



DESENVOLVIMENTO DE UMA BANCADA DIDÁTICA DE BAIXO CUSTO E EM ESCALA REDUZIDA PARA O CONTROLE DE NÍVEL, DE TEMPERATURA E DE POSIÇÃO

DOI: 10.37702/2175-957X.COBENGE.2023.4450

Rosiane Ribeiro Rocha - rosiane.rocha@ifes.edu.br
Instituto Federal do Espírito Santo

ROBERTO VASCONCELLOS CAMPOS DE ALMEIDA FILHO -
robertoalmeida.5433@gmail.com
IFES

RAFAEL EMERICK ZAPE DE OLIVEIRA - rafael.emerick@ifes.edu.br
IFES

Resumo: O controle automático de processos engloba uma série de conceitos físicos e matemáticos que devem ser corretamente aplicados para atender as demandas que as empresas exigem, pois os processos são naturalmente dinâmicos e se faz necessário uma tomada de resposta para garantir fatores de segurança, qualidade de produto e taxa de produção. Visto a relevância do estudo de controle automático, ferramentas didáticas capazes de fornecer experiências práticas, como modelagem de processo, sintonia de controladores e análise do comportamento das variáveis manipuladas e controladas, se mostram primordiais na consolidação dos conceitos de controle de processos. Para isso, bancadas didáticas de controle devem ser ofertadas para a realização de estudos, testes práticos e até mesmo para pesquisas voltada para essa área de conhecimento. No entanto, as bancadas disponíveis no mercado costumam ser caras. Consequentemente, as bancadas acabam se tornando restritas nas salas de aula, gerando filas para a utilização, severa supervisão do equipamento e outras situações relacionados com tal problemática. Este trabalho tem o intuito de provar a possibilidade da construção de uma bancada didática de controle robusta e de baixo custo, com três processos distintos, sendo uma para controle de nível, outra para controle de temperatura e outra para controle de posição. A construção da bancada descrita nesse trabalho apresenta uma solução viável e acessível para os estudantes, permitindo a realização de estudos, testes práticos e pesquisas na área de controle de processos. Além disso, a bancada abrange o estudo de diversas disciplinas relacionadas, como eletrônica, comunicação de dados,

protocolos e padrões de redes industriais e instrumentação. Em resumo, o trabalho apresentado é uma contribuição significativa para a área de controle automático, fornecendo uma bancada didática robusta, de baixo custo e acessível, capaz de consolidar os conceitos de controle de processos e auxiliar no desenvolvimento de novas pesquisas e projetos.

Palavras-chave: Bancada Didática, Controle de Nível, Controle de Temperatura, Controle de Posição

DESENVOLVIMENTO DE UMA BANCADA DIDÁTICA DE BAIXO CUSTO E EM ESCALA REDUZIDA PARA O CONTROLE DE NÍVEL, DE TEMPERATURA E DE POSIÇÃO

1 INTRODUÇÃO

Diversas tecnologias utilizadas na maioria dos processos industriais apresentam contribuições das áreas de controle, automação e otimização de processos. As contribuições estão associadas à alta competitividade do mercado, que exigem uma linha de produção rápida, com resultados satisfatórios e sem desperdícios de recursos (ÅSTRÖM e HÄGGLUND, 2006). As tecnologias desenvolvidas na área de controle de processos produzem várias vantagens como: aumento do nível de qualidade dos produtos, minimização da necessidade de reprocessamento de produtos, aumento da confiabilidade dos sistemas e liberação do operador para outras atividades (CAMPOS e TEIXEIRA, 2006).

Dentro deste contexto, a necessidade da formação de uma mão de obra especializada na área de controle de processos industriais, justifica o aumento dos cursos tecnológicos oferecidos pelas instituições de ensino e no investimento de laboratórios para ministrar disciplinas relacionadas a área de controle de processos (THOMAS, PASSOS E QUADROS, 2010).

O processo de aprendizagem em cursos da área tecnológica está intimamente relacionado aos recursos didáticos utilizados pelo corpo docente. Durante o período do curso profissionalizante, os alunos se deparam com diversos conceitos novos, e muitos estudantes apresentam dificuldades de compreensão dos novos conteúdos. Com o intuito de minimizar esses inconvenientes, e buscar formas didáticas e práticas de visualizar os conceitos vistos nas aulas teóricas, os recursos didáticos podem complementar o ensino e construir o conhecimento de forma mais fácil e sólida. Além disso, as aulas práticas utilizando bancadas didáticas, máquinas, ferramentas, entre outros, dão a oportunidade ao aluno de interagir com instrumentos e processos específicos relacionados à sua futura atuação profissional. Dentro deste contexto, esta pesquisa propõe o projeto e construção de uma bancada didática para controle de nível, de temperatura e de posição de um sistema compacto, com o intuito de simular, em laboratório, um processo industrial, proporcionando aos alunos, desta forma, uma visão mais próxima à realidade.

Acrescenta-se que além do estudo de controle de processos, a presente bancada abrange o estudo de diversas disciplinas, como eletrônica, redes de integração, com uma variedade de padrões industriais de comunicação como também de instrumentação.

A seguir tem-se os materiais utilizados na construção da bancada didática com três processos distintos (de nível, de temperatura e de posição). Os aspectos construtivos da bancada são detalhados, assim como o sistema de comunicação. Ao final do artigo tem-se a discussão dos resultados obtidos.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

A parte inicial do projeto consistiu na pesquisa bibliográfica sobre as bancadas, buscando as ideias, as melhorias que poderiam ser implementadas e ainda acompanhar trabalhos que poderiam ser publicados com assuntos de interesse. Entre as várias publicações analisadas, destacam-se as bancadas de controle nível e temperatura de

HOTZ (2014), a bancada de controle de nível de ALPI (2016) e o supervisório desenvolvido por FERNANDES (2012).

Em seguida, definiu-se como seriam as plantas e suas características físicas para que pudessem ser projetadas de forma a atender o que se desejava. A primeira planta é um sistema tubular para controle de posição de uma bola de isopor, ou seja, a variável controlada é a posição da bola, medida por um sensor ultrassônico, e a manipulada é a tensão aplicada no cooler.

Um sistema de controle de nível consiste na segunda planta, onde tem-se um reservatório comum com a terceira planta (de temperatura) para armazenar água e um tanque cuja vazão de saída é variável. O controle é feito manipulando a tensão da bomba d'água com o objetivo de manter o nível do tanque (variável controlada) constante no ponto desejado medido por um sensor ultrassônico.

Por fim, a terceira planta é de controle de temperatura de água, onde o tanque é alimentado com água proveniente do reservatório. A variável manipulada é a tensão nos terminais dos ebulidores térmicos e a controlada é a temperatura da água, cujo elemento de medição é um sensor subaquático de temperatura.

As plantas descritas foram projetadas e dimensionadas em escala reduzida e, a partir de um desenho, foram encomendadas em uma empresa especializada em trabalhos com acrílico. Além disso, uma estrutura retangular em madeira foi elaborada para dispor as plantas de acrílico na parte de frente, e na parte de trás, foi construído um degrau, onde seriam alocados os itens eletrônicos do projeto.

A seguir, tem-se a lista de materiais necessários para a construção da bancada proposta e nas próximas seções tem-se uma breve descrição dos principais elementos que compõem os três sistemas.

- 2 Tanques e 1 Reservatório de acrílico conjugado;
- 1 Estrutura Tubular de acrílico;
- 2 Bombas de água automotiva 12V;
- 2 Ebulidores de água 12V;
- 1 Cooler 12V;
- 2 Mangueiras de 50 cm;
- 1 Válvula Solenoide 1/2"127V;
- 1 Fonte 12V 30A;
- 2 Torneiras 1/2";
- 4 Microcontroladores Esp32;
- 2 Sensores Ultrassônicos HC-SR04;
- 2 Sensores de Temperatura DS18B20

2.1 Estruturas de acrílico

A planta de posição consiste em uma estrutura de acrílico tubular para o controle de posição de uma bola de isopor no seu interior, no qual é fixada a uma base, que contém um cooler e na parte superior, um suporte com o elemento de medição.

As outras duas plantas envolvem a utilização de água, então foi conveniente anexar dois tanques (um para o controle de nível e outro para controle de temperatura) a um mesmo reservatório para fornecimento da água. Vale destacar que a planta de temperatura possui na sua tampa furos para que o vapor de água saia do tanque e a planta de nível, possui na tampa uma estrutura para anexar o elemento de medição.

2.2 Microcontrolador ESP32

O microcontrolador escolhido para o projeto foi o ESP32, pela sua versatilidade na interface com instrumentos analógicos, devido aos conversores Digital-Analógico (DAC) e Analógico-Digital (ADC) com boas resoluções para as necessidades de instrumentação das plantas didáticas, além de ter um processador robusto capaz de atender a demandas paralelas de atuação e supervisão de processos. Cabe destacar os recursos embutidos de comunicação embarcada e de redes, como conectividade Bluetooth e Wifi, o que possibilita experiência de aquisição e envio de dados a nuvem.

Além disso, o ESP32 possui diversos outros recursos embarcados, como sensor de temperatura e de toque, no entanto, tais recursos não serão discutidos no escopo desse trabalho. Vale destacar que a programação da ESP32 é feita no ambiente de desenvolvimento integrado (IDE, do inglês, *Integrated Development Environment*) do Arduino.

2.3 Elementos de medição

Os elementos de medição são primordiais para que um processo seja monitorado e controlado, uma vez que eles são responsáveis por fornecer o estado da variável controlada. Dessa maneira, podemos verificar se ela coincide com o valor desejado (*set point*), ou quão distante ela está deste valor, para então efetuar uma ação controladora. Para o presente projeto, precisa-se medir e monitorar a temperatura da água, o nível de uma coluna d'água e a altura de uma bola de isopor dentro de um tubo de vento, ou seja, necessita-se de sensores de temperatura para uma planta e sensores de distância para as outras duas.

Sensor ultrassônico

Em duas plantas do projeto será necessário a utilização de sensores capazes de medir distância. O sensor ultrassônico HC-SR04 foi escolhido por ser de baixo custo e por apresentar resolução de 3mm, que é compatível com as demandas do projeto.

O sensor HC-SR04 tem um ângulo de efeito de 15° consegue medir distâncias que variam entre 2 e 400 cm. Além disso, como as suas dimensões são pequenas (45mm x 20mm x 15mm), ele é perfeitamente implementável nas plantas de acrílico.

Sensor subaquático de temperatura

Um aspecto importante do projeto é a escolha do sensor para a planta de temperatura, que deve ser à prova d'água. O sensor de temperatura à prova d'água escolhido foi o DS18B20. O sensor de temperatura conta com precisão não só em ambiente seco como também em ambientes úmidos e molhados.

Além disso, o sensor de temperatura DS18B20 pode efetuar leituras com precisão de até 0,5 °C e enviar as informações para o microcontrolador utilizando apenas um fio. Vale destacar a faixa de operação de tensão é de 3 a 5,5V e a faixa de medição de temperatura é de -55 °C a +125 °C.

2.4 Elementos finais de controle

Os elementos finais de controle são aqueles responsáveis por manipular a variável do processo até que atinjam e mantenham seu valor desejado. Para o projeto, temos três elementos de controle, a bomba d'água, para o controle do nível, o ebulidor, para aquecer a água na planta de temperatura, e o cooler, para manter a bola de isopor na altura almejada.

Fan cooler

Para o controle de vazão de ar no tubo é necessário um ventilador, para isso, foi escolhido um resfriador de gabinete para computador, mais conhecido como *fan cooler*, cujo acionamento é dado com 12V.

Bomba de água

Duas bombas serão utilizadas para alimentar o tanque de temperatura e para realizar o controle de nível no outro tanque, ambos com a água proveniente do reservatório. Para tal, foi escolhida a moto bomba para esguicho no para-brisa, com uma saída, 12V, modelo DK812 marca Drift. No entanto, qualquer bomba automotiva para o mesmo fim pode ser utilizada na construção da bancada.

Ebulidor

Para realizar o aquecimento da água no tanque de temperatura, foi escolhido o modelo ebulidor automotivo da marca Aquece Já, com potência de 120w 12/24V. Serão necessários dois ebulidores para que o calor seja dissipado mais rápido e o mais uniforme possível.

2.5 Sistema de Comunicação

A bancada didática proposta é composta por três plantas, logo é necessário estabelecer uma boa comunicação de dados para que o sistema de controle consiga trabalhar de forma eficiente. Apesar da conectividade Wifi disponível no microcontrolador ESP32 escolhido, é importante também que a bancada permita a prática de ensino por meio de redes seriais de comunicação, que ainda são comuns em plantas industriais e são excelentes recursos de aprendizagem para problemáticas relacionadas à problemas de transmissão e conceitos básicos de comunicação de dados. Com isso, a planta pode ser utilizada para integrações de aplicações modernas, como também para estudo de conceitos básicos de comunicação e transmissão de dados de tempo síncrono e aplicações de tempo real. Para viabilizar a comunicação serial.

O sistema de comunicação Mestre-Escravo foi implementado utilizando o meio físico em rede serial RS485. Optou-se por manter um dispositivo Mestre para centralizar a interface de supervisão e comandos, e um dispositivo escravo implementando ações de controle de tempo crítico para cada planta. Com isso, um barramento serial interliga os

dispositivos de controle da planta ao dispositivo principal, que centraliza as ações integração com outros sistemas, interfaces de comandos e sensoramento

Com o objetivo de organizar o desenvolvimento do projeto, temos a implementação da lógica por software e a montagem dos dispositivos, descritas nos subtópicos abaixo.

2.6 Software e Protocolo Desenvolvido

A programação da ESP32 foi feita na IDE do Arduino, selecionando a placa "DOIT ESP32 DEVKIT V1" para realizar a comunicação serial entre o computador e a placa. O desenvolvimento do software foi realizado em duas vertentes, a do mestre, cujo objetivo é enviar comandos de leitura e escrita para os escravos, obter suas respectivas respostas e exibi-las na tela do computador, e a do escravo, cujo papel é enviar os dados quando solicitado pelo mestre. Um protocolo básico de comunicação foi desenvolvido na comunicação para fins de prova de conceito. Outros protocolos legados e comerciais, como Modbus ou OPC DA/UA, poderiam ser utilizados, porém optou-se inicialmente em utilizar um protocolo de aquisição e comandos desenvolvido para facilitar prototipação das diferentes plantas didáticas, que possuem diferentes restrições de tempo de atuação. O protocolo estabelecido é explicado a seguir sucintamente.

Mestre

O *setup* do mestre é basicamente iniciar a comunicação serial com os escravos e com o computador, e mantém o *enable* em nível baixo. Além disso, ele aciona um diodo emissor de luz (LED, do inglês *Light-Emitting Diode*) que indica que a placa está ligada. Para a estruturação dos dados, foi utilizada a biblioteca <ArduinoJson.h>.

Quando em *loop*, os dados são encapsulados em três partes (identificação do escravo, *set point* e valor da variável) e transmitidos no pacote "*Json*". Durante a transmissão, o *enable* é acionado realizando a transmissão. Em seguida, o controle de acesso ao meio é feito de forma não orientada à conexão, ou seja, depois do comando dado pelo mestre, espera-se 15 milissegundos, caso não haja resposta, o dado é enviado ao próximo escravo, caso o mesmo ocorra com o escravo seguinte, o mestre continua o ciclo de envio de comandos. No entanto, se houver resposta, a verificação de erro é feita através do próprio "*Json*". Se não houver erro, o dado é exibido na tela do PC.

Escravo

O escravo tem basicamente a função de responder o comando do mestre. A programação *setup* se dá mesma maneira que o mestre, sendo *enable* desabilitado e LED de indicação de dispositivo ligado. A diferença está na identificação do escravo, onde foram definidas três identidades, chamadas de ID's, escravo 1, 2 e 3.

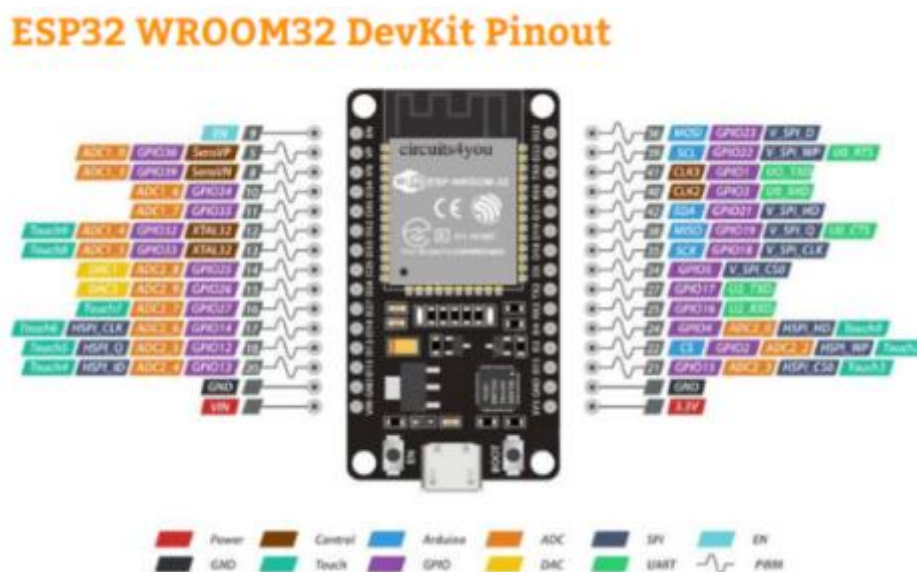
Já dentro do *loop*, ocorre a verificação de erro na chegada dos dados. Se estiver conforme, o escravo observa se a mensagem foi endereçada a ele através da comparação da identidade. Se o mestre estiver comunicando com o escravo em questão, ele receberá o sinal de controle, escreverá o valor da variável de processo no campo devido e enviará ao mestre.

2.7 Hardware

Os primeiros testes foram efetuados em circuitos montados em protoboard, com o intuito de verificar o ideal funcionamento do conjunto, para em seguida, construir uma placa com circuito impresso com os componentes agrupados. Na etapa de testes, o esquemático de pinagem do microcontrolador apresentado na Figura 1 foi utilizado para determinar o uso correto das portas GPIOs (do inglês, *General Purpose Input/Output*). A seguir tem-se a listagem dos componentes utilizados na placa de dados:

- 4 microcontroladores ESP32 DEVKIT V1;
- 4 Transceivers MAX485;
- 8 LEDs;
- 8 Diodos;
- 8 Resistores 1k Ω ;
- 8 Bornes de saída.

Figura 1 – Esquemático da pinagem da ESP32.



Fonte: acervo dos autores.

Ainda se faz necessário uma placa de potência, responsável por acionar os elementos de controle, uma vez que eles demandam tensões e correntes muito superiores aos fornecidos pelo microcontrolador. Então, com uma fonte de corrente contínua de 12V e o sinal de controle como entradas, desenvolveu-se uma placa capaz de acionar os elementos de controle baseada no chaveamento de transistores, listados a seguir:

- 3 Resistores de 470 Ω ;
- 3 Resistores de 2k2 Ω ;
- 3 Resistores de 10k Ω ;
- 6 Transistor Mosfet IRF 3205;
- 6 Transistor BJT BC547;
- 6 Diodos;

- 6 Bornes de saída com 2 portas;
- 3 Bornes de entrada com 3 portas.

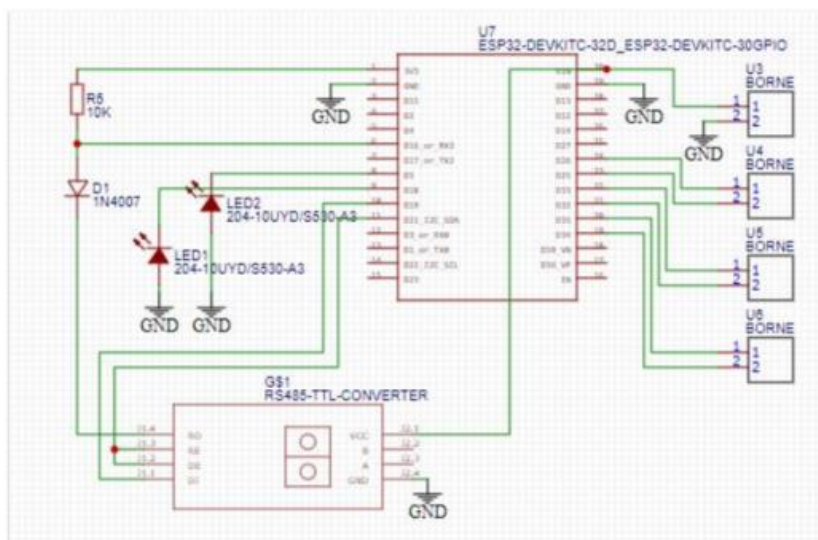
O circuito relacionado à comunicação dos dados é dividido em basicamente duas partes, a primeira conta com o circuito de comunicação, através das portas RX e TX, responsáveis por receber e enviar os dados da ESP32 e de uma porta denominada *enable*, que habilita e desabilita a comunicação. Como tal comunicação na ESP32 é TTL, é necessário converter para o padrão RS485, então foi utilizado o Transceiver MAX485, que é um módulo que permite a interface de um microcontrolador com o RS485. Além disso, é preciso tratar a alimentação do módulo em relação ao microcontrolador, uma vez que o módulo opera com tensão de 5V e as portas RX e TX com 3,3V. A saída escolhida para solucionar a problemática foi adicionar um diodo e um resistor como divisor de tensão. A outra parte consiste em conectar portas digitais para acionamentos dos LEDs de indicação. Vale ressaltar que o circuito para o mestre e para os escravos são os mesmos, e que para tornar uma placa em escravo, basta adicionar o sensoramento na saída dele.

Já o circuito responsável por acionar os elementos de controle oferecendo a demanda de potência exigida pelos mesmos é composto por uma simples lógica de chaveamento entre transistores, primeiro em potência mais baixa e em seguida, um pouco mais alta. Um ponto a se observar é que para facilitar o desenvolvimento do projeto optou-se por fabricar três placas coringas, ou seja, qualquer uma das placas funciona para qualquer uma das plantas. Portanto, para que isso fosse possível, dimensionou-se o projeto da placa de potência para atender a planta que consome mais energia, a de temperatura.

Circuito Impresso

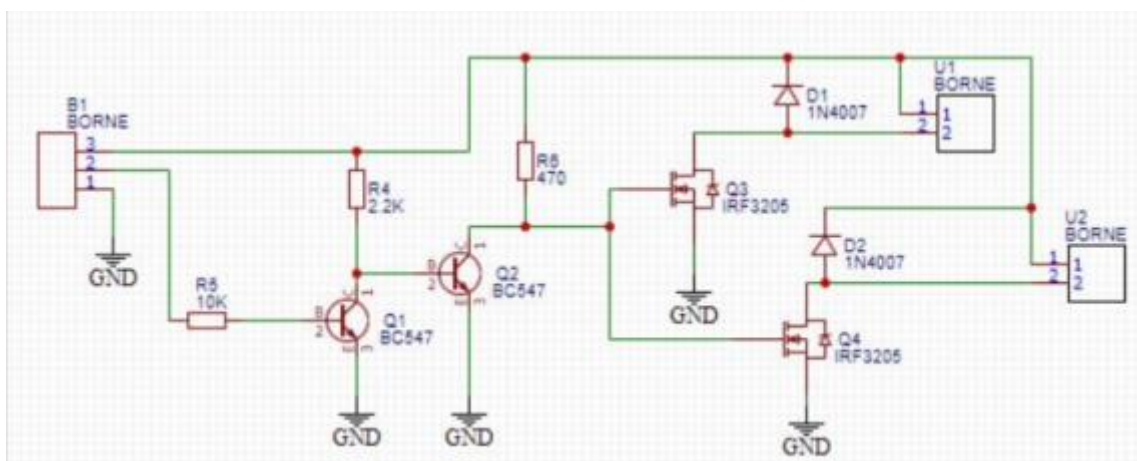
Uma divisão de circuitos foi realizada nesta etapa com o intuito de separar os canais de dados dos condutores de potência, para tal, projetou-se uma placa de circuito impresso de dados e outra de potência. A placa de dados contém o microcontrolador e o elemento de transmissão de dados serial, conforme pode ser visto na Figura 2, já a placa de potência receberá os sinais de controle e fornecerá para a planta a tensão e corrente exigidas pelos elementos de controle, conforme apresentado na Figura 3. Depois de constatar através de simulações e testes em protoboard que os circuitos funcionaram conforme esperado, duas placas de circuito impresso foram desenvolvidas em um simulador de circuitos.

Figura 2 – Esquemático da placa de dados.



Fonte: autoria própria.

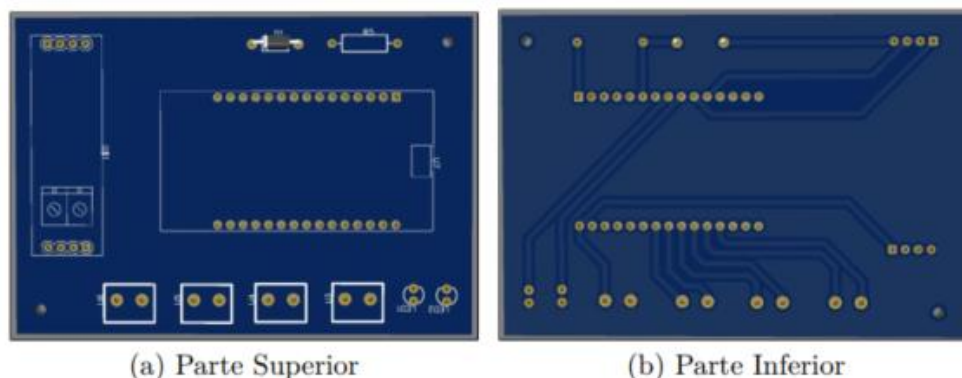
Figura 3 – Esquemático da placa de potência.



Fonte: autoria própria.

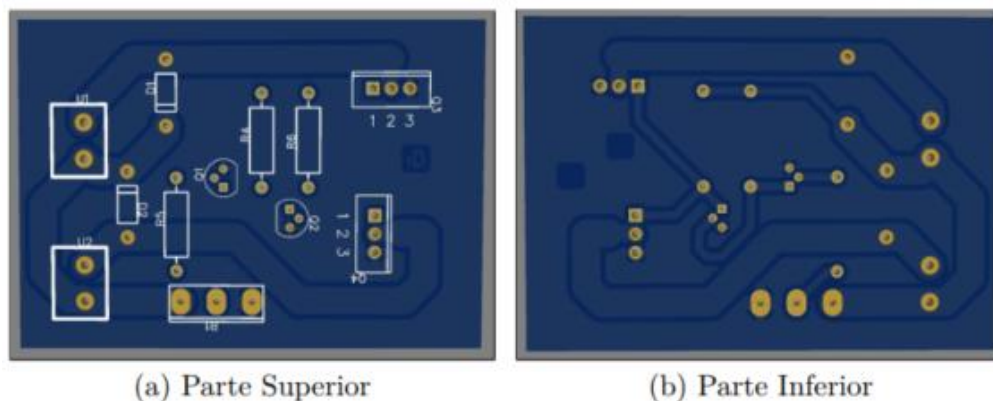
Ambas as placas foram projetadas para atuar em qualquer planta, visando a intercambialidade em caso de necessidade. No entanto, a placa de dados, Figura 4, não precisou ser dimensionada conforme as plantas, apenas de acordo com o padrão usado, com trilhas apenas na parte inferior, Figura 4b, e componentes na superior, Figura 4a. Porém, a placa de potência teve de ser projetada para suportar a de maior carga, os ebulidores. Através de cálculos, constata-se que a corrente que passará pelas trilhas será de 10A. Então a placa de potência, mostrada na Figura 5, conta com trilhas na parte superior, Figura 5a, e inferior, Figura 5b.

Figura 4 – Placa de Dados.



Fonte: autoria própria.

Figura 5 – Placa de Potência.



Fonte: autoria própria.

Os projetos das placas de circuito impresso de dados, Figura 5, e de potência, Figura 6, foram enviados para fabricação na China pela empresa JLCPCB2. As etapas seguintes consistiram na soldagem dos componentes nas placas e na montagem da bancada didática com todos os outros materiais citados anteriormente.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

O resultado é uma bancada didática robusta, apresentada na Figura 6, em escala reduzida e que abrange diversas frentes de estudo, mesmo que a principal seja voltada para o controle de processos. A motivação do projeto consiste no estudo de controle, como modelagem, métodos de sintonia de controladores, análise dos elementos de um sistema de controle, dentre outros. No entanto, outros interessantes estudos podem ser feitos utilizando a bancada, como o estudo de protocolos de redes e comunicação de dados.

Figura 6 – Bancada Didática: (a) vista frontal e (b) em perspectiva.



Fonte: autoria própria.

Além da construção da bancada didática, foi desenvolvido uma interface homem-máquina, conforme mostrada na Figura 7, que apresenta os valores instantâneos das variáveis temperatura, nível e posição, bem como a evolução dessas variáveis ao longo do tempo.

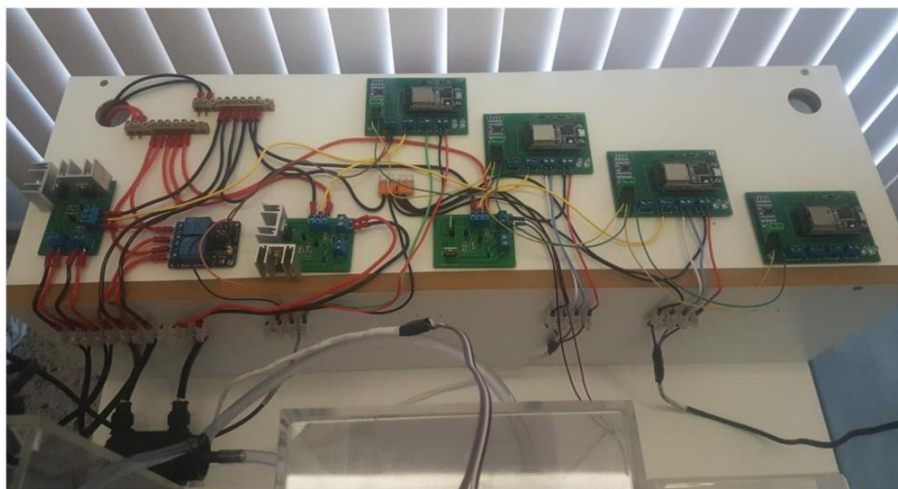
Figura 7 – Interface Homem Máquina da bancada didática.



Fonte: autoria própria.

A bancada foi desenvolvida bem modulada, ou seja, permite que melhorias sejam feitas, que dispositivos possam ser substituídos facilmente, sem perder as características de funcionamento, como pode ser visto na Figura 8.

Figura 8 – Divisão de circuitos e eletrônica.



Fonte: autoria própria.

4 CONCLUSÃO

A construção da bancada descrita nesse trabalho apresenta uma solução viável e acessível para os estudantes, permitindo a realização de estudos, testes práticos e pesquisas na área de controle de processos. Além disso, a bancada abrange o estudo de diversas disciplinas relacionadas, como eletrônica, comunicação de dados, protocolos e padrões de redes industriais e instrumentação.

Em resumo, o trabalho apresentado é uma contribuição significativa para a área de controle automático, fornecendo uma bancada didática robusta, de baixo custo e acessível, capaz de consolidar os conceitos de controle de processos e auxiliar no desenvolvimento de novas pesquisas e projetos.

Uma das ideias da bancada é conseguir utilizá-la de forma remota em trabalhos futuros e com os acontecimentos atuais decorrentes da pandemia, observa-se a necessidade de oferecer recursos educacionais que possam ser acessados à distância. Logo, a bancada didática construída tem um grande potencial para contornar problemáticas como a pandemia e, para situações normais, abranger um maior número de alunos no estudo de controle de processos e matérias afins.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao IFES pelo apoio concedido.

REFERÊNCIAS

ALPI, Lucas Brollo. **Desenvolvimento de uma Planta Didática para o Controle de Nível de Tanque Acoplados**. 2016. Trabalho de conclusão de curso (Graduação) – Curso de Engenharia de Computação. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2016. Disponível em: <https://lume.ufrgs.br/handle/10183/150947>. Acesso em: 11mai.2023.

ÅSTRÖM, Karl J.; HäGGLUND, Torre. **Advanced PID Control**. Instrument Society of America, 2006.

CAMPOS, Mario Cesar M. Massa de; TEIXEIRA, Herbert C. G. **Controles típicos de equipamentos e processos industriais**. São Paulo: Editora Edgard Blücher, 2006.

FERNANDES, Thiago; ASSIS, Wânderson de Oliveira; COELHO, Alessandra Dutra. **Um Weblab para uma Planta de Controle de Nível e Temperatura**. In: CONIC - SEMESP - 2011 - Congresso Nacional de Iniciação Científica, 2012, Santos. Anais. Santos. Disponível em: <https://maua.br/files/122014/um-weblab-para-uma-planta-de-controle-de-nivel-e-temperatura.pdf>. Acesso em: 11mai.2023.

HOTZ, Jéssica dos Santos. **Bancada Didática para Controle de Nível e Temperatura**. 2014. Trabalho de conclusão de curso (Graduação) – Curso de Engenharia Eletrônica. Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Toledo, 2014. Disponível em: <http://repositorio.utfpr.edu.br/jspui/handle/1/15829>. Acesso em: 11mai.2023.

SMITH, Carlos A.; CORRIPIO, Armando. **Princípios e Prática do Controle Automático de Processos**. 3. ed., Rio de Janeiro: LTC, 2008.

THOMAS, Wallas Gusmão.; PASSOS, Rogério; QUADROS, Marco Antonio Souza Leite **Modelagem de uma planta industrial didática multivariável e não linear**. In: 9th IEEE/IAS International Conference on Industry Applications, 2010, São Paulo. Anais.

DEVELOPMENT OF A LOW-COST AND SMALL-SCALE TEACHING BENCH FOR LEVEL, TEMPERATURE, AND SPEED CONTROL

Abstract: Automatic process control encompasses a series of physical and mathematical concepts that must be correctly applied to meet the demands that companies require, as processes are naturally dynamic and it is necessary to respond to ensure factors of safety, product quality, and production rate. Given the relevance of the study of automatic control, didactic tools capable of providing practical experiences, such as process modeling, controller tuning, and analysis of the behavior of manipulated and controlled variables, are essential to consolidate process control concepts. For this purpose, didactic control benches must be offered for studies, practical tests, and even research aimed at this area of knowledge. However, the benches available on the market tend to be expensive. Consequently, the benches end up being restricted in the classrooms, generating queues for use, severe supervision of the equipment, and other situations related to such problematic. This work aims to prove the possibility of building a robust and low-cost didactic control bench, with three distinct processes, one for level control, another for temperature control, and another for position control. The construction of the bench described in this work presents a viable and accessible solution for students, allowing for studies, practical tests, and research in the field of process control. In addition, the bench covers the study of various related disciplines, such as electronics, data communication, industrial network protocols and standards, and instrumentation. In summary, the presented work is a significant contribution to the area of automatic control, providing a robust, low-cost, and accessible didactic bench, capable of consolidating process control concepts and assisting in the development of new research and projects.

Keywords: didactic bench, level control, temperature control, position control.