



Possibilidades e Enfoques para o Ensino das Engenharias 2

Henrique Ajuz Holzmann
Micheli Kuckla
(Organizadores)

Atena
Editora

Ano 2019

Henrique Ajuz Holzmann
Micheli Kuckla
(Organizadores)

Possibilidades e Enfoques para o Ensino das Engenharias 2

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)

P856 Possibilidades e enfoques para o ensino das engenharias 2 [recurso eletrônico] / Organizadores Henrique Ajuz Holzmann, Micheli Kuckla. – Ponta Grossa (PR): Atena Editora, 2019. – (Possibilidades e Enfoques para o Ensino das Engenharias; v. 2)

Formato: PDF

Requisitos de sistema: Adobe Acrobat Reader

Modo de acesso: World Wide Web

Inclui bibliografia

ISBN 978-85-7247-273-9

DOI 10.22533/at.ed.739192204

1. Engenharia – Estudo e ensino. 2. Engenharia – Pesquisa – Brasil. 3. Prática de ensino. I. Holzmann, Henrique Ajuz. II. Kuckla, Micheli.

CDD 658.5

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

As obras Possibilidades e Enfoques para o Ensino das Engenharias Volume 1 e Volume 2 abordam os mais diversos assuntos sobre a aplicação de métodos e ferramentas nas diversas áreas das engenharias a fim de melhorar a relação ensino-aprendizado, sendo por meio de levantamentos teórico-práticos de dados referentes aos cursos ou através de propostas de melhoria nestas relações.

O Volume 1 está disposto em 26 capítulos, com assuntos voltados a relações ensino-aprendizado, envolvendo temas atuais com ampla discussão nas áreas de Ensino de Ciência e Tecnologia, buscando apresentar os assuntos de maneira simples e de fácil compreensão.

Já o Volume 2 apresenta uma vertente mais prática, sendo organizado em 24 capítulos, nos quais são apresentadas propostas, projetos e bancadas, que visam melhorar o aprendizado dos alunos através de métodos práticos e aplicados as áreas de tecnologias e engenharias.

Desta forma um compendio de temas e abordagens que facilitam as relações entre ensino-aprendizado são apresentados, a fim de se levantar dados e propostas para novas discussões em relação ao ensino nas engenharias, de maneira atual e com a aplicação das tecnologias hoje disponíveis.

Boa leitura

Henrique Ajuz Holzmann

Micheli Kuchla

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1	1
SIMULAÇÃO DE UM SISTEMA PRODUTIVO NO ENSINO DE GESTÃO DA PRODUÇÃO	
Daniel Antonio Kapper Fabricio Lisiane Trevisan	
DOI 10.22533/at.ed.7391922041	
CAPÍTULO 2	10
CULTURA DE SEGURANÇA – FATOR DETERMINANTE PARA A SEGURANÇA E SAÚDE NO TRABALHO EM INDÚSTRIA AUTOMOBILÍSTICA	
Lucass Melo Renata Evangelista Alexandre Bueno Débora Vasconcelos Carla Souza André Souza	
DOI 10.22533/at.ed.7391922042	
CAPÍTULO 3	23
ABORDAGEM DE SUSTENTABILIDADE NOS CURSOS BRASILEIROS DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO	
Gabriella Cavalcante de Souza Isadora Cristina Mendes Gomes Gustavo Fernandes Rosado Coêlho Ciliana Regina Colombo	
DOI 10.22533/at.ed.7391922043	
CAPÍTULO 4	35
ANÁLISE ERGONÔMICA DO TRABALHO NUMA EMPRESA RECUPERADA POR TRABALHADORES: UMA EXPERIÊNCIA PARA O EXERCÍCIO DA INDISSOCIABILIDADE ENSINO-PESQUISA-EXTENSÃO	
Beatriz Mota Castro de Abreu Alice Oliveira Fernandes Tarcila Mantovan Atolini	
DOI 10.22533/at.ed.7391922044	
CAPÍTULO 5	47
PROTÓTIPO DE UM SISTEMA AUTOMÁTICO DE BUSCA E ARMAZENAGEM DE MATERIAIS PARA FINS DIDÁTICOS	
Walber Márcio Araújo Moraes Wesley de Almeida Souto	
DOI 10.22533/at.ed.7391922045	

CAPÍTULO 6	58
LINGUAGEM DE PROGRAMAÇÃO DE ROBÓTICA BÁSICA APLICADA NO ENSINO DE MATEMÁTICA NO ENSINO FUNDAMENTAL	
Márcio Mendonça Lucas Botoni de Souza Rodrigo Henrique Cunha Palácios Paulo Henrique Arizono Lima Marília Gabriela de Souza Fabri José Augusto Fabri	
DOI 10.22533/at.ed.7391922046	
CAPÍTULO 7	71
ROBÓTICA EDUCACIONAL NA ENGENHARIA – SUMÔ DE ROBÔS	
Alessandro Bogila Denis Borg Fernando Deluno Garcia Ivan Luiz de Camargo Barros Moreira Joel Rocha Pinto Thales Prini Franchi Thiago Prini Franchi	
DOI 10.22533/at.ed.7391922047	
CAPÍTULO 8	84
BR.INO: UMA FERRAMENTA PARA ENSINO DE PROGRAMAÇÃO EM ARDUINO PARA APLICAÇÕES EM ROBÓTICA USANDO LINGUAGEM NATIVA	
Gabriel Rodrigues Pacheco Mateus Berardo de Souza Terra Rafael Mascarenhas Dal Moro V́ctor Rodrigues Pacheco Carlos Humberto Llanos	
DOI 10.22533/at.ed.7391922048	
CAPÍTULO 9	94
RELATO DE EXPERIÊNCIA: USO DE TÉCNICAS GAMIFICAÇÃO NO ENSINO DE PROCESSAMENTO DIGITAL DE SINAIS	
Caio Sanches Bentes Ronaldo de Freitas Zampolo	
DOI 10.22533/at.ed.7391922049	
CAPÍTULO 10	105
LABORATÓRIO DE SISTEMAS HIDRELÉTRICOS APLICADO À FORMAÇÃO DO ENGENHEIRO DE ENERGIA – GERAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA E CONTROLE DE SISTEMAS DINÂMICOS	
Kariston Dias Alves Rudi Henri Van Els	
DOI 10.22533/at.ed.73919220410	

CAPÍTULO 11 117

A IMPORTÂNCIA DO LABORATÓRIO DE ENERGIAS ALTERNATIVAS DA UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ NO DESENVOLVIMENTO DE PESQUISAS E FORMAÇÃO DE ENGENHEIROS

Francisco Jeandson Rodrigues da Silva
Douglas Aurélio Carvalho Costa
Obed Leite Vieira
Fellipe Souto Soares
Paulo Cesar Marques de Carvalho
Magna Livia Neco Rabelo
Pollyana Rodrigues de Carvalho

DOI 10.22533/at.ed.73919220411

CAPÍTULO 12 129

AValiação DO USO DA TECNOLOGIA SOFTPLC PARA APRENDIZAGEM DE TÉCNICAS DE CONTROLE E AUTOMAÇÃO

Deliene Costa Guimarães
Reberth Carolino de Oliveira
Renata Umbelino Rêgo

DOI 10.22533/at.ed.73919220412

CAPÍTULO 13 140

CONSTRUÇÃO DE UMA BANCADA DIDÁTICA DE BAIXO CUSTO PARA ENSINO DE SISTEMAS DE CONTROLE

Everton Machado
Alexsandro dos Santos Silveira
João Artur de Souza

DOI 10.22533/at.ed.73919220413

CAPÍTULO 14 152

PAINEL DIDÁTICO PARA ENSINO-APRENDIZAGEM DE INSPEÇÃO TERMOGRÁFICA APLICADA À MANUTENÇÃO ELÉTRICA

Priscila Ribeiro Amorim de Almeida
Pablo Rodrigues Muniz

DOI 10.22533/at.ed.73919220414

CAPÍTULO 15 165

PROPOSTA DE KIT DIDÁTICO PARA ESTUDO DE INTEGRIDADE DE SINAL EM PLACAS DE CIRCUITO IMPRESSO

Pablo Dutra da Silva
Giovane Rodrigues de Oliveira
Gustavo Melsi Floriani

DOI 10.22533/at.ed.73919220415

CAPÍTULO 16 177

ANÁLISE E ATENUAÇÃO DE RISCOS DE INCÊNDIOS E CHOQUE ELÉTRICO EM INSTALAÇÕES ELÉTRICAS EM MORÁDIAS DE BAIXA RENDA

Márcio Mendonça
Lucas Botoni de Souza
Rodrigo Henrique Cunha Palácios
Giovanni Bruno Marquini Ribeiro
Marco Antônio Ferreira Finocchio
José Augusto Fabri

DOI 10.22533/at.ed.73919220416

CAPÍTULO 17	190
SIMULADOR COMPUTACIONAL PARA ENSINO DE PROTEÇÃO DE SISTEMAS ELÉTRICOS DE POTÊNCIA	
Luiz Guilherme Riva Tonini Oureste Elias Batista Augusto César Rueda Medina Andrei Carlos Bastos	
DOI 10.22533/at.ed.73919220417	
CAPÍTULO 18	203
CONSTRUÇÃO E VALIDAÇÃO DE UMA BANCADA DIDÁTICA PARA CARACTERIZAÇÃO DE COMPRESSORES	
Alexsandro dos Santos Silveira João Artur de Souza	
DOI 10.22533/at.ed.73919220418	
CAPÍTULO 19	215
DESENVOLVIMENTO DE UM PÓRTICO INSTRUMENTADO DIDÁTICO	
Matheus Berghetti Albino Moura Guterres Alexsander Furtado Carneiro	
DOI 10.22533/at.ed.73919220419	
CAPÍTULO 20	226
AUTOMAÇÃO DOS PROCESSOS DE VERIFICAÇÃO DE PERFIS DE AÇO LAMINADO SOLICITADOS À FLEXÃO NORMAL SIMPLES E AXIALMENTE CONFORME CRITÉRIOS DA ABNT NBR 8800:2008	
Lucas Tarlau Balieiro Marcelo Rodrigo de Matos Pedreiro Roberto Racanicchi	
DOI 10.22533/at.ed.73919220420	
CAPÍTULO 21	241
ENSAIO DE FLEXÃO DE UMA VIGA COMO FERRAMENTA PARA O ENSINO DE TRANSFORMAÇÕES DE TENSÕES	
Bruno Eizo Higaki Fernando Cesar Dias Ribeiro Marcello Cherem	
DOI 10.22533/at.ed.73919220421	
CAPÍTULO 22	251
UTILIZAÇÃO DE PROJETOS DE DIMENSIONAMENTO DE ADUTORAS E CANAIS NA DISCIPLINA HIDRÁULICA DO CURSO DE GRADUAÇÃO DE ENGENHARIA CIVIL	
Kelliany Medeiros Costa José Leandro da Silva Duarte Maria Leandra Madeiro de Souza	
DOI 10.22533/at.ed.73919220422	
CAPÍTULO 23	259
MEDIÇÃO DA PRODUTIVIDADE DA EQUIPE DE MANUTENÇÃO ATRAVÉS DA INOVADORA METODOLOGIA SIX SIGMA: UM ESTUDO EMPÍRICO	
André Luis Martins de Souza Pedro de Freitas Silva	
DOI 10.22533/at.ed.73919220423	

CAPÍTULO 24	287
UTILIZAÇÃO DA TÉCNICA DE VELOCIMETRIA POR IMAGENS DE PARTÍCULAS (PIV) PARA O ESTUDO DE DEFORMAÇÕES EM PAINÉIS DE MADEIRA DE <i>PINUS OCCARPA</i>	
Eduardo Hélio de Novais Miranda	
Rodrigo Allan Pereira	
DOI 10.22533/at.ed.73919220424	
SOBRE OS ORGANIZADORES.....	295

CONSTRUÇÃO DE UMA BANCADA DIDÁTICA DE BAIXO CUSTO PARA ENSINO DE SISTEMAS DE CONTROLE

Everton Machado

everton@polo.ufsc.br

Universidade Federal de Santa Catarina

Campus Trindade

CEP 88040-900 – Florianópolis – Santa Catarina.

Alexsandro dos Santos Silveira

alex@polo.ufsc.br

Universidade Federal de Santa Catarina

Campus Trindade

CEP 88040-900 – Florianópolis – Santa Catarina.

João Artur de Souza

jartur@gmail.com

Universidade Federal de Santa Catarina

Campus Trindade

CEP 88040-900 – Florianópolis – Santa Catarina.

RESUMO: Este artigo apresenta a construção de uma bancada didática na área de sistemas de controle objetivando a prática presencial laboratorial. O desenvolvimento do aparato experimental compacto teve como propósito permitir que alunos de cursos como engenharia de controle e automação apliquem seus conhecimentos teóricos na prática. Para tanto, uma revisão na literatura foi realizada e foram analisados trabalhos correlatos que contribuem para o desenvolvimento dessa linha de pesquisa. Em seguida, buscou-se descrever o aparato experimental de forma a detalhar o

funcionamento e cada componente utilizado na montagem, entre estes componentes, destaca-se o uso do microcontrolador Arduino e módulo termoeletrônico de efeito Peltier. Por fim, um controlador proporcional-integral foi projetado para validação do aparato experimental desenvolvido. Como resultado a bancada didática demonstrou ser capaz de avaliar diferentes tipos de controladores, bem como suas características e especificações inerentes aos requisitos de projetos de controle. A facilidade de montagem, manuseio, operação e o baixo custo de implementação são as principais vantagens da bancada didática. Além disso, a bancada pode ser usada como um projeto integrador unindo diversas áreas do conhecimento como eletrônica, mecatrônica e afins.

PALAVRAS-CHAVE: Bancada didática. Ensino de engenharia. Sistema de controle.

CONSTRUCTION OF A LOW COST DIDACTIC BENCH FOR TEACHING CONTROL SYSTEMS

ABSTRACT: This work presents the design, construction and validation of a didactic bench for control engineering courses aiming the laboratory practices. It was developed a compact experimental apparatus for supporting

engineering students to apply their theoretical knowledge in practice. For this purpose, a review in the literature was carried out and related work that contribute to the development of this research field were analyzed. Details of construction, operation and assembly are also provided, including microcontrollers, thermoelectric modules and sensors used in the work. Finally, a proportional-integrative controller was designed for validating the proposed experimental apparatus. As a result, the didactic bench proved to be able to evaluate different types of control structures, with respect to performance requirements and reliability, inherent in control systems projects. The ease of assembly, handling and operation, associated to the low implementation cost make this prototype a powerful teaching tool. In addition, the workbench can be used as integrating project linking several knowledge areas present in engineering courses, such as, electronics, mechanics and software development.

KEYWORDS: Didactic bench. Engineering teaching. Control systems.

1 | INTRODUÇÃO

É notório que as mudanças encontradas nos currículos dos programas de graduação voltados a cursos de engenharia levaram as universidades a buscar soluções inovadoras, afim de aprimorar a formação dos engenheiros. Essas mudanças são decorrentes das alterações propostas na legislação brasileira no ano de 1996, onde foram criadas as diretrizes curriculares que buscam, entre outros fatores, uma forte vinculação entre teoria e prática.

Com esse panorama em voga, esforços estão sendo realizados para encurtar essa distância entre teoria e prática. Para Feisel, (2005) a maior parte da formação do engenheiro ocorre nos laboratórios. Entretanto, o autor considera a falta de objetivos de aprendizagem coerentes para os laboratórios e como essa falta limitou a eficácia dos mesmos e dificultou o desenvolvimento de pesquisas significativas na área de engenharia. Estudos voltados a área de controle de processos e análise de eficiência energética foram desenvolvidos de forma a contribuir nesse contexto. A proposta de Gomes *et al.* (2008) visou a implementação de um laboratório integrado que trabalha de forma aberta, atendendo à graduação, cursos de extensão, pós-graduação e possibilitará a realização de intercâmbios estudantis. O laboratório abrange também uma parte conceitual e uma parte prática, desmembrados em quatro módulos. Inicialmente os alunos começam a associar seus conhecimentos teóricos com as atividades práticas, ocorrendo o primeiro contato com *softwares* supervisórios, sensores, controladores e atuadores, componentes presentes em uma planta industrial. Como resultado o autor espera que o trabalho contribua no desenvolvimento de novos conhecimentos, habilidades e atitudes por parte dos alunos e professores da área de engenharia.

Os *softwares* de projeto assistidos por computadores são poderosas ferramentas usadas nos cursos de engenharia para desenvolvimento e simulação de sistemas de

controle, porém esses ambientes virtuais geralmente abstraem dificuldades práticas encontradas no momento da implementação. Dessa forma, as bancadas didáticas têm um papel fundamental para formação prática do engenheiro, propiciando ao mesmo o contato físico com equipamentos de precisão, e plataformas abertas de baixo custo como o Arduino. Um estudo de caso proposto por Irigoyen *et al.* (2013) compara as plataformas de baixo custo (LEGO (R) MINDSTORM (R) NXT e Arduino) mais usuais para ensino em sistemas de controle dentro das universidades. O estudo revelou dois critérios para inserção das plataformas, sendo o primeiro voltado a percepção do professor com relação a incluir conteúdos mais didáticos, e o segundo voltado a percepção do aluno em adotar plataforma de baixo custo para uso em sala de aula.

Este trabalho apresenta o desenvolvimento de uma bancada didática compacta e de baixo custo para ensino de sistemas de controle. Além disso, um controlador PI foi projetado e implementado para validação da bancada. O artigo está estruturado em cinco seções, sendo a primeira esta introdução. A segunda seção aborda a construção da bancada, a terceira sobre sistema de controles e a quarta trata dos resultados experimentais. Na última seção apresentam-se as considerações finais.

2 | BANCADA DIDÁTICA

A bancada didática conta com um box de isopor de 30cm de largura por 20cm de comprimento onde a temperatura interna é controlada através de um módulo termoelétrico de efeito Peltier. O módulo possui uma potência nominal de 72W e é alimentado com uma fonte de corrente contínua de 12 volts e corrente máxima de 5A. Dois dissipadores de calor foram acoplados ao módulo termoelétrico para realizarem a troca de calor entre o meio externo e interno e posicionados na caixa de maneira que o dissipador, que é mantido em contato com uma das faces do módulo termoelétrico, ficasse totalmente inserido no interior da caixa. A Figura 1 mostra o posicionamento desses componentes.

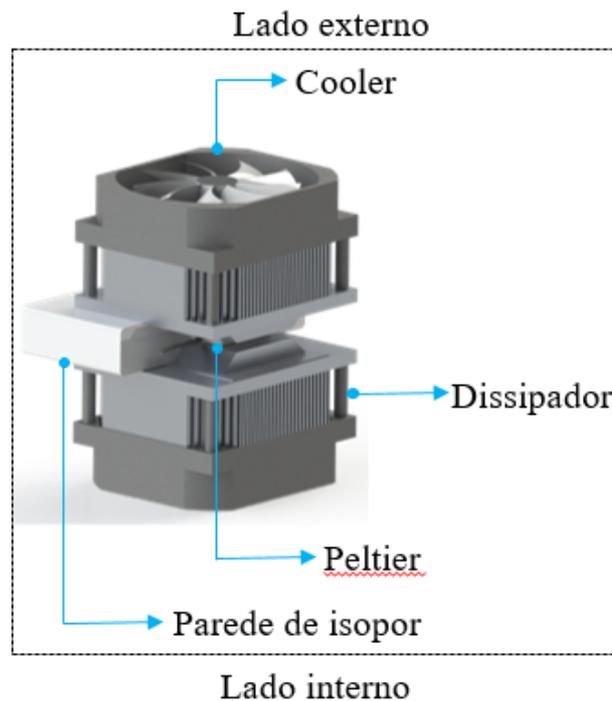


Figura 1 - Posicionamento dos dissipadores de calor.

Fonte: Do Autor.

A medição de temperatura foi realizada através de termistores do tipo NTC. A curva que relaciona a resistência com temperatura foi obtida através da equação de Steinhart-Hart, Equação 1. Os coeficientes foram ajustados com dados fornecidos pelo fabricante do termistor.

$$T^{-1} = A + B \ln(R) + C \ln(R)^3 \quad (1)$$

O controle da temperatura interna da caixa é feito através da inversão das polaridades de tensão aplicada ao módulo termoelétrico. Para isso, foi utilizado um circuito eletrônico do tipo ponte H confeccionado em um conjunto de quatro relés eletromecânicos, disponíveis em uma placa comercial para uso em projetos onde há a necessidade de acionamento de cargas. O acionamento dos pares de relés, bem como a medição de temperatura são feitas através de um microcontrolador Arduino. A Figura 2 mostra o esquemático da ponte H e o módulo comercial usado em sua implementação.

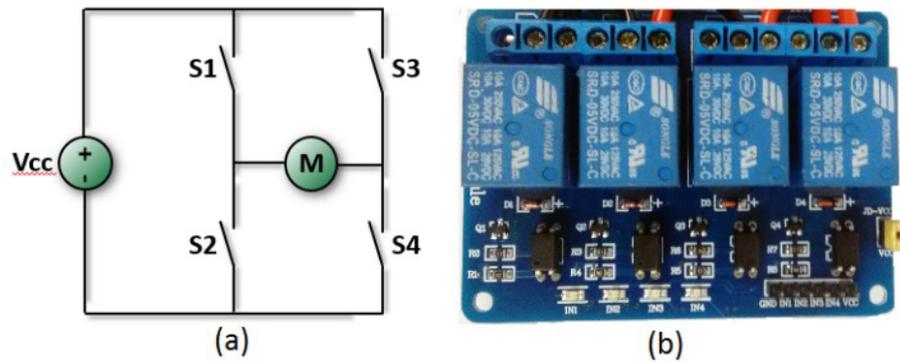


Figura 2 – (a) Esquemático da ponte H; (b) Módulo comercial com 4 relés.

Fonte: Do Autor.

O programa desenvolvido conta com interfaces de comunicação entre o microcontrolador Arduino e o software LabView. Como pode ser observado na Figura 3 o programa contém uma área específica para implementação de sistemas de controle em VI's (*Virtual instruments*).

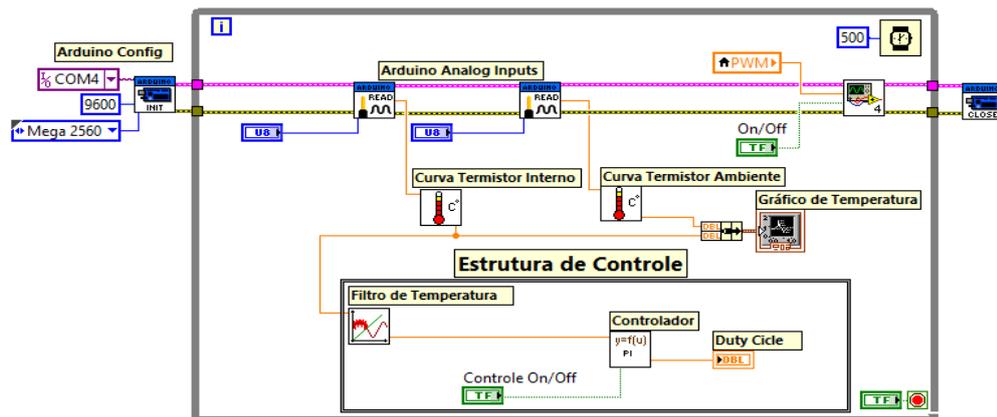


Figura 3 – Programação em LabView®.

Fonte: Do Autor.

A Figura 4 apresenta a bancada didática completa. É importante ressaltar o tamanho compacto da mesma, ideal para espaços reduzidos como laboratórios.



Figura 4 – Bancada didática.

Fonte: Do Autor.

Os custos aproximados de todo o aparato necessário para a elaboração deste protótipo são mostrados na tabela abaixo, podendo variar de acordo com a marca do produto e local de compra.

Dispositivo E/S multifuncional 6003 - National Instruments		Aparato proposto no artigo	
COMPONENTE	PREÇO	COMPONENTE	PREÇO
Placa	R\$2.300,00	Microprocessador	R\$60,00
Módulo ponte H (4 relés)	R\$20,00	Módulo ponte H (4 relés)	R\$20,00
Termistores (2,7 K Ω) - 2un	R\$50,00	Termistores (2,7 K Ω) - 2un	R\$50,00
Resistores (1 K Ω) - 2un	Desprezível	Resistores (1 K Ω) - 2un	Desprezível
Módulo Peltier (72W)	R\$20,00	Módulo Peltier (72W)	R\$20,00
Dissipadores - 2un	R\$30,00	Dissipadores - 2un	R\$30,00
Coolers (12V) - 2un	R\$35,00	Coolers (12V) - 2un	R\$35,00
Total	R\$2.455,00	Total	R\$215,00

Tabela 1 -Tabela de preço.

Fonte: Do Autor.

Percebe-se que a placa representa o custo mais significativo de todos os componentes, fato que pode ser minimizado empregando o módulo Arduino. Para enfatizar isso, o orçamento do lado esquerdo da tabela foi estimado levando em consideração a utilização do dispositivo multifuncional 6003 - NI (*National Instruments*). Tal componente pode ser usado em diversas aplicações de controle pela sua simplicidade de ligação e acionamento de equipamentos. Ele possui 13 E/S digitais, 2

saídas e 8 entradas analógicas (16 bits de resolução).

O Arduino Mega possui 54 E/S digitais (sendo 15 com saída PWM) e 16 entradas analógicas (10 bits de resolução), reduzindo o custo em mais de 10 vezes e possibilitando implementar as mesmas lógicas de controle.

Vale ressaltar que o menor número de bits de resolução não interfere nos resultados de maneira significativa para o objetivo proposto e ambos microprocessadores conseguem se comunicar com o *software LabView*, possibilitando a mesma implementação.

3 | SISTEMAS DE CONTROLE

Para validação da bancada didática proposta, um controlador do tipo proporcional-integral foi desenvolvido. A Subseção 3.1 detalha a obtenção dos modelos matemáticos usados no projeto dos controladores. As subseções seguintes abordam o desenvolvimento do sistema de controle proposto no trabalho.

3.1 Identificação do sistema

A identificação de sistemas visa a obtenção de um modelo matemático que represente de maneira essencial as características de um determinado sistema dinâmico, (Coelho, 2004). O sistema de atuação da bancada didática consiste no chaveamento da polaridade aplicada ao módulo termelétrico. Foi definido um período de 10 segundos com frações de acionamento (*duty cycle*) de 0 a 95%. Assim, variações impostas ao *duty cycle* alteram a fração de tempo em que o módulo termelétrico é mantido aquecendo ou resfriando, alterando assim a temperatura interna da caixa.

Os modelos matemáticos foram obtidos através de modelagem do tipo caixa preta baseada em resposta ao degrau, Figura 5 com variações de *duty cycle* em torno de pontos de operação específicos.

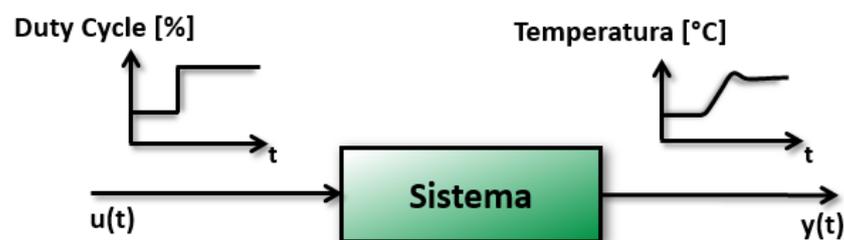


Figura 5 – Identificação de sistemas baseado em resposta ao degrau.

Fonte: Do Autor.

Um modelo de primeira ordem com atraso de transporte (*First Order Plus Dead Time - FOPDT*), Equação 2, foi ajustado através do método de Smith, (Aguirre, 2004).

Foram obtidos quatro modelos para quatro pontos de operação varrendo toda a faixa de temperatura alcançada pela bancada didática.

$$G(S) = \frac{k_i}{\tau_i s + 1} e^{-\theta_i s} \quad (2)$$

Sendo k_i é o ganho estático, τ_i é a constante de tempo e θ_i o atraso de transporte, no ponto de operação i .

A Tabela 1 detalha os valores de ganho estático, constante de tempo e atraso de transporte obtidos em cada um dos quatro pontos de operação.

Ponto de operação	Faixa de temperatura [°C]	k_i	τ_i	θ_i
1	15,0 a 41,0	0,65	286,5	95,5
2	41,0 a 50,0	0,92	333,25	102,15
3	50,0 a 65,0	0,78	310,0	48,5
4	65,0 a 70,0	0,6	438,0	5,5

Tabela 2 – Coeficientes do modelo de primeira ordem para vários pontos de operação

Fonte: Do Autor

A Figura 6 mostra um teste experimental de identificação em torno do ponto de operação 3 variando o *duty cycle* em 10% (de 55% a 65%). Existe uma boa aproximação entre modelo e resposta dinâmica do processo, o que sinaliza que sistema pode ser bem aproximado por um modelo de primeira ordem com atraso de transporte.

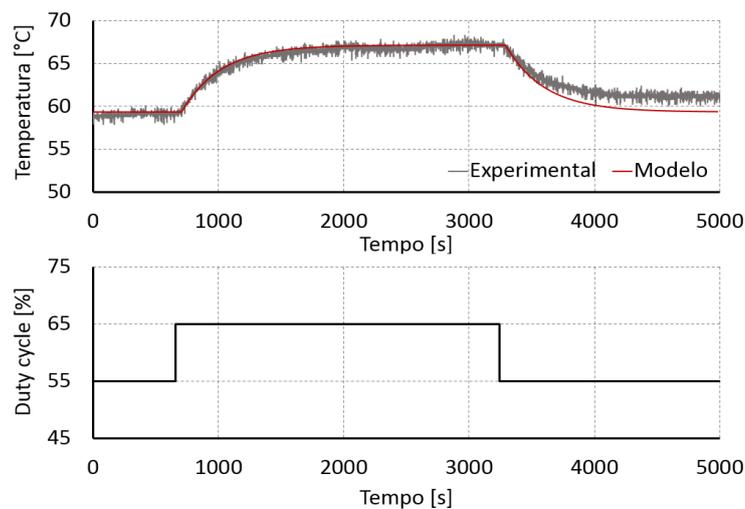


Figura 6 – Comparação entre modelo de primeira ordem e processo real.

Fonte: Do Autor.

3.2 Controlador PI

Para validação da bancada didática um controlador do tipo proporcional-integral foi sintonizado através da técnica de ajuste baseada na estrutura de controle IMC – *Internal model control*. O controlador PI possui uma parcela integral para garantia de erro nulo em regime permanente para referências do tipo constantes, e uma parcela proporcional ao erro, Equação 3.

$$u(t) = k_p \left(e(t) + \frac{1}{t_i} \int_0^t e(t) dt \right) \quad (3)$$

onde k_p é o ganho proporcional e t_i é o ganho integral do controlador. O controlador foi ajustado através da sintonia IMC, tomando como base um modelo médio que leva em consideração os quatro modelos obtidos. Os valores de k_p e t_i são calculados através das Equações 4 e 5.

$$k_p = \frac{2\tau + \theta}{2\lambda K} \quad (4)$$

$$t_i = \tau + \frac{\theta}{2} \quad (5)$$

O valor de λ usado para ajuste do controlador foi de 2,5 com o intuito de fornecer uma resposta mais robusta do controlador. Para implementação em *software*, foi usado uma equação a diferenças, Equação 6, obtida através da discretização por aproximação *tustin* com período de amostragem de 10 segundos.

$$u(k) = u(k-1) + \alpha e(k) + \beta e(k-1) \quad (6)$$

onde $u(k-1)$ é o sinal de controle aplicado no período de amostragem anterior, $e(k)$ o erro atual e $e(k-1)$ o erro anterior. Os coeficientes α e β são apresentados na Tabela 2.

Coeficientes	Valor numérico
α	3,640
β	-3,625

Tabela 3 – Coeficientes da equação a diferenças para o controlador.

Fonte: Do Autor.

A Figura 7 mostra resultados de controle obtidos em simulações e a resposta real do controlador implementado na bancada didática.

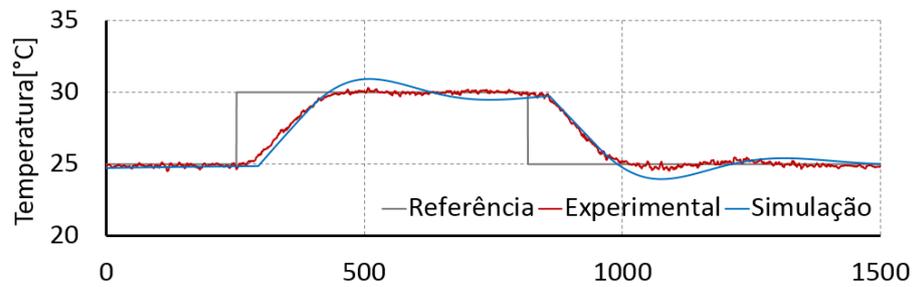


Figura 7 – Validação do controlador proporcional-integral.

Fonte: Do autor.

4 | RESULTADOS

Foram realizados testes experimentais para validação da bancada didática com controle em duas faixas de temperatura a apresenta o sistema de controle atuando em torno de 25°C. No ponto identificado como perturbação, foi feito uma abertura de 30 segundos na caixa. A influência desta abertura é mínima devido a temperatura ambiente onde os testes foram realizados estar próxima a 25°C.

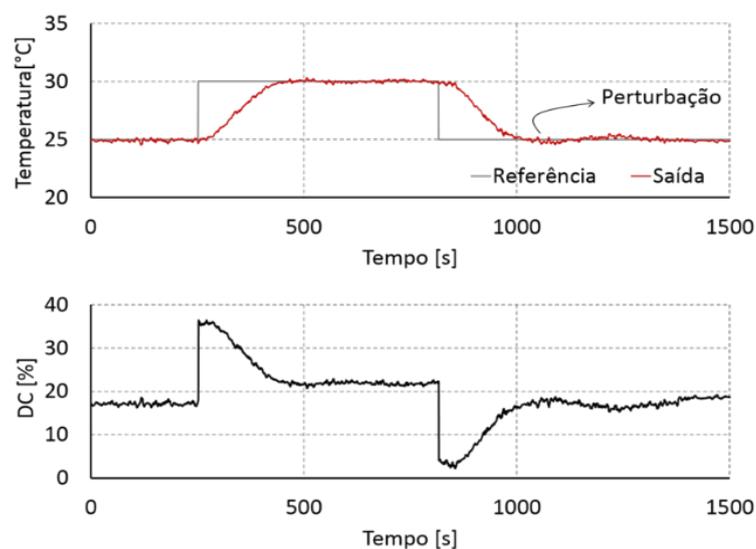


Figura 8 – Teste de seguimento de referência e rejeição de perturbação em torno de 65°C.

Fonte: Do Autor.

A Figura 9 apresenta o segundo teste de validação onde a temperatura interna da caixa foi controlada em torno de 65°C. Neste teste já é possível observar a influência da abertura da caixa na temperatura interna e o sistema de controle atuando para rejeitar essa perturbação.

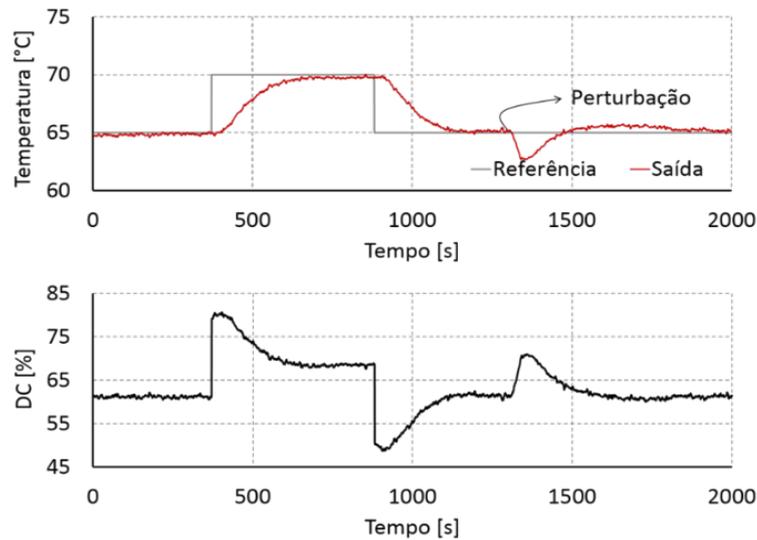


Figura 9 – Teste de seguimento de referência e rejeição de perturbação em torno de 65°C.

Fonte: Do Autor.

Em ambos os testes é possível observar o seguimento de referência, requisito presente na grande maioria dos projetos de sistemas de controle.

5 | CONSIDERAÇÕES FINAIS

Uma bancada didática constituída por componentes de baixo custo, foi desenvolvida e validada através da avaliação de um sistema de controle clássico. O tamanho reduzido e a simplicidade de construção deste aparato experimental o torna ideal para ser implementado em ambientes onde há restrição de espaço como laboratórios e a própria sala de aula. Além disso, a estrutura de *software* permite a implementação de diversos tipos de sistema de controle, desde controladores clássicos até sistemas de controle complexos e mais elaborados.

Os testes experimentais mostraram que o controlador desenvolvido mantém a temperatura interna da caixa em valores de referência definidos pelo usuário e rejeita perturbações de carga em toda a faixa da operação da bancada didática. Embora o sistema possua forte não linearidade, que pode ser observada pela diferença entre os modelos dinâmicos obtidos em diferentes regiões de operação, o controlador projetado através de um modelo médio apresentou bons resultados nas duas faixas extremas de temperatura (25°C e 65°C).

A característica não linear da bancada permite que ela seja usada em aplicações de sistemas de controle lineares, não lineares e técnicas de controle baseadas em inteligência computacional, como sistemas de controle neuro-fuzzy e controladores adaptativos baseados em aprendizado de máquina.

A possibilidade de implementação prática, demonstrou a potência que a bancada didática possui na influência mútua entre teoria e prática, proporcionando aos alunos dos cursos de sistemas de controle a oportunidade de aprimorar seus conhecimentos e

habilidades com um investimento de aproximado de R\$ 215,00, esse custo representa um valor de 10 vezes menos comparado ao NI 6003 que é utilizado com a mesma finalidade em aulas práticas.

Como recomendações para trabalhos futuros sugere-se novas pesquisas relacionadas ao uso de técnicas de boas práticas com ênfase em engenharia e gestão do conhecimento, a fim de intensificar ainda mais o compartilhamento e o fluxo do conhecimento entre professores e alunos.

AGRADECIMENTOS

Esse estudo contou com o apoio do programa EMBRAPPII (POLO/UFSC Laboratórios de Pesquisa em Refrigeração e Termofísica). Os autores também gostariam de expressar sua gratidão ao inestimável apoio do (Núcleo de Estudos em Inteligência, Gestão e Tecnologias para Inovação IGTI/EGC/UFSC) por acreditar e orientar esse trabalho.

REFERÊNCIAS

AGUIRRE, Luis Antonio. **Introdução à identificação de sistemas–Técnicas lineares e não-lineares aplicadas a sistemas reais**. Editora UFMG, 2004.

COELHO, Antonio Augusto Rodrigues; DOS SANTOS COELHO, Leandro. **Identificação de sistemas dinâmicos lineares**. 2004.

FEISEL, Lyle D.; ROSA, Albert J. The role of the laboratory in undergraduate engineering education. **Journal of Engineering Education**, v. 94, n. 1, p. 121-130, 2005.

GOMES, Francisco José; PINTO, Danilo Pereira. Laboratórios Integrados para Controle de Processos e Análise da Eficiência Energética de Sistemas Industriais. In: **Proceedings of the XXXVI Congresso Brasileiro de Educação em Engenharia**. 2008.

IRIGOYEN, Eloy; LARZABAL, Ekaitz; PRIEGO, Rafael. Low-cost platforms used in control education: An educational case study. **IFAC Proceedings Volumes**, v. 46, n. 17, p. 256-261, 2013.

SOBE OS ORGANIZADORES

HENRIQUE AJUZ HOLZMANN Professor da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR). Graduação em Tecnologia em Fabricação Mecânica e Engenharia Mecânica pela Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Mestre em Engenharia de Produção pela Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Doutorando em Engenharia e Ciência do Materiais pela Universidade Estadual de Ponta Grossa. Trabalha com os temas: Revestimentos resistentes a corrosão, Soldagem e Caracterização de revestimentos soldados.

MICHELI KUCKLA Professora de Química na Rede Estadual do Paraná - Secretaria de Estado de Segurança do Paraná. Graduada em Licenciatura Química pela Universidade Estadual do Centro-Oeste (UNICENTRO). Especialista em Educação do Campo pela Faculdades Integradas do Vale do Ivaí. Mestre em Ensino de Ciências Naturais e Matemática pela Universidade Estadual do Centro-Oeste. Doutoranda em Ensino de Ciência e Tecnologia pela Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR). Trabalha com os temas relacionados ao Ensino de Ciência e Tecnologia e Sociedade.

Agência Brasileira do ISBN
ISBN 978-85-7247-273-9

