



## Bancada Didática para Controle de Nível em um Sistema de Quatro Tanques Acoplados

DOI: 10.37702/2175-957X.COBENGE.2024.4916

**Autores:** GERONIMO BARBOSA ALEXANDRE, GIUSEPPE MANOEL DANTAS MELO, HERILIANY IASMIM DE SOUSA

**Resumo:** O presente artigo visa descrever o processo de desenvolvimento de uma bancada didática constituída de um sistema de quatro tanques acoplados, abordando diversas ferramentas e tecnologias para controle da mesma. Foi utilizado o ambiente de programação online MIT App Inventor, para desenvolvimento da supervisão remota via bluetooth. A metodologia utilizada para o desenvolvimento da bancada didática se baseou nas seguintes etapas: (a) Projeto da bancada didática; (b) desenvolvimento e conexão do App Bluetooth no ambiente MIT App Inventor. A arquitetura de software, baseou-se no modelo mestre-escravo, no qual o microcontrolador Arduino Mega 2560, é considerado o componente principal e os demais, sensores, atuadores e shields, são os escravos da rede de comunicação. A supervisão foi de baixo custo, por fornecerem dados confiáveis e ser de fácil instalação. Os controles ON-OFF foram projetados e validados para as malhas de nível e temperatura, apresentando boa precisão e operacionalidade. Os resultados experimentais do produto didático demonstram o potencial no processo de ensino-aprendizagem, podendo ser usada como uma ferramenta de combate à evasão / retenção dos alunos no nível técnico e de graduação.

**Palavras-chave:** Protótipo didático, Aplicativo mobile, Nível; Temperatura.

# BANCADA DIDÁTICA PARA CONTROLE DE NÍVEL EM UM SISTEMA DE QUATRO TANQUES ACOPLADOS

## 1 INTRODUÇÃO

A engenharia trata de aplicar conhecimento científico para o benefício da humanidade. E neste sentido tem-se o engenheiro de sistemas de controle que visa aplicar o conhecimento para realizar o controle dos sistemas a sua volta, objetivando contribuir com a sociedade fornecendo produtos úteis e econômicos (DORF; BISHOP, 2001).

Assim, instituições de ensino de Engenharia, Controle e Automação vêm buscando desenvolver plantas pilotos com o objetivo de familiarizar seus estudantes com os diversos tipos de sistemas de controles e supervisão encontrados no meio industrial. Tendo em vista que nos dias atuais (2024), sistemas de supervisão local e remotos são cada vez mais presentes na indústria, possuindo sua devida importância na automatização operacional dos processos realizados. De acordo com Campos e Teixeira (2006): “Historicamente o uso de controladores clássicos tem solucionado grande parte dos problemas de controle em processos industriais”. Dessa forma, com o avanço das tecnologias, foram desenvolvidas ferramentas de supervisão e protocolos de comunicação sem fio, por meio de softwares e aplicativos conectados à rede, que integram diversos tipos de controle, responsáveis por sensores e atuadores a fim de controlar variáveis como temperatura, nível, vazão, dentre outros, vinculados a processos com tanques acoplados.

Um modelo comum para uma planta de quatro tanques acoplados é composto de um reservatório de água, duas bombas que transportam a água do reservatório para os tanques e válvulas ajustáveis entre as bombas e os tanques. Os tanques superiores drenam água diretamente para os tanques inferiores. Podem haver sensores de nível nos quatro tanques ou apenas nos tanques inferiores, cujos níveis respondem a cada uma das bombas em atuação. Deste modo, a convergência entre o sistema de supervisão local e a bancada de quatro tanques acoplados se mostra totalmente eficaz, tendo em vista que são problemáticas reais da indústria aos quais o futuro profissional da área estará submerso. (BARCELLOS, 2016).

Em COCOTA, *et al* (2014), é apresentado um sistema de quatro tanques acoplados utilizando canos PVC, montados na parte frontal de um painel de acrílico, configurados de modo que o fluxo a partir do tanque superior possa fluir para dentro do tanque inferior. O nível da água em cada tanque é medido utilizando-se um sensor de pressão piezoresistivo situado na parte superior do tanque. Além da bancada foi desenvolvido um sistema de supervisão e controle usando o MATLAB da MathWorks.

Em LIRA (2023) é construída e validada uma bancada de dois tanques acoplados, onde foram utilizados materiais de baixo custo e a placa Arduino UNO R3 como *hardware* de controle, neste trabalho os valores de nível nos tanques são mensurados e disponibilizados em tempo real na *interface* PLX-DAQ da Parallax integrada ao MS Excel.

No trabalho de BASÇI e DERDIYORK (2016) é apresentada a modelagem e a simulação de um sistema de dois tanques acoplados, sendo o utilizada a técnica de controle PID *Fuzzy* para gestão das malhas de nível, sendo feito o *Hardware-in-the-Loop* (HIL), onde a planta é real e o controle é virtual, implantado em computador via Simulink do MATLAB. Neste trabalho é usado a bancada didática da Quanser (Coupled Tanks- Quanser).

Em GALINDO e ALEXANDRE (2020) é desenvolvido um sistema de acoplamento dos tanques superiores sem interferência no fluxo de água nos tanques inferiores, neste trabalho foi usado materiais de baixo custo para o protótipo, a placa Arduino MEGA 2560 com plataforma de aquisição de dados e transmissão de dados via o módulo HC-05 para o aplicativo de celular que fora projetado e validado para comunicações móveis.

A bancada de tanques acoplados desenvolvida pelos pesquisadores do IFPE tem como principal objetivo auxiliar no processo de ensino-aprendizagem na graduação em engenharia elétrica, tendo em vista que, os estudantes estarão submersos a processos reais vivenciados na indústria e terão subsídio para resolução de tais problemas.

Neste contexto o objetivo do trabalho será apresentar os detalhes do desenvolvimento da bancada didática, bem como o processo de criação do sistema de supervisão via aplicativo Bluetooth para plataforma Android.

## 2 MATERIAIS E MÉTODOS

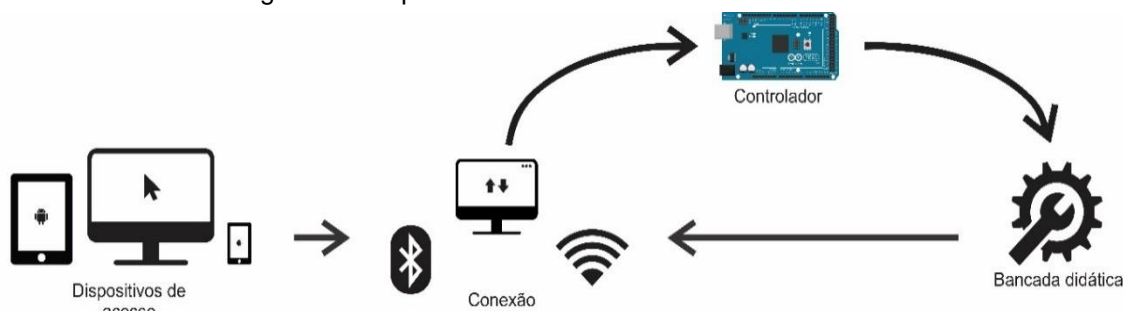
A pesquisa realizada é do tipo pesquisa de campo com natureza exploratória e descritiva com abordagem quantitativa. A pesquisa exploratória de acordo com VERGARA (2014), propicia um entendimento melhor da problemática da pesquisa, melhorando a compreensão acerca do fenômeno. As abordagens do problema nas pesquisas científicas são caracterizadas por dois tipos: a pesquisa quantitativa e pesquisa qualitativa. Nesta pesquisa, optou-se por uma abordagem qualitativa, pois segundo MALHOTRA (2010, p. 113) "esse tipo de abordagem proporciona melhor visão e compreensão do problema".

Inicialmente foi feita a revisão bibliográfica nas seguintes plataformas acadêmicas: IEEE Explorer Digital Library, Periódico Capes e Google Acadêmico, dessa pesquisa foram escolhidos alguns artigos que servirão de base do projeto (SERAPHIM, 2008), (KUMAR, *et al*, 2023), (FREITAS, 2019) e (JARDIM, 2019). Em seguida foi elaborado os desenhos 2D e 3D do protótipo bem como a lista de material com o respectivo orçamento.

### 2.1 Construção da Bancada Didática

Após a revisão bibliográfica e o estudo dos tipos de controle que seriam implementados, foi dado início ao processo de construção da bancada didática de quatro tanques acoplados, para fins de controle de nível e temperatura. O Arduino Mega 2560, é um microcontrolador de *hardware* livre baseado em linguagem C++, e é o principal componente da bancada, caracterizando-se como componente mestre, da configuração mestre-escravo.

Figura 1 – Arquitetura de software da bancada didática.



Fonte: Autores (2024).

Dessa forma, os sensores e atuadores (componentes escravos) são conectados ao Arduino Mega e executam as ações pré-definidas no ambiente de programação do mesmo, a partir dos comandos enviados através do sistema supervisorio ou do aplicativo mobile e

dos dados recebidos dos sensores. A arquitetura de acesso remoto a bancada é ilustrada na Figura 1.

Previamente, após instalação dos softwares necessários, foram feitas as conexões dos sensores e atuadores a serem utilizados na bancada didática e foram realizados testes com componentes físicos, como os *push buttons*, para acionamento dos atuadores, escolha dos melhores componentes para tal aplicação, e a validação do código estruturado no ambiente de programação. Vale ressaltar que o Arduino Mega 2560, se comportou de forma satisfatória se mostrando um controlador eficiente no processamento de dados e para desenvolvimento do projeto.

## 2.2 Desenvolvimento da Aplicativo de Supervisão Mobile

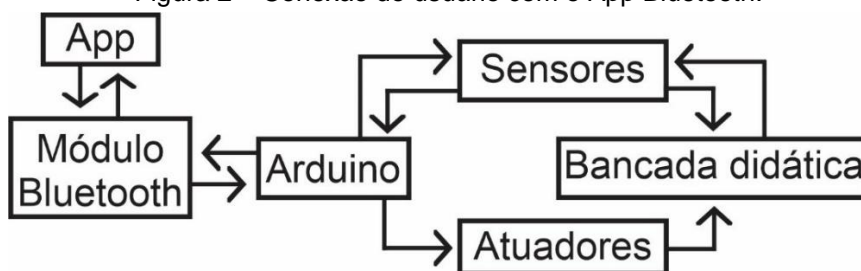
O aplicativo foi desenvolvido na plataforma *online* MIT App Inventor, baseada em linguagem Java, que se caracteriza por ser um ambiente de programação de fácil entendimento. A *interface* gráfica do MIT App Inventor permite que o usuário use o mouse para arrastar e soltar os componentes do aplicativo, que são posicionados diretamente na tela do celular, além dos comandos e funções, que são formados por uma linguagem visual que lembra peças de um quebra-cabeça.

As telas são configuradas na aba *Designer* e são organizadas através dos componentes disponíveis no *Menu* de blocos. Um sistema de *login* foi implementado para impossibilitar o uso de mais de um dispositivo conectado à bancada, garantindo assim segurança ao usuário que estiver controlando a bancada.

Foi utilizado o módulo Bluetooth HC-05 para interfacear com o Arduino, por ser um *hardware* fácil de usar e prototipar, é de baixo custo e facilmente encontrado no mercado. Este módulo pode trabalhar tanto em modo mestre (faz e aceita pareamento com outros dispositivos) como no modo escravo (apenas aceita pareamento).

A interação do usuário com o aplicativo pode ser ilustrada no diagrama de blocos da Figura 2. O acesso pode ser por qualquer dispositivo móvel com arquitetura Android que tenha conexão Bluetooth.

Figura 2 – Conexão do usuário com o App Bluetooth.



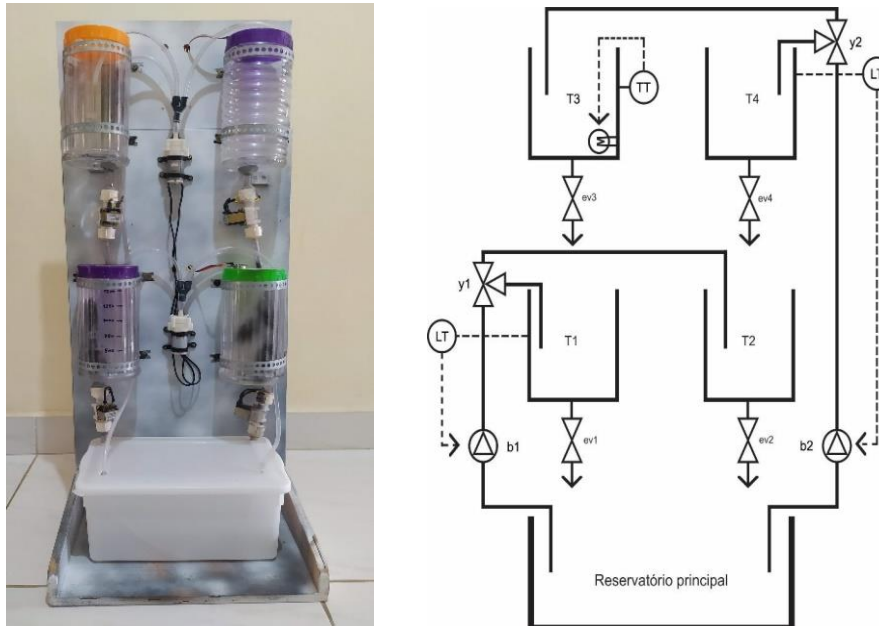
Fonte: Autores (2024).

Uma limitação da plataforma MIT App Inventor é que não é possível disponibilizar um gráfico para o usuário na tela do App, apenas é informado o valor das medições no instante atual. Esta limitação pode ser corrigida se migrar o App desenvolvido para o Google Firebase associado ao ambiente App Engine do Google Cloud Platform.

## 3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Na Figura 3 é ilustrada a bancada didática de quatro tanques acoplados confeccionada e instalada no Laboratório de Ensino de Controle e Automação (LCA) do Instituto Federal de Pernambuco - Campus Garanhuns (IFPE-GAR).

Figura 3 – Bancada didática de quatro tanques acoplados. Onde T= tanque, B= bomba, TT= sensor de temperatura, LT, sensor de nível, EV – eletroválvula, Y- dreno.



Fonte: Autores (2024).

O protótipo é composto por um controlador Arduino Mega 2560, dois módulos relé 5V, dois tanques inferiores e dois superiores com capacidades individuais de 1500 ml. Um sensor de temperatura DS18B20, módulo Dimmer PIC MC-8A, um ebulidor elétrico 220V no tanque principal para controle de temperatura, placa de alimentação 12 V, 2 mini bombas 12 V R385 e quatro válvulas solenoide 12 V, também acoplam a bancada didática.

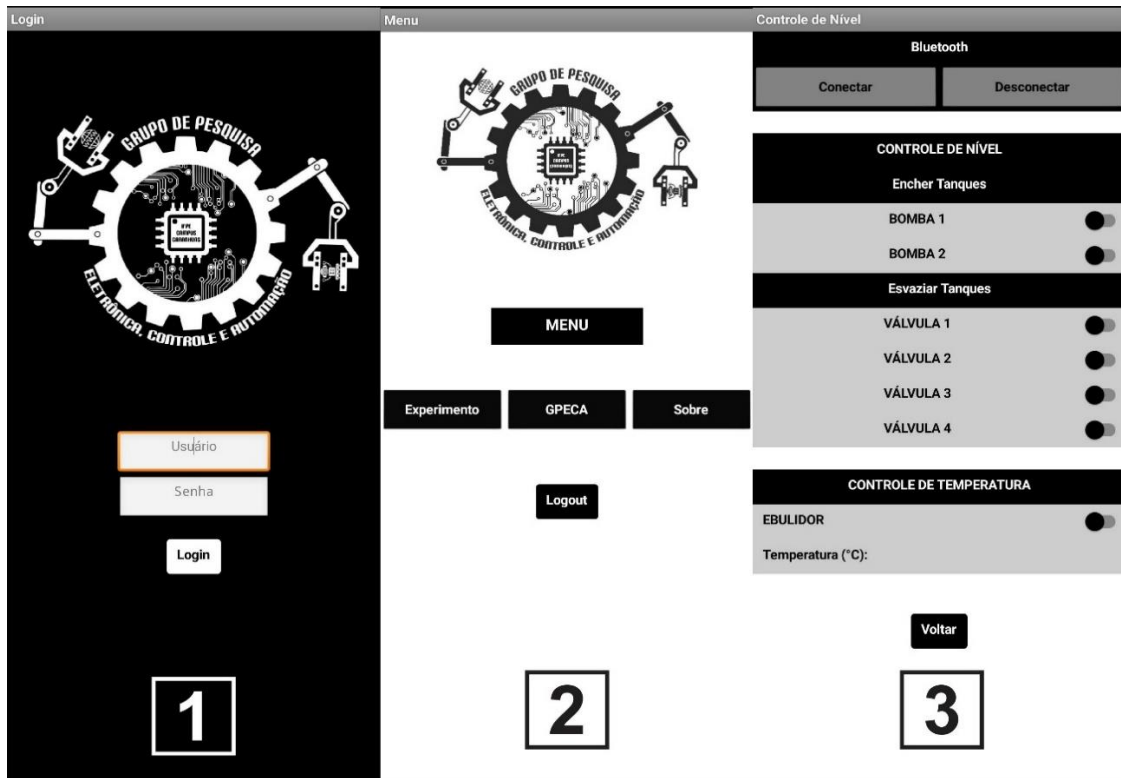
As operações realizadas no protótipo correspondem a programação definida pelo programador/usuário da mesma, no nosso caso a um controle de nível e temperatura de fluidos, viabilizando processos realizados em indústrias do ramo.

Inicialmente o controle de nível seria realizado por meio de sensores para se ter uma eficácia maior do processo, porém vale salientar que o modelo dos sensores ultrassônicos (HC-SR04) escolhidos não tem uma aplicabilidade durável no protótipo, por se tratar do uso contínuo de água e os mesmos sofrerem uma rápida corrosão, o que impossibilita sua funcionalidade.

Dessa forma, foi necessário estudar outras maneiras de baixa custo para se fazer este tipo de controle e mensurar tais dados. Após algumas pesquisas foi implementado um temporizador relacionado a quantidade de nível do fluido, tendo em vista que a bomba leva um determinado tempo para encher determinado volume nos tanques. Feito isto, após estabelecida a relação de tempo/volume por meio de uma regra de três simples no código do Arduino, o usuário escolhe a quantidade de nível que deseja em seus tanques através do sistema de supervisão SCADA (do inglês, *Supervisory Control and Data Acquisition*) e assim as bombas levam água até os tanques. Para esvaziar os mesmos, basta acionar as eletroválvulas até que os tanques sejam esvaziados.

O controle de temperatura implementado caracteriza-se como um controle em malha aberta que é de fácil implementação e consiste em aplicar um sinal de nível lógico baixo ou alto (liga-desliga) na entrada do sistema, esperando-se que na saída a variável controlada consiga atingir uma determinada temperatura e apresente um determinado comportamento desejado. Assim, o sensor de temperatura faz inúmeras leituras e compara ao sinal de saída do módulo dimmer e ebulidor elétrico.

Figura 4 – Conexão do usuário com o aplicativo Bluetooth.



Fonte: Autores (2024).

Na Figura 4 é ilustrada as telas (1, 2 e 3) do aplicativo mobile desenvolvido para o comando e a supervisão do protótipo didático. Inicialmente o usuário, baixa o aplicativo disponível no Play Store Google, em seguida instala no seu dispositivo, ao clicar duas vezes no App instalado, abrirá a Tela 1, a tela de login e cadastro de usuários.

Após realizar o login, o usuário é direcionado a tela de Menu (Tela 2), a qual estão dispostos botões para acesso as telas do “Experimento”, “GPECA” (trará detalhes sobre o grupo de pesquisa) e “Sobre” (informações / ajuda sobre o App). Na tela de Experimento (Tela 3), o usuário conectará seu dispositivo ao módulo Bluetooth e terá acesso aos dados mensurados pelo sensor de temperatura e poderá acionar os diversos atuadores presentes na bancada didática.

Ao selecionar o *switch* para ligar um dos componentes da bancada, o aplicativo envia um caractere para a porta de comunicação serial do Arduino, onde está conectado o módulo Bluetooth. Este comando enviado caracteriza-se como uma *string*, que altera o nível lógico da porta em que os componentes estão conectados.

Dessa forma, ao selecionar os *switches* dispostos na seção “encher tanques”, é disparado um temporizador que mantém as bombas acionadas até que os tanques sejam cheios. Os *switches* das eletroválvulas são acionados para que os tanques sejam esvaziados. Por fim, o *switch* do ebulidor aciona um controle de temperatura em malha aberta, que integrado a um sensor de temperatura, mantém o controle funcionando até que o mesmo chegue a uma determinada temperatura, a qual é mostrada em tempo real no aplicativo. Na Figura 5 é ilustrado a medição de temperatura durante o aquecimento do tanque inferior (principal).

Figura 5 – Medição de temperatura no Aplicativo.



Fonte: Autores (2024).

Durante os testes experimentais de validação do Aplicativo desenvolvido na operação do processo didático foi observado um atraso no envio / recebimento dos dados de aproximadamente 2 (dois) segundos, sendo um tempo insignificante quando comparado com a dinâmica da planta térmica (minutos).

Além da aplicação local via Bluetooth desenvolvido foi confeccionado um guia descrevendo o passo-a-passo da programação executada para uso por outros alunos e/ou Instituições de Ensino, o guia está disponível na página eletrônica do Orientador do trabalho.

O uso desse tipo de sistema de supervisão é uma realidade nas indústrias e com o advento da tecnologia sem fio isso tende a ganhar ainda mais espaço, garantindo assim o baixo custo e a modernização da rotina industrial. Dessa forma, tem-se cada vez mais a importância de o futuro profissional da área ter habilidade e contato com essas tecnologias desde a graduação em atividades teóricas e práticas de laboratório.

As principais dificuldades encontradas foram: leituras de diagramas elétricos, programação em C para o microcontrolador, dinâmica lenta das eletroválvulas e conhecimentos em montagens de circuitos eletroeletrônicos.

A bancada didática confeccionada e validada está instalada no Laboratório de Ensino em Controle e Automação (LCA) do IFPE Campus Garanhuns, sendo utilizada para as práticas de laboratório das disciplinas da ênfase de Controle e Automação do Curso Bacharelado em Engenharia Elétrica. Destacamos alguns experimentos que são realizados na bancada: Modelagem matemática do processo, caracterização de sensores e atuadores, linearização da planta em um ponto de operação, identificação de sistemas multivariáveis, projeto e sintonia de controladores, e supervisão local e/ou remota de dados.

## 4 CONCLUSÕES

A bancada didática de tanques acoplados desenvolvida possibilitou explorar conceitos de programação (linguagem C e Java) e de sistemas de supervisão SCADA local usados nas indústrias. O protótipo construído e validado apresentou dados confiáveis e precisão nas medições, apesar de serem utilizados sensores de baixo custo; sendo uma ferramenta didática de apoio ao ensino-aprendizagem no ensino da Graduação em Engenharia Elétrica. O diferencial do produto está na operação e supervisão remota dos dados medidos e na disponibilidade das medições para qualquer usuário com acesso ao sistema supervisor, seja por computadores ou dispositivos móveis ou para qualquer usuário conectado ao aplicativo, quando conectado por dispositivos móveis com arquitetura Android. O sistema apresentou baixo custo quando comparado com os modelos comerciais, apresentando boa precisão e robustez.

Como trabalhos futuros sugere-se: (a) Construção da supervisão remota dos dados, por meio de website; (b) confecção e integração de outras bancadas didáticas para simular uma cadeia de um processo industrial maior; (c) divulgação do produto nas feiras de tecnologias locais.

## AGRADECIMENTOS

Ao Instituto Federal do Pernambuco Campus Garanhuns.

## REFERÊNCIAS

Apresentadas em ordem alfabética e de acordo com a ABNT NBR 6023.

### **Livros:**

Um autor:

MALHOTRA, Naresh. **Pesquisa de marketing: foco na decisão**. 3ª Edição. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2011.

VERGARA, Sylvia Constant. **Projetos e Relatórios de Pesquisa em Administração**. 15ª Edição. Atlas, 2014.

Dois autores:

DORF, R. C.; BISHOP, R. H. **Sistemas de Controle Moderno**. 8ª Edição, Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos, 2001.

### **Artigos de periódicos:**

BASCI, A. & DERDIYOK. Implementation of an adaptive fuzzy compensator for coupled tank liquid level control system. **Measurement**. Volume 91, September 2016, Pages 12-18. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.measurement.2016.05.02>.

### **Monografias, dissertações e teses:**

BARCELLOS, Felipe Marinho. **Instrumentação e Controle de Planta Piloto industrial de Quatro tanques acoplados**. Trabalho de Graduação em Engenharia de Controle e Automação. Universidade de Brasília, Faculdade de Tecnologia. Brasília, 2016. Disponível em: [http://www.ene.unb.br/estognetti/files/TG-Filipe\\_Barcellos.pdf](http://www.ene.unb.br/estognetti/files/TG-Filipe_Barcellos.pdf). Acesso em: 13/05/2024.

FREITAS, Bruna Silva. **Controle de nível de dois tanques acoplados com implementação de controle proporcional e integral em controladores lógicos programáveis**. Trabalho de Conclusão de Curso em Engenharia de Controle e Automação. Universidade Federal de Ouro Preto. Ouro Preto -MG, 2019. Disponível em: [https://www.monografias.ufop.br/bitstream/35400000/5605/1/MONOGRRAFIA\\_ControlaN%C3%ADvelDois.pdf](https://www.monografias.ufop.br/bitstream/35400000/5605/1/MONOGRRAFIA_ControlaN%C3%ADvelDois.pdf). Acesso em: 13/05/2024.

JARDIM, Izaac Vieira. **Sistema Didático de Controle de Nível em Tanques Acoplados**. Trabalho de Conclusão de Curso em Engenharia Elétrica. Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória - ES, 2019. Disponível em: [https://ele.ufes.br/sites/engenhariaeletrica.ufes.br/files/field/anexo/projeto\\_de\\_graduacao\\_i\\_i\\_izaac\\_vieira\\_jardim.pdf](https://ele.ufes.br/sites/engenhariaeletrica.ufes.br/files/field/anexo/projeto_de_graduacao_i_i_izaac_vieira_jardim.pdf). Acesso em: 13/05/2024.

LIRA, Hiarley Martins. **Sistema didático de tanques acoplados para ensino de controle e automação**. Trabalho de Conclusão de Curso (Tecnologia em Automação Industrial).



Instituto Federal da Paraíba, Cajazeiras-PB. 2023. Disponível em: <https://repositorio.ifpb.edu.br/jspui/handle/177683/2956>. Acesso em: 15/07/2024.

SERAPHIM, André Luís. **Modelagem e Controle de Nível em um Sistema de Dois Tanques Acoplados**. Trabalho de Conclusão de Curso em Engenharia Elétrica. Universidade São Francisco, Itatiba-SP. 2008. Disponível em: <https://lyceumonline.usf.edu.br/salavirtual/documentos/1593.pdf>. Acesso em: 14/05/2024.

### **Trabalhos em eventos**

COCOTA, J. A. N. J.; MONTEIRO, P. M. B.; VIANA, L. M.; MEIRELES, L. V. O Sistema de Controle de Nível de Tanques no Ensino de Graduação. In: XI Congresso de Tecnología, Aprendizaje y Enseñanza de la Electrónica, 2014. **Anais**. Disponível em: <https://taee.etsist.upm.es/actas/2014/papers/2014S7AA03.pdf>. Acesso em: 13/05/2024

KUMAR, *et al.* Level Control of Coupled Tank System using Fuzzy PI Feedforward Technique. **Proceedings**: 2023 5<sup>th</sup> International Conference on Energy, Power and Environment: Towards Flexible Green Energy Technologies (ICEPE). DOI: <https://ieeexplore.ieee.org/document/10201596>. Acesso em: 10/07/2024.

GALINDO, J. M. S & ALEXANDRE, G.B. Aplicativo Bluetooth de Supervisão Mobile para Operação de uma Bancada Didática. In: X Conferência Nacional em Comunicações, Redes e Segurança da Informação, Natal-RN, 2020. pg. 40-41. **Anais**. Disponível em: [https://iecom.org.br/encom2020/autores.html#anais\\_sec](https://iecom.org.br/encom2020/autores.html#anais_sec). Acesso em: 10/07/2024.

### **Internet:**

Arduino. **Download IDE Arduino**. Acesso em: <https://www.arduino.cc/en/software>.

MIT App Inventor. **App Inventor get started**. Acesso em: <https://appinventor.mit.edu/explore/get-started>.

## **DIDACTIC PROTOTYPE FOR LEVEL CONTROL IN A SYSTEM OF FOUR COUPLED TANKS**

**Abstract:** *This paper aims to describe the process of developing a didactic prototype consisting of a system of four coupled tanks, addressing various tools and technologies for controlling it. The MIT App Inventor online programming environment was used to develop remote supervision via Bluetooth. The methodology used to develop the didactic product was based on the following steps: (a) Design of the didactic bench; (b) development and connection of the Bluetooth App in the MIT App Inventor environment. The software architecture was based on the master-slave model, in which the Arduino Mega 2560 microcontroller is considered the master component and the others, sensors, actuators and shields, are the slaves of the communication network. The supervision was low cost, as it provided reliable data and was easy to install. The ON-OFF controls were designed and validated for level and temperature loops, presenting good precision and operability.*

**Keywords:** *Didactic prototype, Mobile application, Level; Temperature.*

