



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 Aristófanos 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

DESENVOLVIMENTO DE UMA ESTRUTURA DE CONTROLE HÍBRIDA PARA SISTEMAS DE REFRIGERAÇÃO DE ALTA PRESSÃO

Data de aceite: 17/03/2020

Data da submissão: 02/12/2019

Murilo Ferreria Vitor

Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Automação e Sistemas, Universidade Federal de Santa Catarina

Florianópolis – Santa Catarina

Lattes: <http://lattes.cnpq.br/6950949782045602>

Alexsandro dos Santos Silveira

POLO - Laboratórios de Pesquisa em Refrigeração e Termodinâmica, Departamento de Engenharia Mecânica, Universidade Federal de Santa Catarina

Florianópolis – Santa Catarina

Lattes: <http://lattes.cnpq.br/5261889275418789>

Guilherme Matias

Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Automação e Sistemas, Universidade Federal de Santa Catarina

Florianópolis – Santa Catarina

Lattes: <http://lattes.cnpq.br/9406201424778831>

Rodolfo César Costa Flesch

Departamento de Automação e Sistemas, Universidade Federal de Santa Catarina

Florianópolis – Santa Catarina

Lattes: <http://lattes.cnpq.br/4070109317911706>

RESUMO: Este trabalho propõe uma estrutura de controle híbrida para sistemas de refrigeração

de alta pressão. A metodologia foi aplicada para o controle de pressão em um calorímetro para compressores que utilizam o dióxido de carbono como fluido refrigerante, substituindo a válvula antes operada manualmente. O calorímetro opera com um intervalo de pressão de sucção de (20 a 50) bar e de pressão de descarga de (75 a 105) bar. O ciclo de refrigeração funciona com três níveis de pressão, que são definidos por duas válvulas automáticas industriais com motores de passo acoplados. Um controle híbrido formado por um controle linear seguido por um controle chaveado de três níveis foi desenvolvido de modo a conduzir as pressões para os valores desejados. Um driver de comando foi projetado e desenvolvido para interpretar os sinais de controle e atuar sobre as válvulas automáticas. Com a estrutura de controle proposta foi possível obter um modelo satisfatório do compressor com os pontos obtidos automaticamente, em menos da metade do tempo, quando comparado com a operação manual, tornando o calorímetro muito mais ágil e estável para uma vasta gama de condições de funcionamento. Além de fornecer resultados mais rápidos, a estrutura de controle proposta também apresentou robustez nos ensaios de rejeição de perturbação e confiabilidade nos testes de seguimento de referência, atendendo os requisitos de projeto da estrutura de controle.

PALAVRAS-CHAVE: Controle híbrido;

Calorímetro de alta pressão; Refrigeração com dióxido de carbono; Válvulas automáticas industriais; Avaliação experimental.

DEVELOPMENT OF A HYBRID CONTROL STRUCTURE FOR HIGH PRESSURE REFRIGERATION SYSTEMS

ABSTRACT: This paper proposes a hybrid control structure for high pressure refrigeration systems. The methodology was applied for controlling pressure in a calorimeter for carbon dioxide compressors, replacing a valve that was operated manually. The calorimeter works with a pressure range from (20 to 50) bar for suction and (75 to 105) bar for discharge. The refrigeration cycle works with three pressure levels and two automatic valves with internally coupled stepper motors. A hybrid control comprising a linear control followed by a three level switching control was developed in order to get the pressures to the desired values. A command driver was designed and implemented to interpret the control signals and drive the valves. With the proposed control structure, it was possible to obtain a satisfactory compressor model with only automatic tests, in less than half the time, when compared to the manual operation, making the calorimeter faster and stable for a wide range of working conditions. In addition to providing quicker tests, the proposed control structure showed also robustness in disturbance rejection tests and reliability in reference tracking tests, meeting the control structure project requirements.

KEYWORDS: Hybrid control; High-pressure calorimeter; Carbon dioxide refrigeration; Automatic industrial valves; Experimental evaluation.

1 | INTRODUÇÃO

O compressor é uma parte essencial de sistemas de refrigeração por compressão mecânica de vapor, os mais comumente utilizados nos dias atuais (Belman-Flores et al., 2015). O uso de calorímetros está diretamente ligado à caracterização deste componente em diversas condições de operação. Entender as características do compressor melhora o controle de qualidade e permite a criação de compressores mais eficientes.

Diversos trabalhos na literatura são dedicados ao desenvolvimento de calorímetros. Joffily e Pimenta (2006) propuseram uma bancada para avaliação de compressores de ar condicionado e refrigeradores de pequeno e médio porte por meio de um ciclo superaquecido alternativo. Silveira et al. (2014) desenvolveram um calorímetro compacto de ciclo quente específico para microcompressores lineares. Silveira et al. (2015) desenvolveram um calorímetro para compressores que utilizam dióxido de carbono como fluido refrigerante, que é o objeto deste trabalho.

Para um calorímetro feito para compressores que utilizam como fluido refrigerante dióxido de carbono, altas pressões de sucção e descarga são necessárias para atingir

as condições de ensaio desses compressores (Frutuoso Junior, 2014). É necessário ensaiar os compressores em diferentes condições de funcionamento, o que requer uma mudança nas pressões de sucção e descarga entre cada ensaio realizado. Utilizar uma válvula manual para tais mudanças, além de ser um trabalho repetitivo, traz risco para o operador. A substituição dessas válvulas por válvulas automáticas traz segurança, e também uma maior agilidade para alcançar a condição de operação necessária para os ensaios. Alguns trabalhos recentes mostraram as vantagens da aplicação de técnicas de controle em bancadas de teste de compressores de refrigeração (Danguì et al., 2017; Schwedersky et al., 2018).

O objetivo deste trabalho é automatizar o controle das pressões de sucção e de descarga de um calorímetro para compressores que usam dióxido de carbono como fluido refrigerante. Com esta adição se faz necessária a criação de uma estratégia de controle para as válvulas automáticas, para que as pressões de sucção e de descarga alcancem de maneira rápida os valores desejados, além de manterem-se nesses valores para cada condição de funcionamento. Neste trabalho um controle híbrido foi desenvolvido para este fim, compreendendo um controlador linear do tipo PI em série com um controlador não linear chaveado de três níveis.

O trabalho está dividido em 5 seções. Esta seção fez uma breve introdução à calorímetros e ao controle aplicado em sistemas de refrigeração, além de apresentar o problema a ser resolvido pelo presente trabalho. O aparato experimental é mostrado na Seção 2, o desenvolvimento da estratégia de controle é mostrado na Seção 3, e os resultados obtidos estão na Seção 4, que contempla os ensaios de validação da estrutura de controle proposta e também o cálculo do modelo de um compressor, para evidenciar os ganhos provenientes da utilização da estrutura de controle desenvolvida. Na Seção 5 são apresentadas as principais conclusões obtidas do trabalho, além de sugestões para trabalhos futuros.

2 | APARATO EXPERIMENTAL

O aparato experimental, um calorímetro de ciclo quente para compressores de dióxido de carbono (figura 1), foi construído de maneira modular, de modo a conter não somente o circuito de refrigeração, mas também o sistema de aquisição, o quadro elétrico e o compartimento de ensaio de compressor (Silveira et al., 2015). Todas as temperaturas são medidas com termopares do tipo T com $\pm 0,5$ °C de incerteza de medição. O controle da temperatura da linha de sucção é feito com um aquecedor flexível preso ao tubo controlado por um controlador PID combinado com a ação de um trocador de calor de convecção forçada tubo-aleta. No compartimento de teste há o controle da temperatura com um sistema de refrigeração auxiliar devido à alta transferência de calor proveniente do corpo do compressor, e controle da velocidade

do ar com a ajuda de um ventilador radial de velocidade variável.

O foco do presente trabalho, o controle das pressões de sucção e de descarga, é feito com duas válvulas manuais micrométricas Swagelok série M, com orifício de 1,42 mm e resposta linear. Em paralelo, duas válvulas de expansão eletrônicas Danfoss SAGInoMIYA série UKV foram adicionadas para o controle das pressões de sucção e de descarga. Estas válvulas de resposta não linear contam com motores de passo de ímã permanente acoplados que comandam uma válvula agulha com orifício de 1,4 mm, e possuem fim de curso por catraca, o que reduz problemas relacionados à atuação próximo das regiões limites de abertura e fechamento, não as deixando travar. As válvulas manuais continuaram no sistema, podendo ser utilizadas como uma opção de ajuste manual das pressões, ou para o ajuste fino junto com as automáticas, e também para segurança. Um reservatório intermediário de aço inoxidável com um volume de 2,25 litros foi instalado entre as linhas de sucção e descarga para acomodar o excesso de fluido refrigerante e permitir que o calorímetro opere em uma vasta variedade de condições com uma única carga de fluido. O compressor utilizado nos ensaios é do tipo alternativo com deslocamento volumétrico de 0,7 cm³. Estes compressores normalmente são empregados em produtos como expositores de bebidas, que utilizam CO₂ como fluido refrigerante.



Figura 1: Calorímetro de ciclo quente para compressores de dióxido de carbono.

Para o comando das válvulas de expansão eletrônicas, um driver de motor de passo (figura 2) utilizado em Silveira et al. (2014) foi adaptado. O driver é composto por três circuitos integrados (CIs). O CI L297 é responsável por habilitar e desabilitar

o driver por meio de comandos discretos de nível lógico TTL, comando de direção no sentido horário e anti-horário (CCW, do inglês counterclockwise), e também permite ajustar a corrente e receber sinal de gerador de função externo ou interno, implementado com o CI 555. O driver conta com um circuito integrado de potência CI L298 ponte H para alimentação e inversão do sentido de giro do motor. Por fim, foi recalculado um circuito com oito diodos de roda livre de ação rápida, para suportar a corrente necessária que circula pela bobina da válvula, visto que os diodos anteriores não suportavam tal corrente. Com este driver foi possível utilizar meio passo no acionamento das válvulas, melhorando a resolução de atuação.

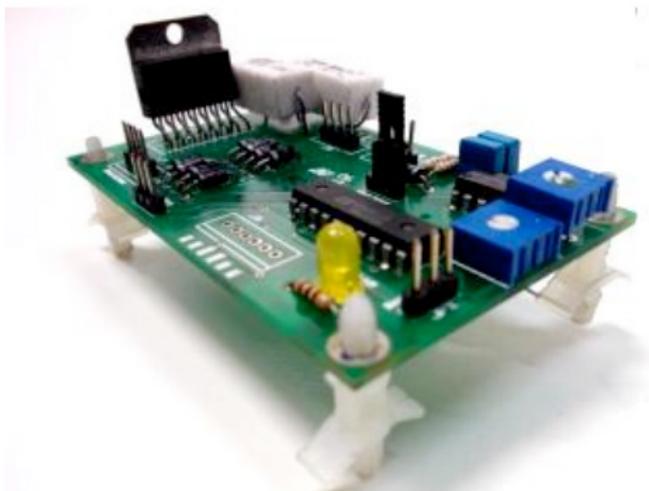


Figura 2: Driver de acionamento da válvula automática.

3 | ESTRUTURA DE CONTROLE PROPOSTA

Neste trabalho foi desenvolvido um controle híbrido constituído por um controle linear (controlador PI) seguido de um controle não linear (controle chaveado com três níveis). O controlador PI foi concebido com o intuito de atender aos requisitos de seguimento de referência, rejeição de perturbações, baixo sobressinal e tempo de resposta rápido perante mudanças de referência. Já o controle chaveado com três níveis foi concebido para definir o sentido da rotação da válvula automática, além de parar o funcionamento da mesma nas situações em que as condições de regime permanente são alcançadas.

3.1 Controlador PI

A escolha do controlador PI para fazer parte da estrutura de controle deve-se ao fato de que os controladores PI são amplamente conhecidos em virtude da sua simplicidade, robustez, capacidade de seguimento de referências constantes e rejeição de perturbações. A equação (1) apresenta a função de transferência do controlador PI no domínio de Laplace, onde K_p é o ganho proporcional e T_i é a

constante de tempo integral.

$$C(s) = k_c \left(1 + \frac{1}{T_i s} \right) \quad (1)$$

Para projetar o controlador PI é necessário calcular os parâmetros K_c e T_i , que são obtidos a partir do modelo matemático do sistema. Para o cálculo desse modelo, primeiramente foram realizados ensaios para determinar o comportamento do sistema, que inclui as válvulas automáticas, o compressor e todo sistema de refrigeração. As figuras 3 e 4 apresentam o comportamento estático do sistema perante variações de abertura das válvulas automáticas da descarga e da sucção. Foram realizadas aberturas de 10% em cada iteração, variando de 0% até 100% de abertura. Enquanto uma das válvulas variava, a outra permaneceu com uma abertura fixa de 50%. As regiões destacadas em azul são as regiões próximas ao fim de curso das válvulas, e por essa razão foram evitadas. Pode-se notar que quanto maior a abertura das válvulas, maior é a linearidade da resposta. Comparando os ensaios, percebe-se que o comportamento estático em ambos é similar, invertendo-se apenas o sentido, dado que o comportamento da válvula da descarga é inversamente proporcional ao comportamento da válvula da sucção.

A partir do comportamento estático, pôde-se determinar duas regiões nas quais as válvulas apresentam um comportamento mais linear, como é mostrado nas figuras 3 e 4. Em cada região foi aplicado o método da resposta ao degrau para a identificação do sistema (Åström e Hägglund, 1995). Com base nos ensaios realizados, um modelo de primeira ordem com atraso foi obtido para cada região, conforme a equação no domínio de Laplace:

$$G(s) = \frac{Y(s)}{U(s)} = \frac{k_p}{\tau s + 1} e^{-\theta s}, \quad (2)$$

onde Y é a saída, U é a entrada, K_p é o ganho estático, θ é o atraso de transporte e τ é a constante de tempo.

Como deseja-se controlar as válvulas em toda a sua região de atuação, foi obtido um modelo de primeira ordem a partir da média entre os modelos das regiões 1 e 2. Os parâmetros dos modelos finais da dinâmica da pressão de descarga e da dinâmica da pressão de sucção são apresentados na tabela 1.

Dinâmica	k_p	τ	θ
Descarga	-0,41	4,13	0,5
Sucção	0,36	4,43	0,5

Tabela 1: Parâmetros dos modelos finais.

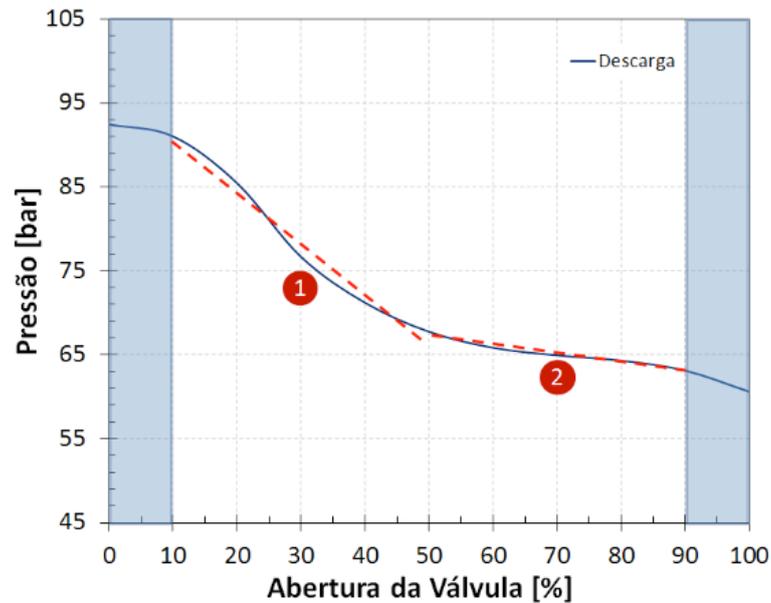


Figura 3: Curva estática do sistema para variações de abertura da válvula automática da descarga.

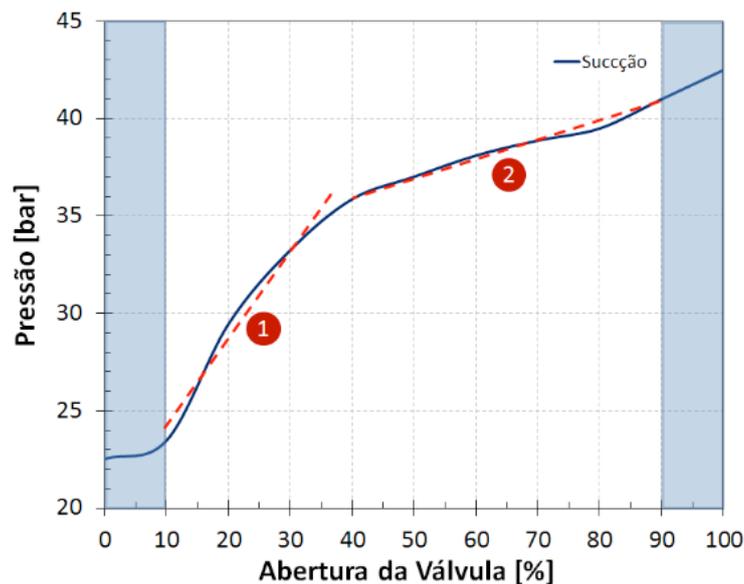


Figura 4: Curva estática do sistema para variações de abertura da válvula automática da sucção.

O controlador PI foi projetado através do método do lugar das raízes (Ogata, 2002). As especificações consideradas no projeto foram de seguimento de referência constante com erro nulo em regime permanente, sistema em malha fechada mais rápido que em malha aberta, sobressinal menor que 10% para mudanças de referência e rejeição de perturbações do tipo constante. A tabela 2 mostra os parâmetros dos controladores PI da válvula de descarga e da válvula de sucção.

Válvula	k_c	T_i
Descarga	-4,8	2,5
Sucção	6,5	2,86

Tabela 2: Parâmetros dos controladores.

3.2 Controlador chaveado de três níveis

Para tornar possível o controle das válvulas por meio da ação de controle calculada pelo controlador PI, foi necessário desenvolver um controle chaveado em três níveis. Isso ocorre porque os drivers responsáveis pelo acionamento das válvulas automáticas recebem apenas comandos que definem o sentido de rotação do motor de passo acoplado internamente, além de permitir que a válvula permaneça em uma mesma posição.

Baseado nisso, o controle chaveado divide a ação de controle proveniente do controlador PI em duas regiões, sendo que o nível superior corresponde ao sentido anti-horário, e o nível inferior ao sentido horário. Adicionalmente, quando a resposta do sistema está próxima o suficiente da referência, o controle chaveado fixa a abertura da válvula automática, parando a rotação do motor de passo. Obtêm-se então, os três níveis do controle chaveado, anti-horário, horário e parado.

A figura 5 apresenta a estrutura final do controle híbrido desenvolvido, utilizado separadamente em cada válvula.

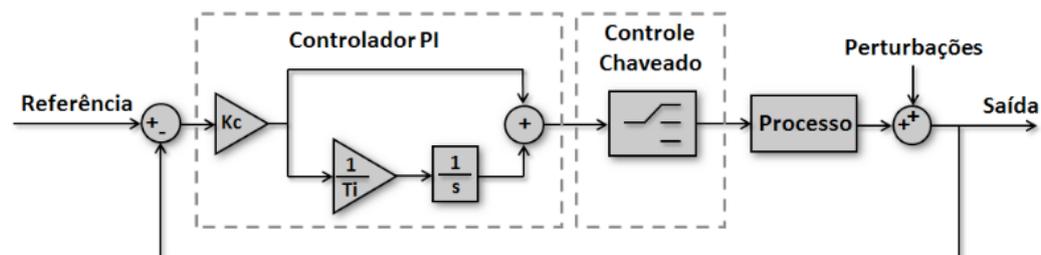


Figura 5: Estrutura do controle híbrido.

4 | RESULTADOS

Um conjunto de testes foi realizado para avaliar o desempenho da estrutura de controle híbrida desenvolvida. Foram realizados testes de seguimento de referência na pressão de descarga e de sucção do compressor. Realizaram-se também, testes de rejeição de perturbação. Além disso, um conjunto de pontos experimentais foi obtido para a modelagem do compressor.

4.1. Testes de seguimento de referência

Com o intuito de avaliar o desempenho da estrutura de controle híbrida, testes de seguimento de referência foram realizados na válvula automática da descarga e da sucção.

A figura 6 apresenta o resultado do teste de seguimento de referência da válvula da descarga. Na execução desse teste, a pressão de sucção foi mantida próxima a 25 bar. Variou-se a pressão de descarga de 60 bar até 78 bar, realizando mudanças

de referência de 3 bar a cada 2 minutos. Pode-se notar que para essa condição de teste, a válvula automática da descarga alcança a abertura de fim de curso, para a pressão de 78 bar. Nessa situação, independente da ação de controle calculada, não é possível restringir mais o fechamento da válvula, devido a limitação física da válvula. A figura 7 mostra uma região mais aproximada do teste da descarga, no qual observa-se que os requisitos de projeto foram atingidos, obtendo um baixo sobressinal, e um tempo de resposta menor que o de malha aberta.

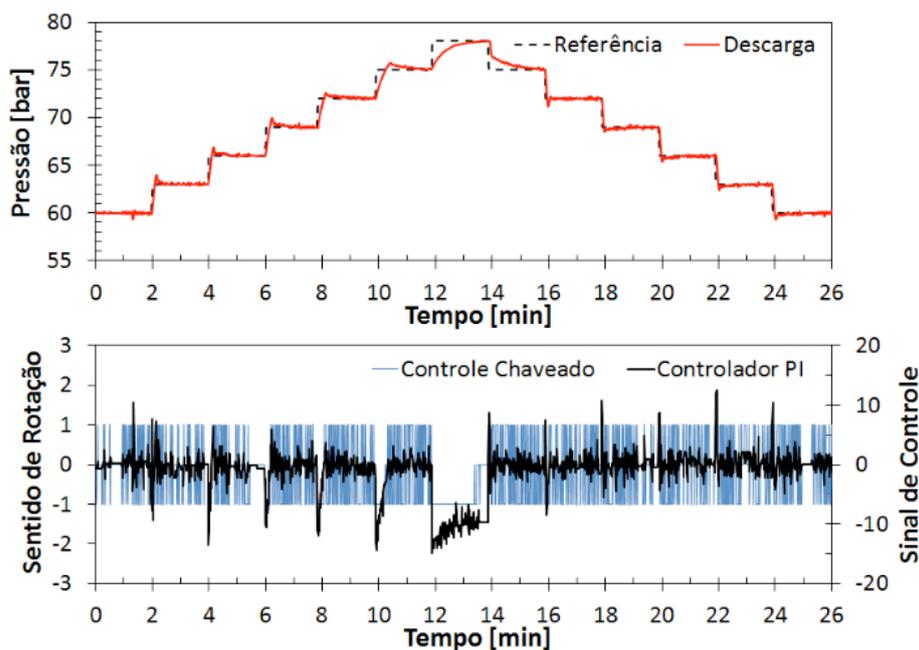


Figura 6: Teste de seguimento de referência da descarga.

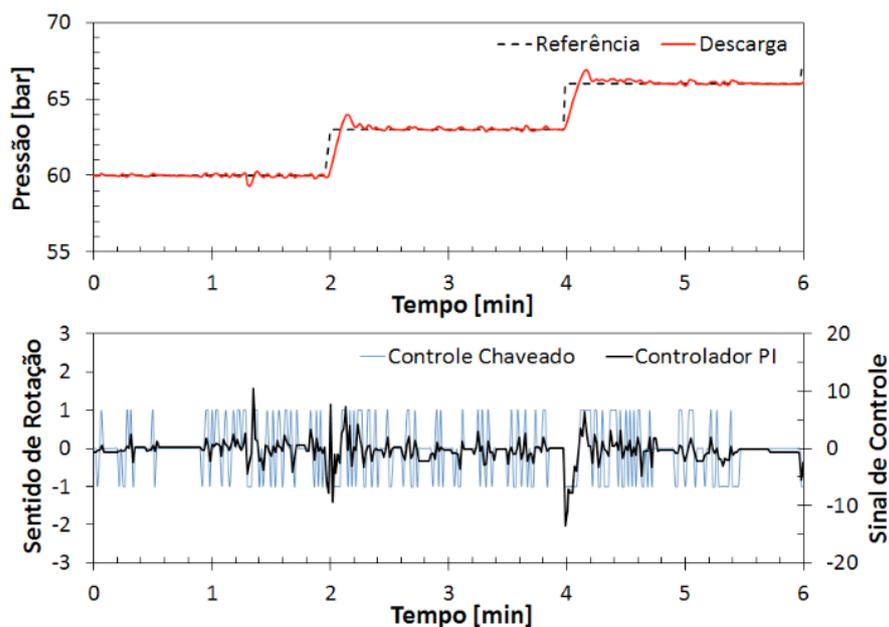


Figura 7: Seguimento de referência da descarga (zoom).

A figura 8 apresenta o resultado do teste de seguimento de referência da válvula da sucção. Na execução desse teste, a pressão de descarga foi mantida próxima a

75 bar. Variou-se a pressão de sucção de 33 bar até 21 bar, realizando mudanças de referência de 1 bar a cada 2 minutos. A figura 9 mostra uma região mais aproximada do teste da sucção, na qual observa-se que os requisitos de projeto foram atingidos, obtendo uma resposta praticamente sem sobressinal, além de um tempo de resposta menor que o de malha aberta. Nesse teste, percebe-se com maior clareza como funciona o controle chaveado de três níveis, onde o controle chaveia em torno da referência, e quando encontra-se muito próximo da mesma, chaveia para a condição na qual a atuação da válvula é parada, fixando a abertura da válvula, como ocorre no instante de 6 minutos até aproximadamente 8 minutos.

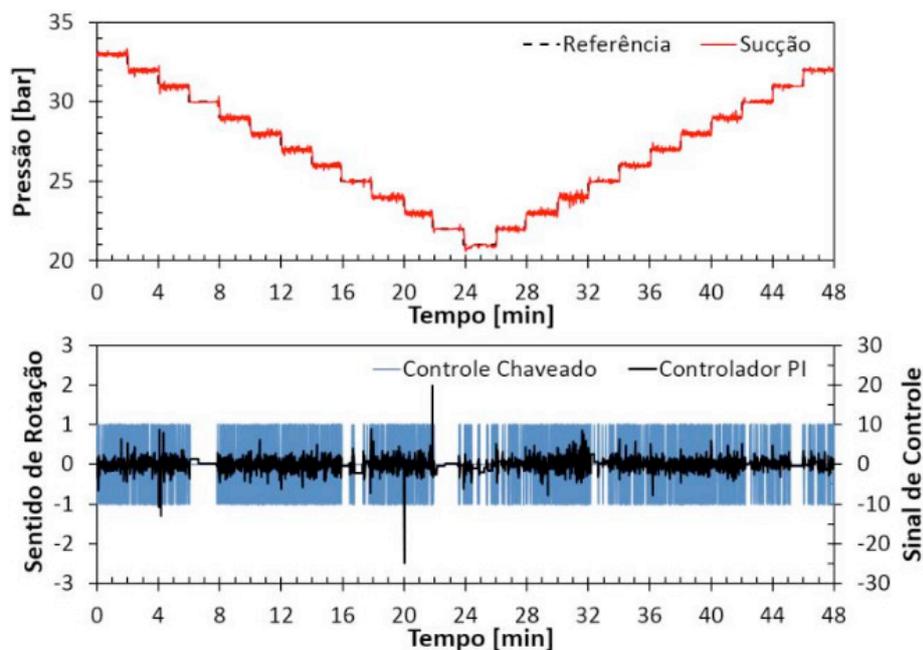


Figura 8: Teste de seguimento de referência da sucção.

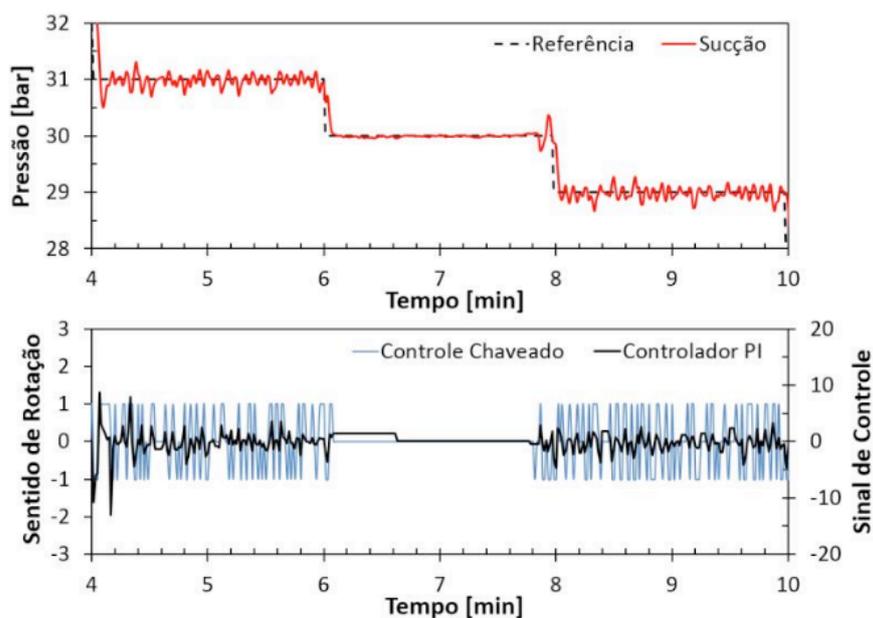


Figura 9: Seguimento de referência da sucção (zoom).

4.2 testes de rejeição de perturbação

Para analisar o desempenho e a robustez do controle híbrido desenvolvido para a situação na qual ambas as válvulas automáticas funcionam simultaneamente, testes de rejeição de perturbação foram realizados. A figura 10 mostra um desses testes, onde ocorre uma mudança de referência na pressão de descarga de 65 bar a 75 bar. Pode-se perceber que o controle da válvula da descarga mantém as características projetadas. Observa-se também que essa mudança de pressão na descarga não afeta a pressão de sucção, já que a mesma está sendo controlada pelo controle híbrido.

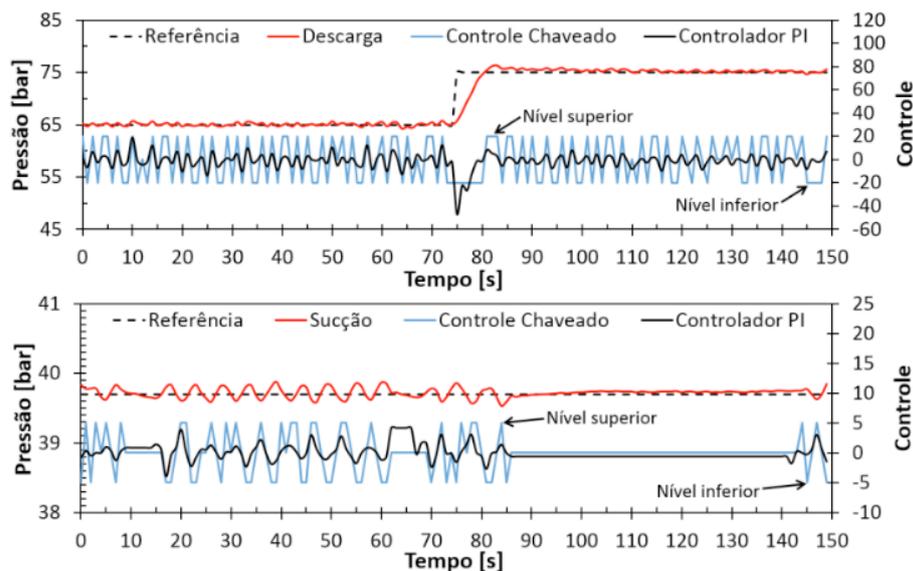


Figura 10: Teste de rejeição de perturbação.

4.3 modelagem do compressor

Vinte e quatro pontos experimentais foram obtidos dentro das condições de operação do compressor utilizado. Foi constatado que para a atual configuração do calorímetro, as válvulas automáticas podem funcionar simultaneamente, desde que a diferença de pressão entre a descarga e a sucção seja de no máximo 50 bar. Nove desses pontos foram obtidos com as válvulas automáticas em funcionamento simultâneo (pontos preenchidos em vermelho na figura 11). Um ponto foi obtido de maneira semiautomática (ponto preenchido em azul na figura 11), onde a válvula da sucção foi controlada automaticamente, e a válvula de descarga foi controlada manualmente, devido à grande diferença de pressão entre a descarga e a sucção. Os outros pontos da matriz foram obtidos utilizando as válvulas manuais (pontos não preenchidos na figura 11), devido ao fato de a diferença de pressão imposta pelo circuito de refrigeração sobre as válvulas ser maior que 50 bar. Somente os pontos obtidos com as válvulas automáticas foram usados na modelagem do compressor.

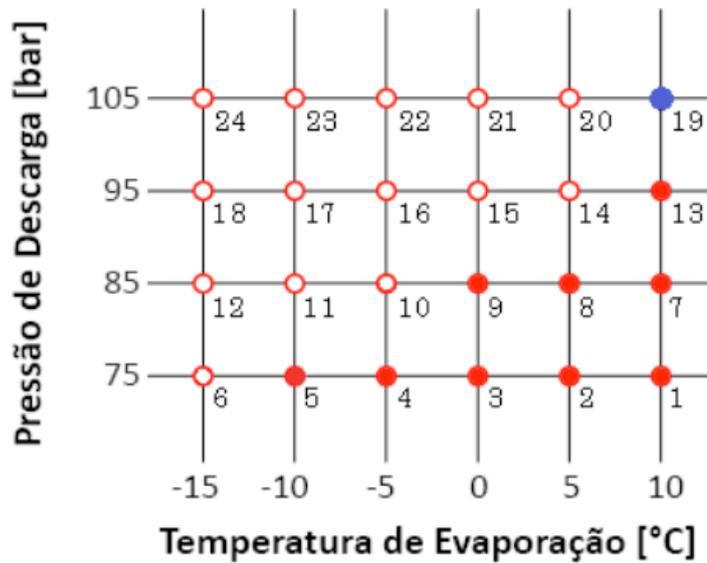


Figura 11: Matriz de ensaios.

O modelo proposto por Li (2012) é um modelo físico, pois baseia-se nas equações fundamentais da teoria de compressores e utiliza as eficiências volumétricas e global para calcular a vazão mássica e potência consumida. Neste modelo existem dois coeficientes relacionados ao volume morto (b_1 e b_2) e um coeficiente de perda de carga (D_p) entre a sucção e a entrada da válvula de admissão do compressor (equações (3) e (4)). A potência consumida, por sua vez, é calculada com base nos fenômenos ocorridos durante a compressão do fluido e nas perdas mecânicas e elétricas segundo a equação (5). Os coeficientes a_1 , a_2 , a_3 , e a_4 devem ser ajustados através de, no mínimo, sete pontos experimentais.

$$\eta_v = b_1 + b_2 \left(\frac{P_{dis}}{P_{suc}(1 - D_p)} \right)^{\frac{1}{k}} \quad (3)$$

$$\dot{m} = \frac{\eta_v D_p N}{v_1} \quad (4)$$

$$W = P_{suc} \dot{m} v_1 \frac{k}{k-1} \left(\frac{P_{dis}^{\frac{k-1}{k}}}{P_{suc}} - 1 \right) \left(a_1 + \frac{a_2}{P_{dis}} + \frac{a_3}{P_{suc}} \right) + a_4 \quad (5)$$

Os dez pontos preenchidos na matriz de ensaio foram utilizados para alimentar o modelo proposto por Li (2012), conseguindo assim uma reprodução de toda a matriz de ensaios de maneira satisfatória, para regiões de interpolação e extrapolação fora das condições utilizadas no ajuste dos parâmetros. Os resultados apresentaram erros menores que 5% dos valores medidos quando comparados com os valores calculados. Pode ser visto nas figuras 12 e 13 um acordo admissível entre os valores

experimentais e os calculados, tanto para a vazão mássica quanto para potência consumida do compressor.

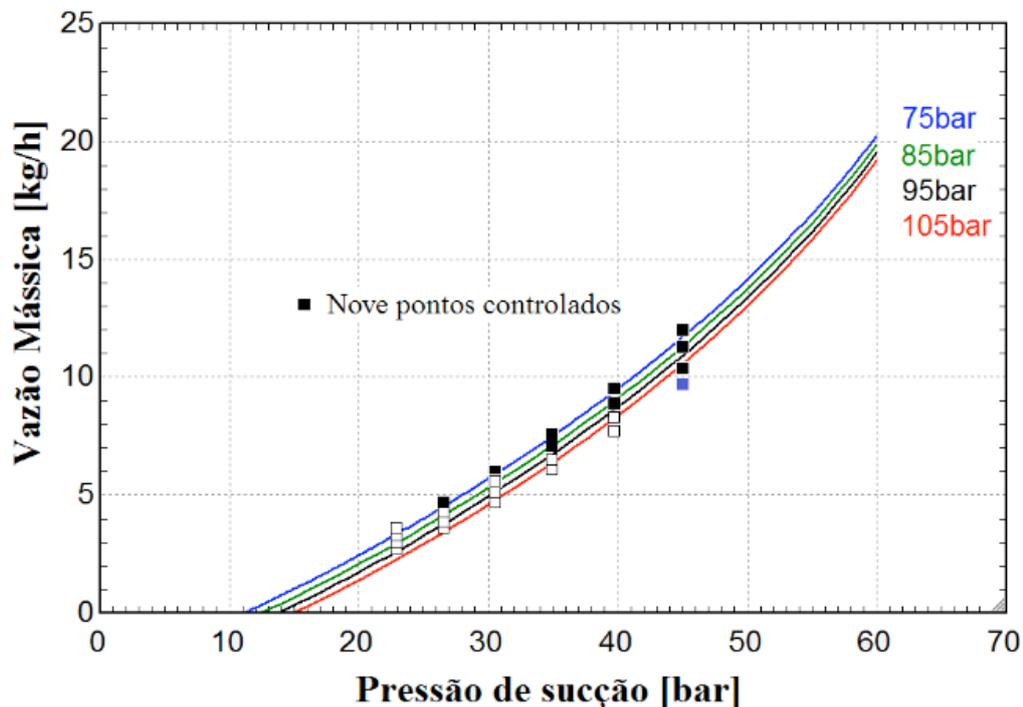


Figura 12: Resultados do modelo de Li (2012) para a vazão mássica.

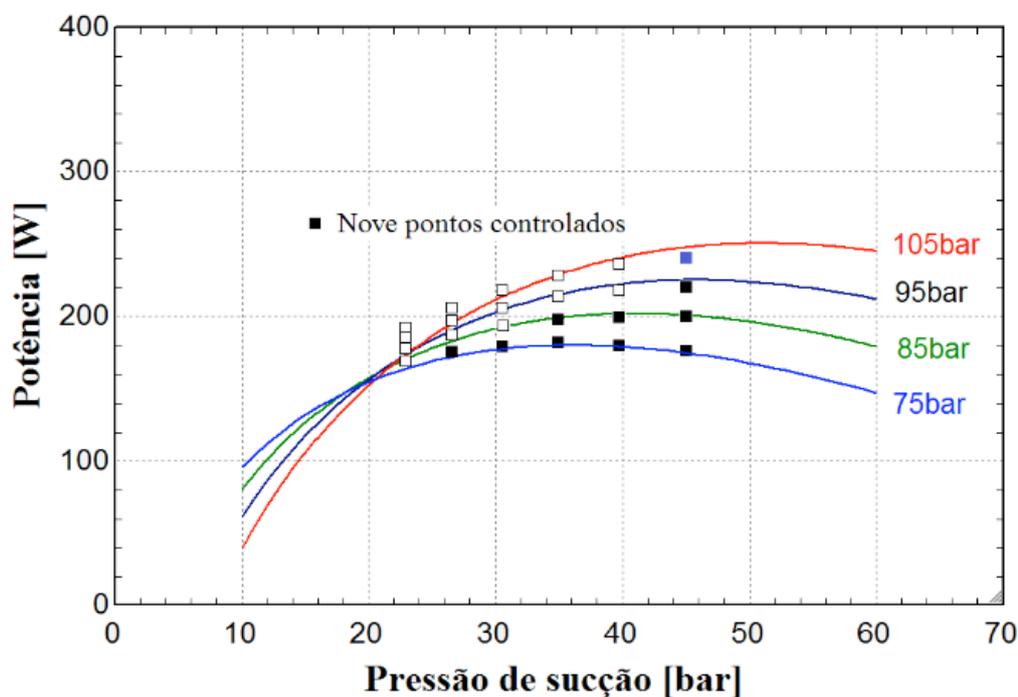


Figura 13: Resultados do modelo de Li (2012) para a potência.

5 | CONCLUSÃO

Este artigo apresentou uma estrutura de controle automático para sistemas de refrigeração de alta pressão. O controle híbrido foi desenvolvido com um controle linear (controlador PI) seguido de um controle não linear (controle chaveado de

três níveis). Pôde-se perceber que o controle híbrido apresentou um desempenho e robustez satisfatórios trabalhando com ambas as válvulas simultaneamente, em ensaios reais de calorimetria. O desempenho da estrutura de controle foi avaliado por meio de testes de seguimento de referência e rejeição de perturbação, nos quais todos os requisitos de projeto do controlador foram cumpridos. Todos esses testes comprovaram que o conjunto controlador PI seguido do controle chaveado de três níveis é realmente eficaz para esse tipo de aplicação. Além de demonstrar a agilidade esperada, a estrutura de controle desenvolvida aumentou a segurança do calorímetro, que trabalha com altas pressões. Dessa forma, o operador foi praticamente removido de uma situação repetitiva e de risco, operando o sistema apenas em algumas condições em modo semi-automático. Com a estrutura de controle desenvolvida, aplicada juntamente ao modelo físico proposto por Li (2012), é possível obter um modelo satisfatório do compressor em apenas um dia de ensaio, levando menos da metade do tempo do que na situação onde utilizava-se apenas o controle manual.

Este trabalho possibilita a abertura de novas pesquisas relacionadas ao controle de válvulas automáticas para calorímetros de CO₂, além de melhoramentos na estrutura física do mesmo. A primeira é considerar controles *feedforward* para diminuir as perturbações causadas pelo acoplamento entre as pressões de sucção e de descarga. A segunda é a adição de uma estrutura com *anti-windup*, para reduzir a sobrecarga da ação integral do controlador PI. A terceira é a comparação entre o par controlador PI seguido do controle chaveado de três níveis, e controle PI com saída PWM. Por fim, realizar uma mudança na linha de pressão intermediária, adicionando mais um reservatório intermediário e uma válvula entre eles, conseguindo assim diminuir a diferença de pressão entre a descarga e a linha intermediária, e entre a sucção e a linha intermediária. Dessa forma, seria possível obter todas ou praticamente todas as combinações de pressões entre a descarga e a sucção com as válvulas automáticas.

AGRADECIMENTOS

Este estudo foi realizado com financiamento da EMBRAPII, por meio da Unidade EMBRAPII POLO/UFSC. Os autores são gratos pelo suporte técnico do Professor Cláudio Melo (*in memoriam*).

REFERÊNCIAS

Åström, K. J., and Häggglund, T. (1995). *PID controllers: theory, design, and tuning (Vol. 2)*. Research Triangle Park, NC: Instrument society of America.

Belman-Flores, J. M., Barroso-Maldonado, J. M., Rodríguez-Muñoz, A. P., and Camacho-Vázquez, G. (2015). **Enhancements in domestic refrigeration, approaching a sustainable refrigerator – a**

review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 51, 955-968.

Dangui, H. A. S., Flesch, R. C. C. e Schwederky, B. B. (2017). **Avaliação Experimental de Técnica de Controle Preditivo em bancada de testes de compressores herméticos para refrigeração.** Em: *13º Simpósio Brasileiro de Automação Inteligente*. Porto Alegre, RS, Brasil.

Frutuoso Junior, E. (2014). **Análise do desempenho de compressores herméticos de refrigeração para aplicações com dióxido de carbono.** Universidade Federal de Santa Catarina, Departamento de Engenharia Mecânica. Florianópolis, SC, Brasil.

Joffily, L. A. L. e Pimenta, J. M. D. (2006). **Avaliação de desempenho e simulação de compressores de refrigeração por meio de um ciclo superaquecido alternativo.** Em: *16º Simpósio de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica*. Universidade Federal de Uberlândia. Uberlândia, MG, Brasil.

Li, W. (2012). **Simplified steady-state modeling for hermetic compressors with focus on extrapolation.** *International journal of refrigeration*, 35(6), 1722-1733.

Ogata, K. (2002). **Modern Control Engineering.** Prentice Hall, NJ, USA, 4th edition.

Schwedersky, B. B., Flesch, R. C. C. and Dangui, H. A. S. (2018). **Practical Nonlinear Model Predictive Control with Hammerstein Model Applied to a Test Rig of Refrigeration Compressors.** In: *24th International Compressor Engineering Conference*. West Lafayette, USA.

Silveira, A. S., Machado, E., de Sá, S. R. L. and Gonçalves, J. M. (2014). **Design and construction of an innovative hot-gas cycle calorimeter for microcompressors.** In: *15th Brazilian Congress of Thermal Sciences and Engineering*. Belém, PA, Brazil.

Silveira, A. S., Machado, E., and Knabben, F.T. (2015). **Design and construction of an automated hot-gas cycle calorimeter for carbon dioxide compressors.** In: *23rd International Congress of Mechanical Engineering*. Rio de Janeiro, RJ, Brazil.

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