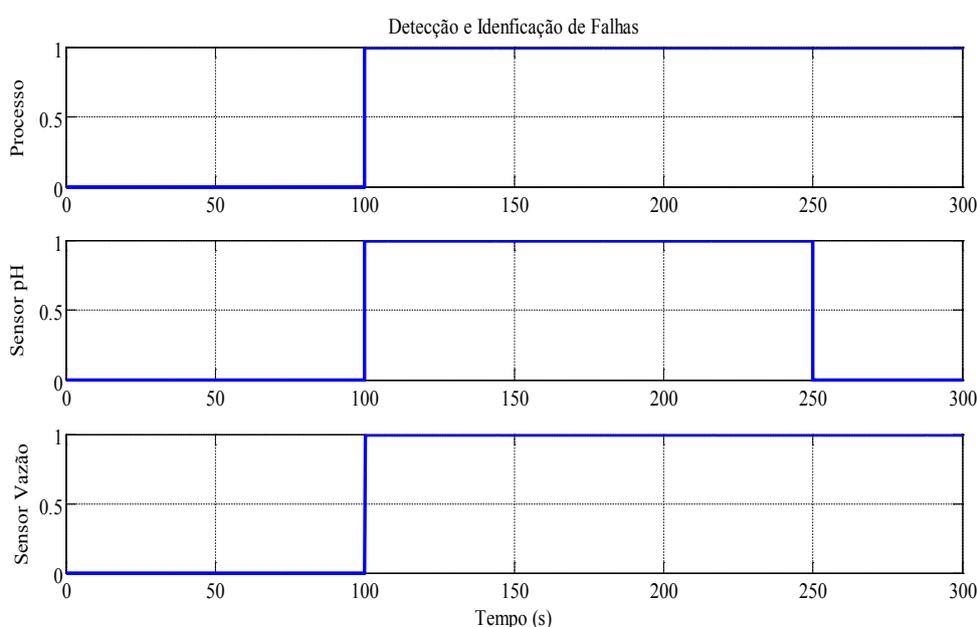


Figura 15. Detecção e Identificação de falhas pelo sistema de monitoramento.

Instrumento	Tipo de falha	Intervalo da falha	Intervalo para detecção e isolamento da falha
Sensor de pH	Abrupta, intermitente: <i>off-set</i>	100 s a 250 s	100.04 s a 250.02 s
Sensor de vazão	Abrupta, permanente: constante	100 s a 300 s	100.15 s

Tabela 3. Intervalo para detecção e isolamento de falhas.

A detecção e identificação de falhas na unidade pela lógica de decisão com limiares fixos podem ser visualizadas na Figura 15 e na Tabela 3 temos os intervalos de tempo para a detecção e isolamento do sistema de monitoramento de anomalias da unidade.

O objetivo do controle tolerante a falhas é prevenir a deterioração do sistema através do desenvolvimento de um controlador que possui algumas capacidades para compensar as falhas, isto é, a acomodação da falha ou controle tolerante a falhas. A estimativa da falha feita pelo diagnosticador é de primordial importância para compensar essa falha e para preservar o desempenho do sistema. A estratégia para acomodação da falha deve ser feita pelo ajuste ou modificação *on-line* da lei de controle nominal, a fim de manter a segurança dos operadores e da confiabilidade do processo. Com a

estimação da falha feita pelo sistema de detecção e diagnóstico de faltas, uma nova lei de controle deve ser computada para contrariar e aniquilar o efeito da falha sobre o sistema. Esta nova lei de controle aplicada ao sistema é dada pela lei de controle anterior subtraída da magnitude da falha determinada pelo sistema de diagnóstico de anomalias na estimação da falha para o caso de falhas na entrada do processo e alterando a expressão do erro, somando a estimativa da falha feita pelo diagnosticador ao *set-point* de malha, caso a falha seja na saída do processo. O fluxograma da Figura 16 explica a lógica da geração da nova lei de controle.

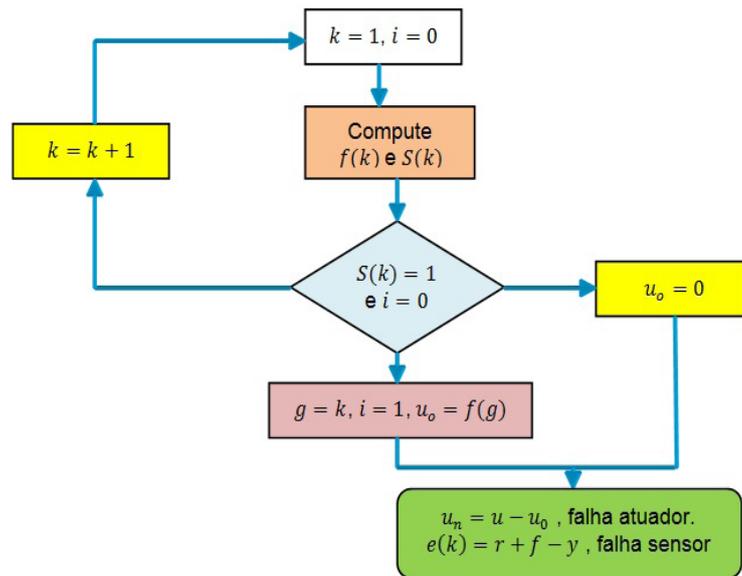


Figura 16. Fluxograma para geração de nova lei de controle.

Onde f é a magnitude da falha (estimada) dada como,

$$f(k) = x_i(k) - x_i(k - 1), i = 1, 2, \dots, n, \quad (5)$$

Sendo $x_i(k)$ a amostra no instante em que houve a falha obtido pelos testes de detecção e $x_i(k-1)$ é a amostra anterior a falha (amostra normal, sem anomalia), η é numero de amostras, k é o instante de tempo da ocorrência da falha, r é a referência de controle (set-point), e é o sinal lógico produzido pelo sistema de detecção de falhas e u é lei de controle do controlador PID discretizado dada por,

$$u(k) = u(k - 1) + k_p \left[e(k) - e(k - 1) + \frac{T_s}{\tau_i} (e(k)) + \tau_d T_s (e(k) - e(k - 1)) \right], \quad (6)$$

Onde K_p é o ganho proporcional, T_s é tempo de amostragem por se tratar de um sistema discretizado, τ_i constante do ganho integral, τ_d é a constante de tempo do ganho derivativo, e $e(k)$ é o sinal de erro e u_n é a nova lei de controle.

O sistema de controle tolerante a falhas age somente quando a falha é detectada, isolada e identificada, onde ele computa a nova lei de controle, sendo capaz de reduzir os efeitos da falha no sistema. Uma vez identificada, o sistema tolerante soma a

magnitude estimada da falha a referência, gerando a nova lei de controle que é usado pelo sistema. Daí a importância da estimação da falha.

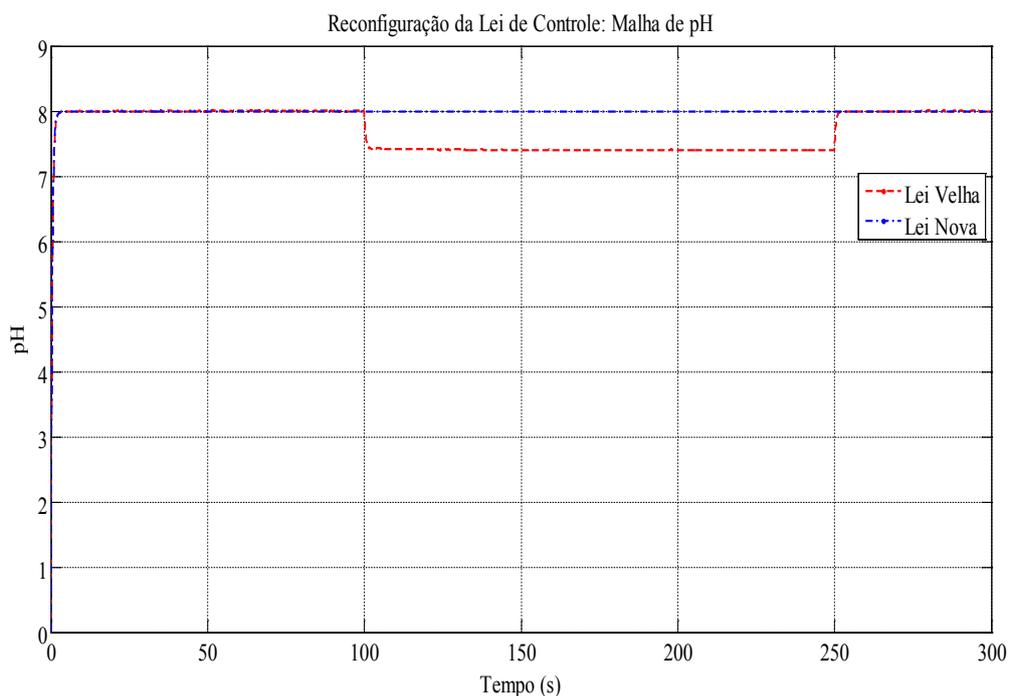


Figura 17. Resposta da malha de pH ao sistema tolerante para o cenário de falhas.

A habilidade do método de acomodação de falha é apresentada na Figura 17 e 18. Uma vez que a falha é isolada e estimada, a nova lei de controle é computada de forma a reduzir o efeito da falha sobre o sistema. Na Figura 17 é visto a lei de controle da variável controlada, nível. Em ponto-traço mostra a lei de controle anterior à reprogramação, e em pontilhado, a lei de controle reconfigurada, pode-se notar que o sistema de controle tolerante a falhas consegue acomodar a falha aplicada, a resposta do controle tolerante a falhas aplicado a malha de temperatura pode ser visualizada na Figura 18.

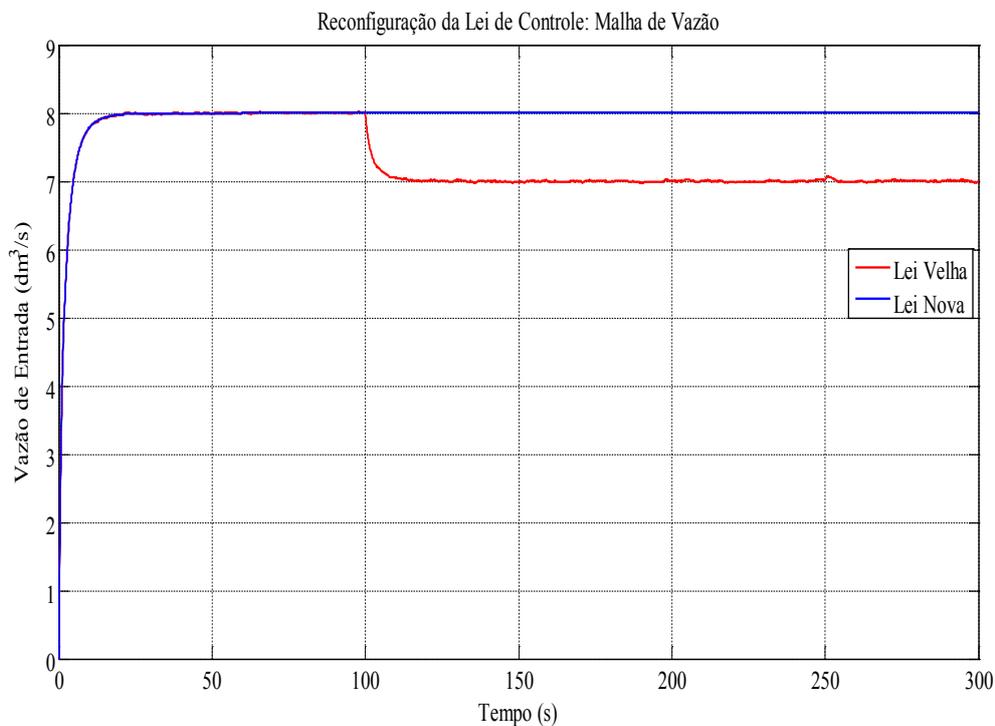


Figura 18. Resposta da malha de vazão ao sistema tolerante para o cenário de falhas.

A mitigação de falha nas malhas de controle não foi total, visto que não podemos estimar os ruídos de estado e de medição inseridos no processo, ao menos que seja feita uma filtragem ou um tratamento estatístico de alto desempenho, fato este que compromete a qualidade da estimativa da falha.

6 | CONCLUSÕES

A solução proposta para detecção, isolamento de falhas mostrou-se eficiente quando avaliada para a planta de tratamento de efluentes da produção do biodiesel operando em malha fechada, em termos da identificação de condições anormais de funcionamento, bem como a metodologia para reconfiguração da lei de controle quando da ocorrência de falhas em sensores e atuadores.

Tendo em vista, o classificador lógico está utilizando limiares fixos discutiu-se uma metodologia para consecução de limiares adaptativos, os quais devem ser definidos pelas informações estatísticas e históricas do processo, de modo a minimizar a ocorrência de falsos alarmes ou a perdas de alarmes (fato que compromete o controle tolerante).

Ainda que no estudo realizado tenha sido utilizada uma lei de controle clássica para controlar a planta, o procedimento para prognóstico de falhas em sistemas industriais proposto é relativamente independente, sendo possível utilizá-lo no caso de outras estratégias de controle.

AGRADECIMENTOS

Ao apoio financeiro do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) e a Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES).

REFERÊNCIAS

Alexandre, G. B. & Lima, A.M.N. **Diagnose de Falhas e Gestão de Alarmes em Sistemas de Instrumentação e Controle Industrial**. Trabalho de Conclusão de Curso, Departamento de Engenharia Elétrica, Universidade Federal de Campina Grande, 2013, Campina Grande, Brasil.

Fernandes, T. de Freitas & Araújo, G. Trindade. **Desenvolvimento de tratamento para o efluente gerado na produção de biodiesel por eletrofloculação**. Projeto de Iniciação Científica (PIBIC), Centro de ciências e Tecnologia, Unidade Acadêmica de Engenharia Química, Universidade Federal de Campina Grande. Campina Grande - PB, Brasil, 2011.

Fernandes, T. F. & Araújo, G. T. **Desenvolvimento de um reator tubular para tratamento de efluente gerado na produção de biodiesel por eletrofloculação**. Projeto de Iniciação Científica (PIBIC), Centro de ciências e Tecnologia, Unidade Acadêmica de Engenharia Química, Universidade Federal de Campina Grande. Campina Grande - PB, Brasil, 2012.

Meneses, J. M. & Araújo, G. Trindade. **Tratamento do efluente gerado na produção de biodiesel utilizando a eletrocoagulação/flotação**. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Química), Centro de Ciências e Tecnologia, Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande - PB. 2011.

Teixeira, A. J.; Souza, M. L. O.; Oliva, Á. P. **Multiple Faults Detection and Isolation in Sensors of Dynamic Systems**. 2005. SAE BRASIL 2005 Congress, Doe: 2005-01-4136.

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 978-85-7247-231-9

