


HENRIQUE AJUZ HOLZMANN
JOÃO DALLAMUTA
MARCELO HENRIQUE GRANZA
(ORGANIZADORES)

A PRODUÇÃO DO CONHECIMENTO NA ENGENHARIA ELÉTRICA 2

Atena
Editora
Ano 2020



HENRIQUE AJUZ HOLZMANN
JOÃO DALLAMUTA
MARCELO HENRIQUE GRANZA
(ORGANIZADORES)

A PRODUÇÃO DO CONHECIMENTO NA ENGENHARIA ELÉTRICA 2

Atena
Editora
Ano 2020

2020 by Atena Editora

Copyright © Atena Editora

Copyright do Texto © 2020 Os autores

Copyright da Edição © 2020 Atena Editora

Editora Chefe: Profª Drª Antonella Carvalho de Oliveira

Diagramação: Geraldo Alves

Edição de Arte: Lorena Prestes

Revisão: Os Autores



Todo o conteúdo deste livro está licenciado sob uma Licença de Atribuição *Creative Commons*. Atribuição 4.0 Internacional (CC BY 4.0).

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

Conselho Editorial

Ciências Humanas e Sociais Aplicadas

Profª Drª Adriana Demite Stephani – Universidade Federal do Tocantins
Prof. Dr. Álvaro Augusto de Borba Barreto – Universidade Federal de Pelotas
Prof. Dr. Alexandre Jose Schumacher – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Mato Grosso
Profª Drª Angeli Rose do Nascimento – Universidade Federal do Estado do Rio de Janeiro
Prof. Dr. Antonio Carlos Frasson – Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Prof. Dr. Antonio Gasparetto Júnior – Instituto Federal do Sudeste de Minas Gerais
Prof. Dr. Antonio Isidro-Filho – Universidade de Brasília
Prof. Dr. Carlos Antonio de Souza Moraes – Universidade Federal Fluminense
Prof. Dr. Constantino Ribeiro de Oliveira Junior – Universidade Estadual de Ponta Grossa
Profª Drª Cristina Gaio – Universidade de Lisboa
Profª Drª Denise Rocha – Universidade Federal do Ceará
Prof. Dr. Deyvison de Lima Oliveira – Universidade Federal de Rondônia
Prof. Dr. Edvaldo Antunes de Farias – Universidade Estácio de Sá
Prof. Dr. Eloi Martins Senhora – Universidade Federal de Roraima
Prof. Dr. Fabiano Tadeu Grazioli – Universidade Regional Integrada do Alto Uruguai e das Missões
Prof. Dr. Gilmei Fleck – Universidade Estadual do Oeste do Paraná
Profª Drª Ivone Goulart Lopes – Istituto Internazionale delle Figlie di Maria Ausiliatrice
Prof. Dr. Julio Candido de Meirelles Junior – Universidade Federal Fluminense
Profª Drª Keyla Christina Almeida Portela – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Mato Grosso
Profª Drª Lina Maria Gonçalves – Universidade Federal do Tocantins
Profª Drª Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte
Prof. Dr. Marcelo Pereira da Silva – Universidade Federal do Maranhão
Profª Drª Miranilde Oliveira Neves – Instituto de Educação, Ciência e Tecnologia do Pará
Profª Drª Paola Andressa Scortegagna – Universidade Estadual de Ponta Grossa
Profª Drª Rita de Cássia da Silva Oliveira – Universidade Estadual de Ponta Grossa
Profª Drª Sandra Regina Gardacho Pietrobon – Universidade Estadual do Centro-Oeste
Profª Drª Sheila Marta Carregosa Rocha – Universidade do Estado da Bahia
Prof. Dr. Rui Maia Diamantino – Universidade Salvador
Prof. Dr. Urandi João Rodrigues Junior – Universidade Federal do Oeste do Pará
Profª Drª Vanessa Bordin Viera – Universidade Federal de Campina Grande
Prof. Dr. William Cleber Domingues Silva – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro
Prof. Dr. Willian Douglas Guilherme – Universidade Federal do Tocantins

Ciências Agrárias e Multidisciplinar

Prof. Dr. Alexandre Igor Azevedo Pereira – Instituto Federal Goiano
Prof. Dr. Antonio Pasqualetto – Pontifícia Universidade Católica de Goiás
Profª Drª Daiane Garabeli Trojan – Universidade Norte do Paraná

Profª Drª Diocléa Almeida Seabra Silva – Universidade Federal Rural da Amazônia
Prof. Dr. Écio Souza Diniz – Universidade Federal de Viçosa
Prof. Dr. Fábio Steiner – Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul
Prof. Dr. Fágner Cavalcante Patrocínio dos Santos – Universidade Federal do Ceará
Profª Drª Girlene Santos de Souza – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia
Prof. Dr. Júlio César Ribeiro – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro
Profª Drª Lina Raquel Santos Araújo – Universidade Estadual do Ceará
Prof. Dr. Pedro Manuel Villa – Universidade Federal de Viçosa
Profª Drª Raissa Rachel Salustriano da Silva Matos – Universidade Federal do Maranhão
Prof. Dr. Ronilson Freitas de Souza – Universidade do Estado do Pará
Profª Drª Talita de Santos Matos – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro
Prof. Dr. Tiago da Silva Teófilo – Universidade Federal Rural do Semi-Árido
Prof. Dr. Valdemar Antonio Paffaro Junior – Universidade Federal de Alfenas

Ciências Biológicas e da Saúde

Prof. Dr. André Ribeiro da Silva – Universidade de Brasília
Profª Drª Anelise Levay Murari – Universidade Federal de Pelotas
Prof. Dr. Benedito Rodrigues da Silva Neto – Universidade Federal de Goiás
Prof. Dr. Edson da Silva – Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri
Profª Drª Eleuza Rodrigues Machado – Faculdade Anhanguera de Brasília
Profª Drª Elane Schwinden Prudêncio – Universidade Federal de Santa Catarina
Prof. Dr. Ferlando Lima Santos – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia
Prof. Dr. Fernando José Guedes da Silva Júnior – Universidade Federal do Piauí
Profª Drª Gabriela Vieira do Amaral – Universidade de Vassouras
Prof. Dr. Gianfábio Pimentel Franco – Universidade Federal de Santa Maria
Profª Drª Iara Lúcia Tescarollo – Universidade São Francisco
Prof. Dr. Igor Luiz Vieira de Lima Santos – Universidade Federal de Campina Grande
Prof. Dr. José Max Barbosa de Oliveira Junior – Universidade Federal do Oeste do Pará
Profª Drª Magnólia de Araújo Campos – Universidade Federal de Campina Grande
Profª Drª Mylena Andréa Oliveira Torres – Universidade Ceuma
Profª Drª Natiéli Piovesan – Instituto Federaci do Rio Grande do Norte
Prof. Dr. Paulo Inada – Universidade Estadual de Maringá
Profª Drª Renata Mendes de Freitas – Universidade Federal de Juiz de Fora
Profª Drª Vanessa Lima Gonçalves – Universidade Estadual de Ponta Grossa
Profª Drª Vanessa Bordin Viera – Universidade Federal de Campina Grande

Ciências Exatas e da Terra e Engenharias

Prof. Dr. Adélio Alcino Sampaio Castro Machado – Universidade do Porto
Prof. Dr. Alexandre Leite dos Santos Silva – Universidade Federal do Piauí
Prof. Dr. Carlos Eduardo Sanches de Andrade – Universidade Federal de Goiás
Profª Drª Carmen Lúcia Voigt – Universidade Norte do Paraná
Prof. Dr. Eloi Rufato Junior – Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Prof. Dr. Fabrício Menezes Ramos – Instituto Federal do Pará
Prof. Dr. Juliano Carlo Rufino de Freitas – Universidade Federal de Campina Grande
Profª Drª Luciana do Nascimento Mendes – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte
Prof. Dr. Marcelo Marques – Universidade Estadual de Maringá
Profª Drª Neiva Maria de Almeida – Universidade Federal da Paraíba
Profª Drª Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte
Prof. Dr. Takeshy Tachizawa – Faculdade de Campo Limpo Paulista

Conselho Técnico Científico

Prof. Me. Abrãao Carvalho Nogueira – Universidade Federal do Espírito Santo
Prof. Me. Adalberto Zorzo – Centro Estadual de Educação Tecnológica Paula Souza
Prof. Dr. Adaylson Wagner Sousa de Vasconcelos – Ordem dos Advogados do Brasil/Seccional Paraíba
Prof. Me. André Flávio Gonçalves Silva – Universidade Federal do Maranhão

Profª Drª Andreza Lopes – Instituto de Pesquisa e Desenvolvimento Acadêmico
 Profª Drª Andrezza Miguel da Silva – Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia
 Prof. Dr. Antonio Hot Pereira de Faria – Polícia Militar de Minas Gerais
 Profª Ma. Bianca Camargo Martins – UniCesumar
 Profª Ma. Carolina Shimomura Nanya – Universidade Federal de São Carlos
 Prof. Me. Carlos Antônio dos Santos – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro
 Prof. Ma. Cláudia de Araújo Marques – Faculdade de Música do Espírito Santo
 Prof. Me. Daniel da Silva Miranda – Universidade Federal do Pará
 Profª Ma. Dayane de Melo Barros – Universidade Federal de Pernambuco
 Prof. Me. Douglas Santos Mezacas -Universidade Estadual de Goiás
 Prof. Dr. Edwaldo Costa – Marinha do Brasil
 Prof. Me. Eliel Constantino da Silva – Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita
 Profª Ma. Fabiana Coelho Couto Rocha Corrêa – Centro Universitário Estácio Juiz de Fora
 Prof. Me. Felipe da Costa Negrão – Universidade Federal do Amazonas
 Profª Drª Germana Ponce de Leon Ramírez – Centro Universitário Adventista de São Paulo
 Prof. Me. Gevair Campos – Instituto Mineiro de Agropecuária
 Prof. Me. Guilherme Renato Gomes – Universidade Norte do Paraná
 Profª Ma. Jaqueline Oliveira Rezende – Universidade Federal de Uberlândia
 Prof. Me. Javier Antonio Albornoz – University of Miami and Miami Dade College
 Profª Ma. Jéssica Verger Nardeli – Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho
 Prof. Me. José Luiz Leonardo de Araujo Pimenta – Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria Uruguay
 Prof. Me. José Messias Ribeiro Júnior – Instituto Federal de Educação Tecnológica de Pernambuco
 Profª Ma. Juliana Thaisa Rodrigues Pacheco – Universidade Estadual de Ponta Grossa
 Prof. Me. Leonardo Tullio – Universidade Estadual de Ponta Grossa
 Profª Ma. Lilian Coelho de Freitas – Instituto Federal do Pará
 Profª Ma. Liliani Aparecida Sereno Fontes de Medeiros – Consórcio CEDERJ
 Profª Drª Lívia do Carmo Silva – Universidade Federal de Goiás
 Prof. Me. Luis Henrique Almeida Castro – Universidade Federal da Grande Dourados
 Prof. Dr. Luan Vinicius Bernardelli – Universidade Estadual de Maringá
 Profª Ma. Marileila Marques Toledo – Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri
 Prof. Me. Rafael Henrique Silva – Hospital Universitário da Universidade Federal da Grande Dourados
 Profª Ma. Renata Luciane Polsaque Young Blood – UniSecal
 Profª Ma. Solange Aparecida de Souza Monteiro – Instituto Federal de São Paulo
 Prof. Me. Tallys Newton Fernandes de Matos – Faculdade Regional Jaguaribana
 Prof. Dr. Welleson Feitosa Gazel – Universidade Paulista

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

P964 A produção do conhecimento na engenharia elétrica 2 [recurso eletrônico] / Organizadores Henrique Ajuz Holzmann, João Dallamuta, Marcelo Henrique Granza. – Ponta Grossa, PR: Atena, 2020.

Formato: PDF
 Requisitos de sistema: Adobe Acrobat Reader
 Modo de acesso: World Wide Web
 Inclui bibliografia
 ISBN 978-65-86002-65-2
 DOI 10.22533/at.ed.652202303

1. Engenharia elétrica – Pesquisa – Brasil. I. Holzmann, Henrique Ajuz. II. Dallamuta, João. III. Granza, Marcelo Henrique.
 CDD 623.3

Elaborado por Maurício Amormino Júnior – CRB6/2422

Atena Editora
 Ponta Grossa – Paraná - Brasil
www.atenaeditora.com.br

APRESENTAÇÃO

Não há padrões de desempenho em engenharia elétrica que sejam duradouros. Desde que Gordon E. Moore fez a sua clássica profecia tecnológica, em meados dos anos 60, a qual o número de transistores em um chip dobraria a cada 18 meses - padrão este válido até hoje – muita coisa mudou. Permanece porém a certeza de que não há tecnologia na engenharia elétrica que não possa ser substituída a qualquer momento por uma nova, oriunda de pesquisa científica nesta área.

Produzir conhecimento em engenharia elétrica é, portanto, atuar em fronteiras de padrões e técnicas de engenharia. Algo desafiador para pesquisadores e engenheiros de produto.

Neste livro temos uma diversidade de temas nas áreas níveis de profundidade e abordagens de pesquisa, envolvendo aspectos técnicos e científicos. Aos autores e editores, agradecemos pela confiança e espírito de parceria.

Boa leitura

Henrique Ajuz Holzmann
João Dallamuta
Marcelo Henrique Granza

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1	1
UTILIZAÇÃO DE MODELOS MATEMÁTICOS DE TURBINAS EÓLICAS EM AMBIENTE DE SIMULAÇÃO MATLAB/SIMULINK NA APRENDIZAGEM DE SISTEMAS DE CONTROLE	
Marcos José dos Santos Junior Vlademir Ap. Freire Junior Marcelo Henrique Granza João Luiz Dallamuta	
DOI 10.22533/at.ed.6522023031	
CAPÍTULO 2	11
RECONHECIMENTO DE DÍGITOS EM IMAGENS DE MEDIDORES DE ENERGIA NO CONTEXTO DE UM APLICATIVO DE AUTOLEITURA	
Arthur Costa Serra João Vitor Ferreira França Ricardo Costa da Silva Marques Wesley Kelson Ribeiro Figueredo Artur Bernardo Silva Reis Italo Francyles Santos da Silva Simara Vieira da Rocha Aristófanés Correa Silva Eliana Márcia Garros Monteiro Italo Fernandes Serra da Silva Marcia Izabel Alves da Silva José Messias dos Santos	
DOI 10.22533/at.ed.6522023032	
CAPÍTULO 3	23
O CONCEITO DE CASA INTELIGENTE APLICADO A PAÍSES DESENVOLVIDOS E EMERGENTES: BENEFÍCIOS, BARREIRAS E GRAU DE ADESÃO	
Florença Moraes da Silva Rosana Aparecida Ferreira Nunes	
DOI 10.22533/at.ed.6522023033	
CAPÍTULO 4	36
MODELAGEM DE UM SISTEMA DE DISTRIBUIÇÃO COM GERAÇÃO, UTILIZANDO ALGORITMO GENÉTICO	
Igor Ferreira Visconti	
DOI 10.22533/at.ed.6522023034	
CAPÍTULO 5	49
INSTRUMENTAÇÃO, CONTROLE E SUPERVISÃO DE UM ABRASÔMETRO TIPO RODA DE BORRACHA	
Périson Pavei Uggioni André Roberto de Sousa Anderson Daleffe Diego Tiburcio Fabre	
DOI 10.22533/at.ed.6522023035	

CAPÍTULO 6	58
DESENVOLVIMENTO DE UM MODELO FUZZY E ALGORITMOS DE APRENDIZADO PARA SEQUÊNCIA DE PARTIDA DE PLANTAS INDUSTRIAIS	
André da Silva Barcelos Fábio Muniz Mazzone	
DOI 10.22533/at.ed.6522023036	
CAPÍTULO 7	72
SIMULAÇÃO DE SINTONIZAÇÃO DE AUTOMÁTICA PARA UM CONTROLADOR PID EM UMA PLANTA NÃO-LINEAR USANDO ALGORITMO GENÉTICO	
Diogo Aparecido Cavalcante de Lima Hiago Araújo Silva Alexandre Carvalho Silva Maurício José Aureliano Júnior Alexandre Cardoso Edgard Afonso Lamounier Júnior	
DOI 10.22533/at.ed.6522023037	
CAPÍTULO 8	82
CONSTRUÇÃO E CONTROLE DE POSIÇÃO PARA UM ROBÔ PARALELO COM APLICAÇÃO NA INDÚSTRIA CONFECCIONISTA	
Asafe dos Santos Silva Acarcio Gomes de Almeida Júnior Alexander Patrick Chaves de Sena João Manoel Freitas Souza José Lucas Moreira Cavalcanti de Abreu	
DOI 10.22533/at.ed.6522023038	
CAPÍTULO 9	95
DESENVOLVIMENTO DE UMA ESTRUTURA DE CONTROLE HÍBRIDA PARA SISTEMAS DE REFRIGERAÇÃO DE ALTA PRESSÃO	
Murilo Ferreria Vitor Alexsandro dos Santos Silveira Guilherme Matias Rodolfo César Costa Flesch	
DOI 10.22533/at.ed.6522023039	
CAPÍTULO 10	110
UMA NOVA ABORDAGEM DE UM SIMULADOR VIRTUAL DE IDENTIFICAÇÃO DA QUALIDADE DA ÁGUA BASEADO NA METODOLOGIA DE SISTEMAS INTELIGENTES INSERIDO NO CONTEXTO DE REDES NEURAIS	
Matheus Silva Pestana Orlando Donato Rocha Filho Danúbia Soares Pires	
DOI 10.22533/at.ed.65220230310	
CAPÍTULO 11	124
INFLUÊNCIA DO ERRO DE QUANTIZAÇÃO APLICADO NO CONTROLE DIGITAL DE VELOCIDADE DE UM MÓDULO SERVOMECANISMO DIDÁTICO	
Vlademir Ap. Freire Junior Marcelo Henrique Granza	

João Luiz Dallamuta

DOI 10.22533/at.ed.65220230311

CAPÍTULO 12 135

CRIAÇÃO DE UM AMBIENTE DE SIMULAÇÃO DE CONTROLE AVANÇADO DE PROCESSOS EM UMA USINA SUCROENERGÉTICA

Edilberto Pereira Teixeira

Luciano Rangel Pinheiro Neto

DOI 10.22533/at.ed.65220230312

CAPÍTULO 13 147

ESTUDO DE TECNOLOGIAS ALTERNATIVAS PARA VALIDAÇÃO DE ALGORITMOS DE PROTEÇÃO

Pablo Rodrigues Lopes

Rui Bertho Junior

DOI 10.22533/at.ed.65220230313

CAPÍTULO 14 159

MODELAGEM INTELIGENTE NEBULOSA APLICADA À HIDROPONIA VIA SISTEMA EMBARCADO

Kayon Vinicius Lima Lopes

Danúbia Soares Pires

Orlando Donato Rocha Filho

DOI 10.22533/at.ed.65220230314

CAPÍTULO 15 172

MODELO DE NEURÔNIO MEMRISTIVO DE DIÓXIDO DE VANÁDIO COM CODIFICAÇÃO DE IMPULSOS PRBS-PWM

Rennan Santos de Araujo

Luiz Alberto Luz de Almeida

Felipe Sadami Oiwa da Costa

DOI 10.22533/at.ed.65220230315

CAPÍTULO 16 187

MODELO MISO NEBULOSO COM ESTRUTURA MAMDANI APLICADO À ANÁLISE E CONTROLE DE VAZÃO HÍDRICA

Lorena Maria Figueiredo Albuquerque

Kayon Vinicius Lima Lopes

Orlando Donato Rocha Filho

Danúbia Soares Pires

DOI 10.22533/at.ed.65220230316

CAPÍTULO 17 199

SISTEMA ESPECIALISTA PARA AVALIAÇÃO DE ENGENHARIA COGNITIVA EM *SERIOUS GAMES*

Mateus Gomes Binatti

Marcos Venícios Conceição de Araújo

Pollyana Coelho da Silva Notargiacomo

DOI 10.22533/at.ed.65220230317

CAPÍTULO 18	209
FILTRO DE KALMAN BASEADO EM MODELO FUZZY TAKAGI – SUGENO VIA ANÁLISE ESPECTRAL DE DADOS EXPERIMENTAIS	
Daiana Caroline dos Santos Gomes Ginalber Luiz de Oliveira Serra	
DOI 10.22533/at.ed.65220230318	
CAPÍTULO 19	224
CONSTRUÇÃO, DESIGN DE CONTROLE E CONTROLE DE TRAJETÓRIA POR BLUETOOTH DE UM ROBÔ AUTO EQUILIBRANTE	
Giulio Cesare Mastrocinque Santo Claudio Garcia	
DOI 10.22533/at.ed.65220230319	
SOBRE OS ORGANIZADORES	240
ÍNDICE REMISSIVO	241

CRIAÇÃO DE UM AMBIENTE DE SIMULAÇÃO DE CONTROLE AVANÇADO DE PROCESSOS EM UMA USINA SUCROENERGÉTICA

Data de aceite: 17/03/2020

Data de submissão: 25/11/2019

Edilberto Pereira Teixeira

Universidade de Uberaba – Departamento de Engenharia de Computação
Uberaba – MG
lattes.cnpq.br/8601887472791662

Luciano Rangel Pinheiro Neto

Universidade de Uberaba – Departamento de Engenharia de Computação
Uberaba – MG
lattes.cnpq.br/0092005493037053

RESUMO: Com a evolução da capacidade computacional dos modernos controladores lógicos programáveis, tornou-se possível a implementação de estratégias avançadas de controle que tradicionalmente são realizadas em sistemas digitais de controle distribuído. Desta forma, os controladores lógicos programáveis estão cada vez mais competitivos na área de controle avançado de processos. De forma geral, este trabalho apresenta a criação de um ambiente de simulação de controle avançado de processos por meio de uma rotina de controle no *software* RLogix5000®, com a utilização da ferramenta FuzzyDesigner® para a criação do controlador do tipo *Fuzzy*. Utilizou-se o *software* Matlab® como suporte

para o cálculo de parâmetros do controlador e o *software* PlantTriage® para identificação da função de transferência do processo. Neste trabalho, foi simulado o controle de vazão de embebição utilizando-se um controlador *Fuzzy* cuja topologia tem-se como entradas o erro e a derivada do erro. Foi adotado o controlador SoftLogix5860®, no entanto, os conceitos que serão utilizados são aplicáveis à maioria dos controladores programáveis comuns. A planta do processo foi simulada no próprio CLP e o sistema opera de forma integrada com um supervisor desenvolvido através do *software* FactoryTalk®. Com o término do trabalho foi obtido como resultado uma rotina em ladder no CLP capaz de simular sistemas industriais a partir de modelos matemáticos, gerando gráficos de forma intuitiva permitindo que estratégias de controle sejam previamente testadas nas indústrias pelo engenheiro de automação, em um ambiente de simulação, antes de serem implantadas no processo industrial. Além disso, foi feito um *how-to* de utilização de ferramentas com o foco na criação de rotinas de controle inteligente, em alternativa ao controle tradicional PID, e foi possível se concluir a simplicidade de uso da ferramenta FuzzyDesigner® mesmo se considerando a complexidade do assunto que é a lógica *Fuzzy*.

PALAVRAS-CHAVE: Ladder, Supervisor, Controlador *Fuzzy*, Lógica *Fuzzy*, Controle de

CREATING AN ADVANCED PROCESS CONTROL SIMULATION ENVIRONMENT IN A SUGAR-ENERGY PLANT

ABSTRACT: With the evolution of the computational capacity of modern programmable logic controllers, it has become possible to implement advanced control strategies that are traditionally performed in digital distributed control systems. In this way, programmable logic controllers are increasingly competitive in the area of advanced process control. In general, this work presents the creation of an advanced process control simulation environment by means of a control routine in RSLogix5000® software, using the FuzzyDesigner® tool to create the Fuzzy type controller. Matlab® software was used as support for calculating controller parameters and the PlantTriage® software for process transfer function identification. In this work, the control of imbibition flow was simulated using a Fuzzy controller whose topology has as inputs the error and the derivative of the error. The SoftLogix5860® controller has been adopted, however, the concepts that will be used are applicable to most common programmable controllers. The process plant was simulated in the CLP itself and the system operates in an integrated way with a supervisor developed through FactoryTalk® software. With the end of the work a ladder routine in the CLP was able to simulate industrial systems from mathematical models, generating graphs in an intuitive way allowing control strategies to be previously tested in the industries by the automation engineer, in an environment of simulation, before being implanted in the industrial process. In addition, a tool-based how-to was developed with a focus on creating intelligent control routines as an alternative to the traditional PID control, and it was possible to conclude the simplicity of using the FuzzyDesigner® tool even if considering the complexity of the which is Fuzzy logic.

KEYWORDS: Ladder. Supervisory, Fuzzy controller. Fuzzy Logic. Process Control.

1 | INTRODUÇÃO

A competição global e a pressão dos acionistas fazem com que a indústria tenha que superar metas. Para permitir a continuidade da empresa no mercado que exige rápidas mudanças, as indústrias têm focado muito em melhoria contínua, em aumento da eficiência operacional, redução de custos, aumento da qualidade do seu produto final e investimento em projetos de otimização do seu processo industrial. As linhas de processo de uma planta devem estar continuamente em melhoria, mantendo a sustentabilidade dos negócios.

O sistema de controle de processo automatiza ambos, rotinas e condições anormais de operação, e auxilia a operação a manter o controle de seu processo. O desempenho do processo, e, portanto, os resultados dos negócios aumentam por meio de operações aplicadas e conhecimento do processo, via sistemas de controle

de processos. Infelizmente, muitos estudos nas indústrias têm mostrado que grande parte das malhas de controle não operam em modo normal, sofrem oscilação e aumentam a variabilidade do processo, reduzindo a eficiência da planta.

O impacto direto no desempenho do processo é significativo, podendo citar: perda de produção, problemas de qualidade, consumo excessivo de energia, incidentes com segurança e meio ambiente, paradas não planejadas e alto custo de manutenção. Neste contexto, todas as camadas da pirâmide de automação devem ser tratadas.



Figura 1 - Pirâmide de automação.

Na Figura 1, a base da pirâmide de automação são os instrumentos que devem estar calibrados e com alta confiabilidade. Já na camada acima os PIDs devem estar bem sintonizados e com estratégias de controle bem definidas para cada aplicação industrial. Porém, nesta camada de controle regulatório o cenário que encontra-se na prática é ruim, com controladores abaixo do desempenho e estratégias de controle inapropriadas.

Segundo Fonseca (2004), uma malha de controle com desempenho ruim implica em perda de energia, qualidade e produção, já uma malha de controle com bom desempenho permite aumentar a qualidade e produtividade no processo.

A grande parte dos processos industriais utiliza o controle do tipo PID. A simplicidade aliada à eficiência encontrada neste tipo de controle é o principal motivo dele estar implementado em grande parte dos controladores industriais. Em Rubaii et al. (2008) é citado que 96% dos controladores industriais são do tipo PID.

Entretanto, alguns sistemas são, muitas vezes, intratáveis pelos métodos convencionais de controle. Incluem-se, nessa classe, sistemas com:

- Características não lineares,
- Grandes atrasos de transporte,

- Equações variantes no tempo,
- Múltiplas entradas e múltiplas saídas,
- Equações difíceis de serem estimadas,
- Perturbações não modeladas,
- Equações conhecidas, porém muito complexas,
- Sistemas com amplas faixas de operação.

Em algumas aplicações mais complexas todos esses itens podem estar presentes de forma relevante em uma só planta industrial. Sendo assim, o fato de muitos sistemas possuírem características que inviabilizam ou dificultam ação de controles mais simples, o que torna necessário a utilização de alternativas como o controle *fuzzy* para se operar o processo com maior eficiência e menor variabilidade conforme mostra a Figura 2.

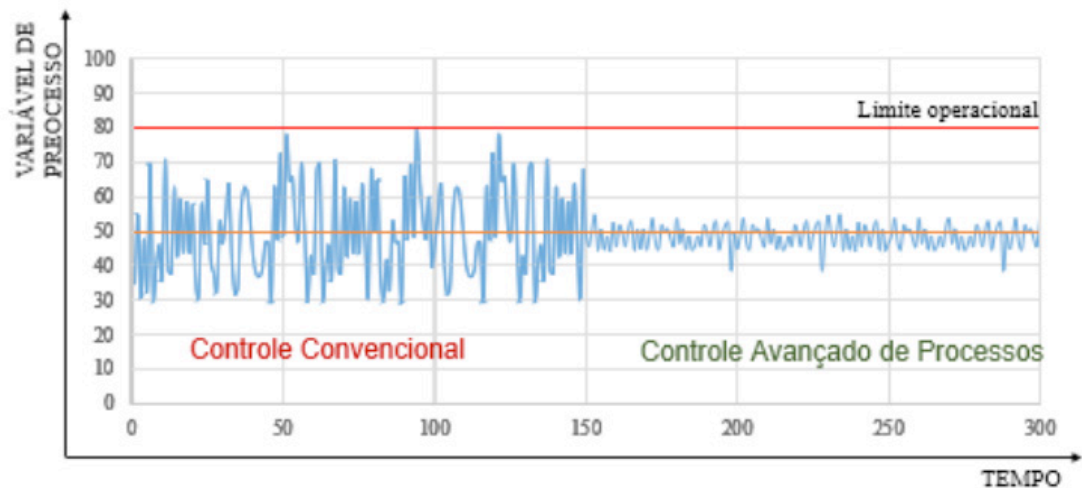


Figura 2 - Alta variabilidade com controle tradicional versus baixa variabilidade com controle avançado.

Conforme mostrado na Figura 3, as indústrias podem obter uma redução na variabilidade por meio da sintonia dos parâmetros PID das malhas de controle. A utilização de sistemas de otimização em tempo real que escrevem os Set-Points ótimos eleva o processo à um outro patamar com menor variação das variáveis de processo e atuação mais próxima ao limite operacional. Porém, a proposta do controle avançado deste trabalho é uma oportunidade de aumentar ainda mais o desempenho industrial, substituindo o controle tradicional que atua em uma variável e é baseado no erro, por um controle avançado multivariável que incorpora e antecipa distúrbios de processo. Com a combinação dessas técnicas, as variáveis de processo ficarão com variabilidade muito pequena e as malhas de controle poderão ser setadas para atuarem bem próximas ao limite operacional. É neste contexto que entra o controle avançado de processos utilizando a lógica *fuzzy*.

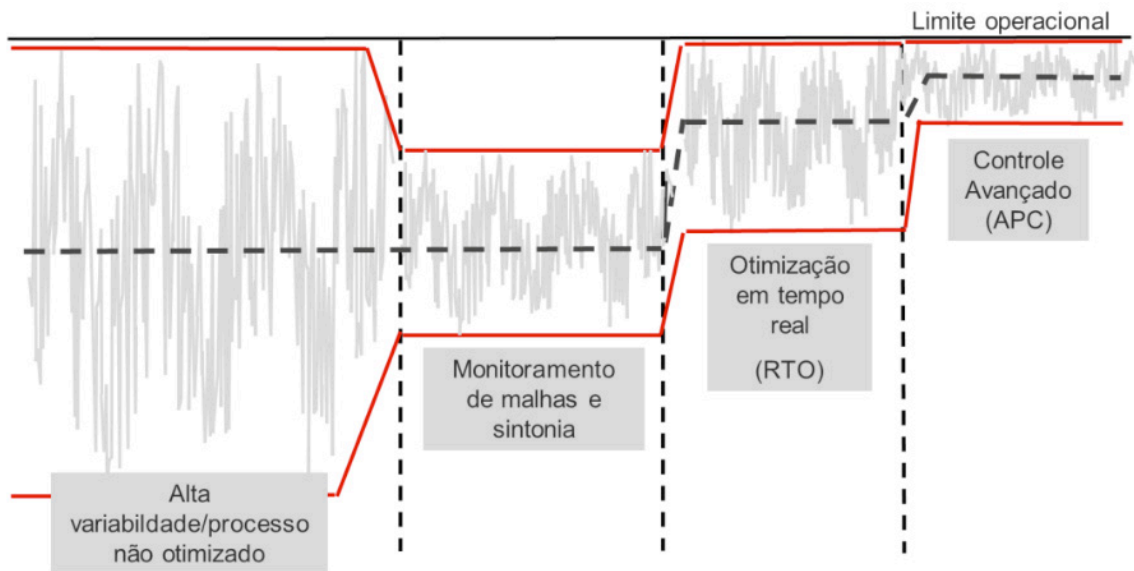


Figura 3 - Combinação de diferentes técnicas de controle obtendo o desempenho ótimo.

Considerando o desafio das indústrias de diminuir a variabilidade do processo e a necessidade de implantar controle avançado, e com a evolução da capacidade computacional, os CLPs estão cada vez mais competitivos tornando possível a implementação de estratégias avançadas de controle. E levando-se em consideração que há uma lacuna de sistemas de simulação de controle avançado que propiciem um ambiente amigável aos técnicos e engenheiros de controle nas indústrias. Este trabalho tem como objetivo primário a criação de um guia ou passo-a-passo de como se utilizar o *software* FuzzyDesigner® e de como integrar o controlador criado nesta ferramenta no RSLogix5000®. Adotou-se o controlador SoftLogix5860, no entanto, os conceitos que serão utilizados são aplicáveis à maioria dos controladores lógicos programáveis comuns. O sistema proposto neste trabalho viabilizará tanto a simulação de processo de vazão de embebição, como a implantação de estratégias de controle inteligente nos controladores lógicos programáveis. Tal sistema permitirá que estratégias de controle sejam previamente testadas nas indústrias, em um ambiente de simulação, antes de serem implantadas no processo industrial.

O foco em buscar aumento da eficiência industrial motivou a parceria empresa-universidade sem a qual este trabalho não seria possível. O autor deste trabalho é colaborador no grupo Tereos e possui acesso aos dados de sistema de supervisão, laboratório e aos equipamentos industriais.

2 | FUNÇÃO DE TRANSFERÊNCIA DO PROCESSO

Uma importante operação unitária na usina é a extração do caldo da cana-de-açúcar que é realizado pelas moendas ou por difusores. Este processo consiste em separar o máximo possível de caldo da cana-de-açúcar. É importante que o controle

desta área esteja otimizado para extrair o máximo possível de caldo o que significa aumento de produtividade para a unidade industrial. Na extração do caldo da cana-de-açúcar, um dos controles de processo é conhecido como controle de vazão de embebição que tem como objetivo medir e controlar a vazão de água utilizada para a lavagem e “amolecimento” da cana-de-açúcar.

Segundo Manella (2012), o processo no qual a água ou caldo é aplicado ao bagaço que sai dos ternos das moendas, a fim de aumentar a extração de sacarose de um conjunto de moendas.

Utilizou-se para identificação do modelo do processo a funcionalidade *AMCT* (*Automatic Model Capture Technology*) do software PlantTriage®. O *AMCT* funciona em real-time procurando e reportando modelos de processos por meio da avaliação automática de todos os testes de resposta que ocorrem na malha de controle, tais como: mudanças de *set point*, rampas ou movimentos de válvula no modo manual. Ele filtra os dados e procura locais em que a variável de processo (PV) e a variável manipulada (MV) estejam estáveis, sofrem alteração e em seguida retornam novamente para o regime de estabilidade. Dessa forma, se o operador realizar uma mudança de *set point* ou movimentar a válvula em manual, o *AMCT* irá avaliar os dados, desenvolver e validar o modelo. Para validar o modelo, os dados devem ser suaves, dentro do ruído normal de processo. A Figura 4 mostra os dez últimos modelos encontrados.

	Start	P	I	D	F	Quality	Gain	DT	Lag1	Lag2	Intg	Stability	RRT	Notes
							%/%	sec	sec	sec			sec	
<input type="checkbox"/>														
<input checked="" type="checkbox"/>	AMCT 03/10/2018 23:41	0,37	13	0	0	4	0,34	25,2	0	0	False	1,7	96	
<input checked="" type="checkbox"/>	AMCT 03/10/2018 18:58	0,39	50	0	0	2	0,37	27,3	0	0	False	6,1	100	
<input checked="" type="checkbox"/>	AMCT 03/10/2018 14:15	0,6	30	0	0	2	2,2	2	0	0	False	2,4	43	
<input checked="" type="checkbox"/>	AMCT 03/10/2018 13:14	0,13	3,6	0	0	3	1,4	4	0	0	False	1,3	16	
<input checked="" type="checkbox"/>	AMCT 03/10/2018 11:07	0,16	9,9	0	0	3	1,3	11	5,2	0	False	3	69	
<input checked="" type="checkbox"/>	AMCT 03/10/2018 10:44	0,043	39	0	0	2	3,5	70	0	0	False	43	200	
<input checked="" type="checkbox"/>	AMCT 02/10/2018 23:31	0,092	5,9	0	0	4	1,8	7	2,7	0	False	3,1	40	
<input checked="" type="checkbox"/>	AMCT 02/10/2018 21:51	0,43	6,3	0	0	1	0,58	6	3,8	0	False	0,7	43	
<input checked="" type="checkbox"/>	AMCT 02/10/2018 02:25	0,52	4,8	0	0	2	0,27	10	0	0	False	0,44	27	

Figura 4 - Modelos identificados pelo AMCT do PlantTriage.

A coluna “*Quality*” indica a qualidade do modelo que é um número entre 1 e 7. Sendo que 1 é uma qualidade excelente e 7 uma qualidade muito baixa. Para este estudo escolheu-se a penúltima linha por ser um modelo de qualidade excelente. Ao clicar neste modelo, é mostrada a Figura 5, onde temos a janela de tempo onde o *AMCT* encontrou uma oportunidade de detecção do modelo.

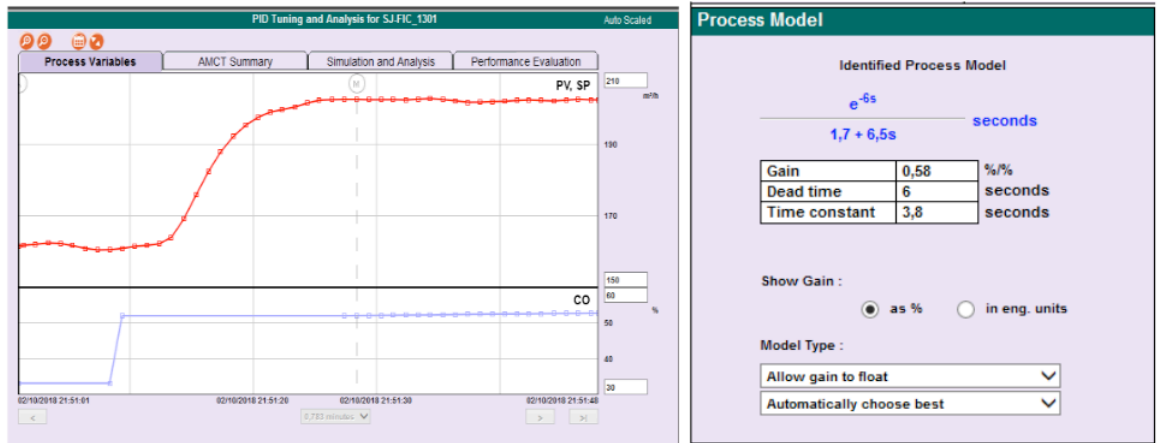


Figura 5 - (a) Janela de tempo para identificação do modelo (b) Modelo identificado.

Sendo assim, o modelo do processo, $P(s)$ é conhecido.

$$P(s) = \frac{0,58 \cdot e^{-6s}}{3,8s+1} \quad (1)$$

Como o CLP trabalha de maneira digital, procedeu-se a modelagem matemática para determinar a função de transferência de dados amostrados, $G(z)$, considerando que o período de amostragem, T , seja 0,5s. Utilizou-se o *software* MATLAB para cálculo.

```
'MODELAGEM MATEMÁTICA'           %Exibe o título
T = 0.5;                          %Define o período de amostragem.
numeradorS=0.58                   %Define o numerador de G1(s)
denominadorS=[3.8 1]              %Define o denominador de G1(s)
'G1(s)'                            %Exibe o título
G1=tf(numeradorS,denominadorS)    %Cria G1(s) e exibe
G=c2dm(G1,T,'zoh')               %G1(z) e exibe na tela

G =

    0.07151
-----
    z - 0.8767

Sample time: 0.5 seconds
Discrete-time transfer function.
```

Considerando que o período de amostragem, T , seja 0,5s e por definição $z = e^{st}$, então $e^{-6s} = z^{-12}$. Dessa forma, o novo $G(z)$ é descrito pela Equação 2.

$$G'(z) = \frac{0,07151 \cdot z^{-12}}{(z-0,8767)} \quad (2)$$

Segundo GARANITO, 2006, sistemas dinâmicos são todos os sistemas que evoluem no tempo, qualquer que seja a sua natureza, isto é, sistemas físicos, biológicos, químicos, sociais, econômicos, etc. Esta evolução pode ser descrita (modelada) por equações de diferenças, uma vez que esse tempo é muitas vezes medido em intervalos discretos.

Para simular o processo no CLP foi necessário encontrar a equação de diferença da função do processo vazão de embebição. Sendo a FT do processo representada pela Equação 3.

$$G(z) = \frac{0,07151}{(z-0,8767)} \quad (3)$$

Para obter a equação de diferença:

$$G(z) = \frac{Y(z)}{F(z)} = \frac{0,07151}{(z-0,8767)} = \frac{0,07151 \cdot z^{-1}}{1-0,8767 \cdot z^{-1}} \quad (4)$$

$$Y(z) \cdot [1 - 0,8767 \cdot z^{-1}] = F(z) \cdot [0,07151 \cdot z^{-1}] \quad (5)$$

$$Y(z) = 0,8767 \cdot z^{-1} \cdot Y(z) + 0,07151 \cdot z^{-1} \cdot F(z) \quad (6)$$

Na forma de equação de diferença:

$$y[n] = 0,8767 \cdot y[n - 1] + 0,07151 \cdot f[n - 1] \quad (7)$$

3 | RESULTADOS

Foi simulado o controlador *fuzzy* usando-se o *toolbox* Simulink do *software* Matlab. Realizou-se o posicionamento dos blocos de forma a simular e comparar a malha de realimentação negativa com controlador *fuzzy*, malha com controlador PID e malha aberta. O diagrama de blocos está ilustrado na Figura 6.

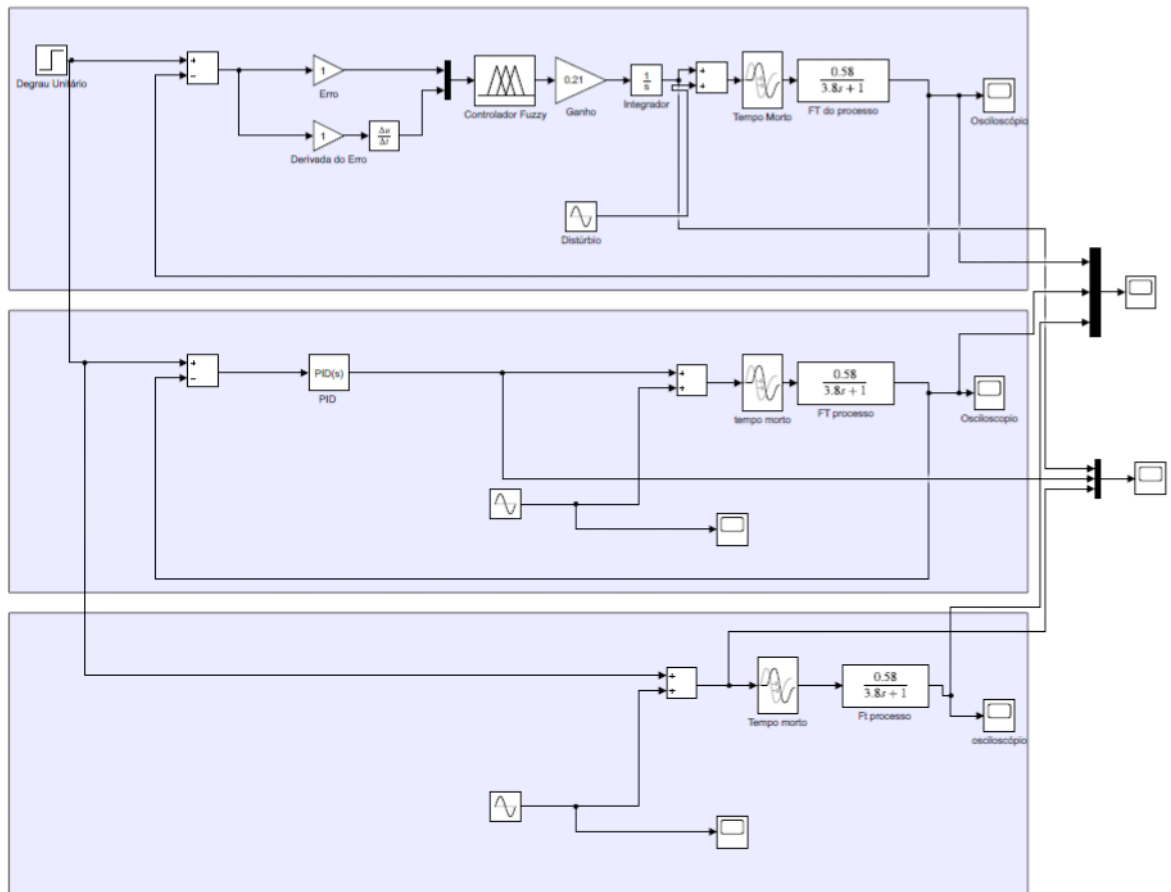


Figura 6 - Diagrama de bloco de uma planta de vazão de embebição controlada por um controlador fuzzy, controlador PID e em malha aberta.

Observe que o ganho na malha do controlador *fuzzy* tem o efeito de uma ação proporcional dependente. Alterando-se o seu valor, varia-se a velocidade de atuação do controlador *fuzzy*. Observa-se também que como a função de transferência da planta não possui um integrador intrínseco, há a necessidade de incluir um integrador em série na malha direta. A resposta da simulação está representada na Figura 7.

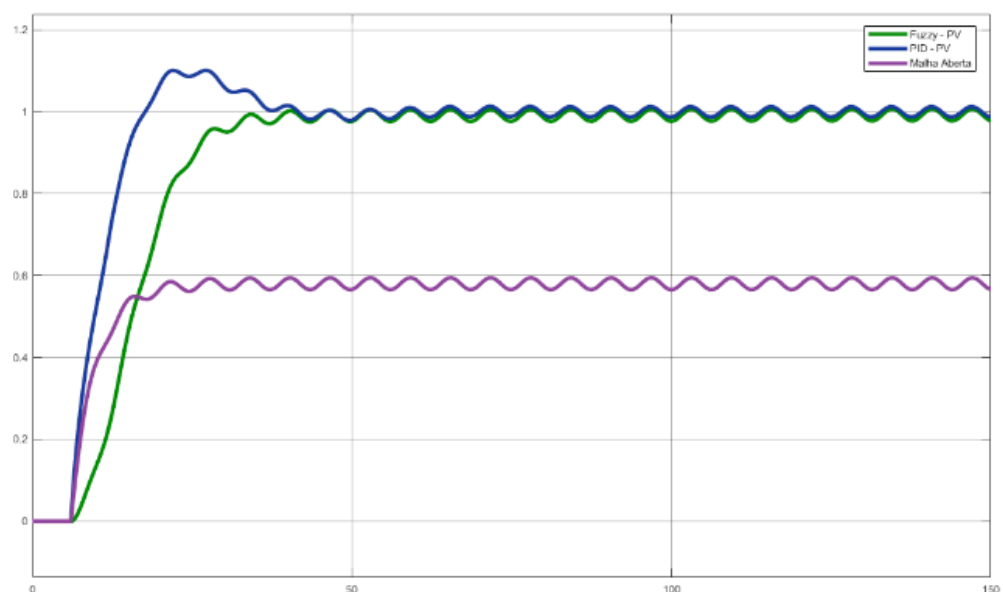


Figura 7 - Resposta da malha de controle.

A rotina do CLP com o controlador Fuzzy foi implementada em linguagem *ladder*. A Figura 8 representa uma imagem principal da rotina.

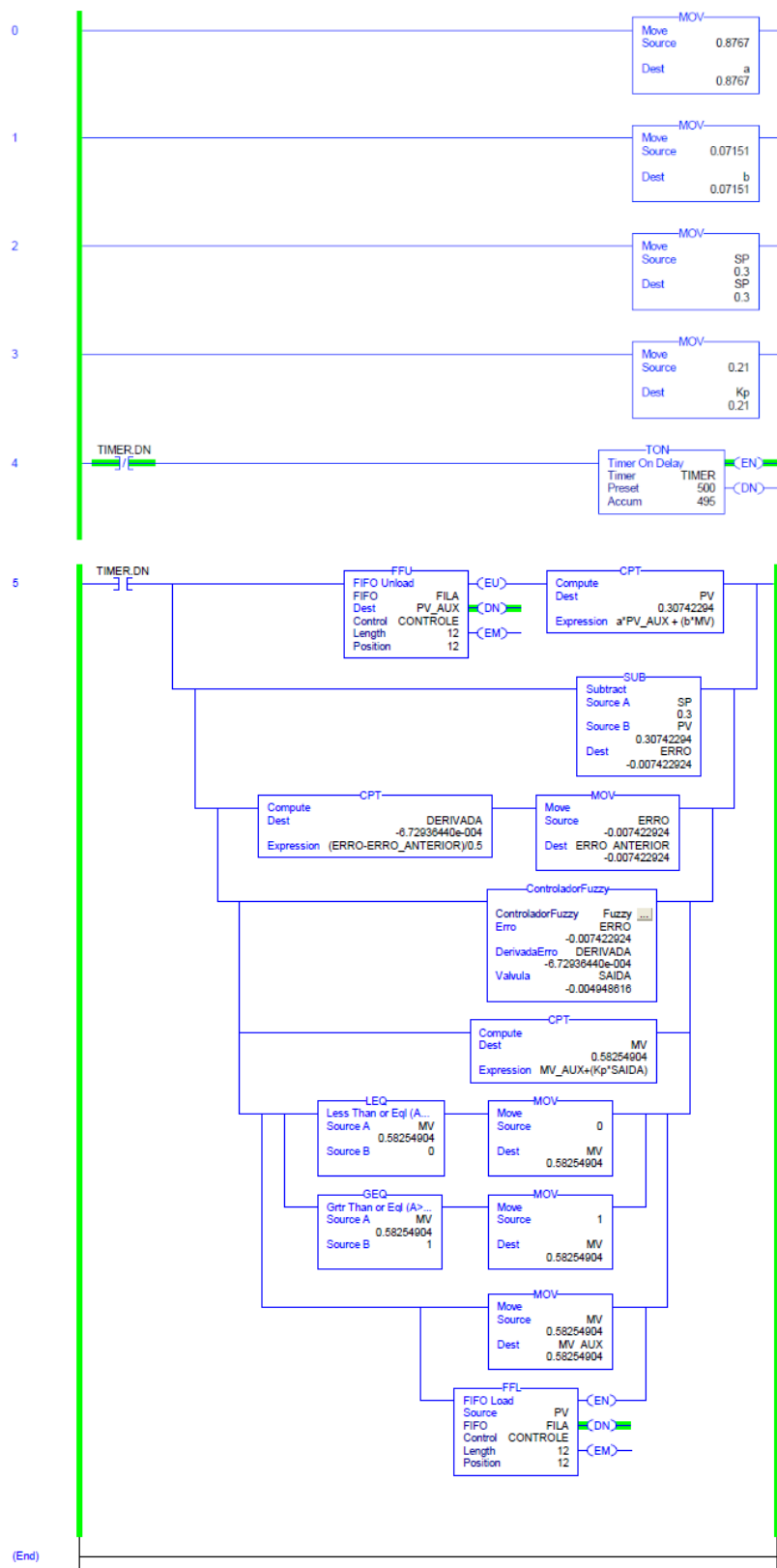


Figura 8 - Rotina no CLP.

A confecção de tela foi desenvolvida por meio do *software* Factory Talk View Studio® cuja aplicação é voltada à criação de telas gráficas de interação com controladores lógicos programáveis tendo como função proporcionar uma visão mais

geral e intuitiva do processo. A tela pode ser vista na Figura 9.

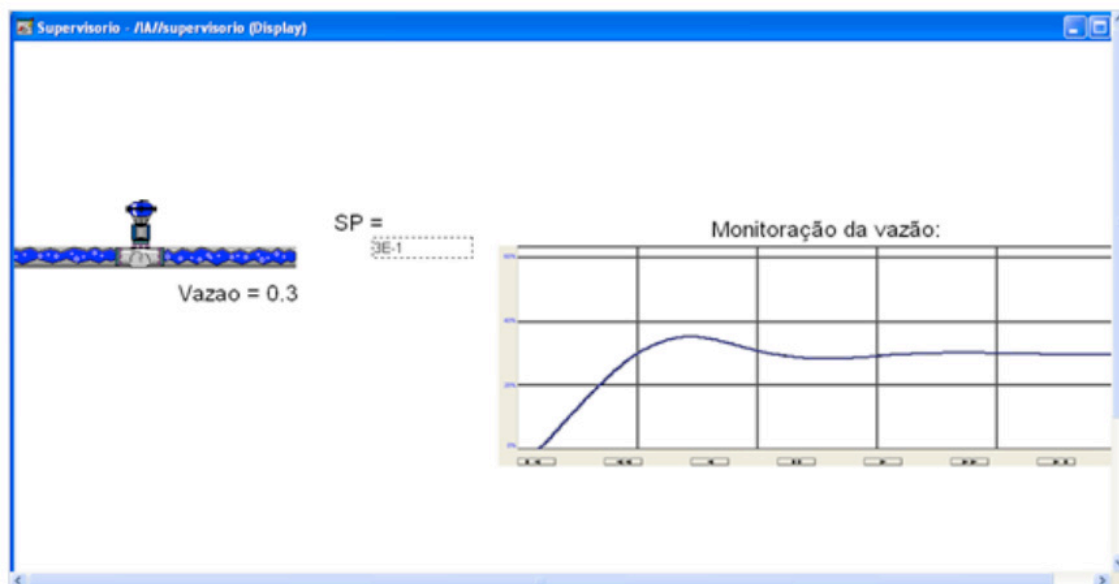


Figura 9 - Rotina implementada no CLP.

4 | CONCLUSÕES

Foi possível desenvolver a proposta deste trabalho que era viabilizar a criação de um ambiente de simulação de controle inteligente de processos por meio da implementação de uma rotina de controle *fuzzy* em linguagem *ladder* no *software* RSLogix 5000®. Também foi possível desenvolver um guia completo de como se utilizar as ferramentas da Rockwell Automation, desde a construção do controlador *fuzzy* até os passos da própria integração do FuzzyDesigner® com o RSLogix 5000®, tornando o uso mais claro para qualquer usuário que já tenha tido contato com programação em *ladder*.

Foi possível integrar a rotina a um sistema supervisorio, com simulação da planta do processo na própria ferramenta, tornando possível que o usuário teste e faça simulações mesmo sem ter acesso a plantas e sistemas físicos reais. Este sistema supervisorio é capaz de se tornar uma importante ferramenta para análise e testes de estratégias de controle que poderiam ser impossíveis em um ambiente industrial. O *software* FactoryTalk® apresentou recursos suficientes sendo possível utilizar este *software* para tornar o sistema mais próximo de uma aplicação real, facilitando a operação.

A implementação do controlador *fuzzy* apresenta como vantagem não necessitar conhecer a função de transferência da planta, ao contrário do PID, que necessitou do modelo para realizar a sintonia dos parâmetros do controlador. Além disso, a situação de controle de vazão de embebição onde o sistema de controle seja baseado em regras empíricas, na prática pode ser mais eficaz, além de poder

atuar em regiões de não linearidades.

Com base na teoria de sistemas dinâmicos lineares e na área de controle, o controlador *fuzzy* pode ser também atraente para plantas as quais o seu modelo matemático seja difícil de estimar ou plantas mais complexas e com alto grau de dificuldade para análise.

Observou-se a simplicidade do FuzzyDesigner® e que o projeto de um controlador *fuzzy* é simples não exigindo grandes conhecimentos matemáticos do sistema, mas sim, conhecimento do funcionamento do sistema para criação da base de regras, ou seja, a maior dificuldade é conceitual de controle e não da utilização das ferramentas.

Portanto, o ambiente de simulação permite que a simulação de processos possa ser desenvolvida em ambiente industrial por pessoal não especializado em técnicas de simulação. Desta forma, o técnico ou o engenheiro de controle pode realizar experiências de simulação antes de implantar as estratégias de controle no processo real.

REFERÊNCIAS

FONSECA, M. O.; SILVA, C.; TORRES, B. S. **Avaliação de desempenho e auditoria de malhas de controle**. Revista InTech, n. 63, p. 32-37, 2004.

GARANITO, Rafael Domingos. **Equações de diferenças e aplicações**. Dissertação de mestrado apresentada ao Departamento de Matemática e Engenharias da Universidade da Madeira. Agosto, 2006.

MANELLA, José Nazareno Anzanello. **Glossário de termos técnicos usados na indústria açucareira e alcooleira**. Maracá: Markgraf, 2012.

RUBAAI, A., M. J. C. SITIRICHE & A. R OFOLI (2008), '**Design and implementation of parallel fuzzy pid controller for high-performance brushless motor drives: An integrated environment for rapid control prototyping**', IEEE Transactions on Industrial Electronics 44, 1090-1098.

ÍNDICE REMISSIVO

A

Abrasômetro 49, 50, 51, 52, 53, 54, 55, 56

Adesão 23, 31, 32

Ajuste automático 72, 190

Algoritmo genético 36, 37, 42, 47, 72, 73, 75, 76, 78, 79, 80, 81

Aprendizado de máquina 12

Aprendizagem de máquinas 58, 176

Arquitetura paralela 83, 84

Autoleitura 11, 12, 13, 14, 21

Automação 49, 51, 53, 56, 59, 60, 81, 95, 109, 124, 133, 135, 137, 151, 153, 157, 161, 170, 187, 198

Avaliação experimental 96, 109

B

Barreiras 23, 32, 33

C

Calorímetro de alta pressão 96

Casas inteligentes 23, 24, 25, 26, 29, 31, 32, 33

Consumo de energia 12, 13, 14

Controlador fuzzy 135, 142, 143, 145, 146

Controlador PI 1, 99, 124, 131

Controlador PID 72, 74, 75, 79, 81

Controle de processos 135, 136

Controle híbrido 95, 97, 99, 102, 105, 107, 108

Controle PID 74, 78, 83

E

Energia eólica 1, 2, 4

Erro de quantização 124, 125, 126, 127, 133, 134

Estabilidade transitória 36

F

Fuzzy 58, 59, 61, 63, 69, 70, 123, 135, 136, 138, 142, 143, 144, 145, 146, 159, 160, 170, 171, 187, 188, 194, 198, 207, 209, 210, 211, 212, 213, 216, 222, 223, 225, 239

G

Gás natural 58, 59, 69, 70

H

HOG 12, 14, 18, 19, 20, 21, 22

I

Identificação de sistemas 36, 38, 39, 47, 48, 116, 124, 128, 134, 209

L

Ladder 135, 136, 144, 145

Lógica fuzzy 59, 61, 63, 135, 138, 170, 207

LSS 12, 14, 18, 19, 20, 21, 22

M

Máquinas de ensaio 49, 51

Modelagem de carga 36, 37, 38, 39, 46

Modelos matemáticos 1, 3, 10, 38, 39, 128, 135

P

Países desenvolvidos 23, 24, 26, 28, 29

Países emergentes 23, 27, 28, 29, 31

Processamento de imagens 12, 21

Protótipo 73, 79, 82, 83, 84, 86, 93, 148, 149, 150, 167, 168, 189, 196

R

Reconhecimento 11, 12, 13, 14, 16, 17, 19, 20, 21, 110, 112, 113, 123, 174, 176, 179, 203, 204, 210

Refrigeração com dióxido de carbono 96

Robô delta 83, 93, 94

S

Servomecanismo 124, 125, 126, 127, 128, 131, 132, 133, 134

Sistema de posicionamento 83

Supervisor 52, 54, 55, 82, 85, 88, 135, 145

Svm 12, 14, 17, 19, 21, 22

T

Tomada de decisão inteligente 58

Turbina eólica 1, 3, 4, 5, 6, 7, 10

V

Válvulas automáticas industriais 95, 96

 **Atena**
Editora

2 0 2 0