



Universidade Federal de Sergipe

Centro de Ciências Agrária Aplicadas

Departamento de Engenharia Agrícola

ADSON ANDRADE BARROS

PLANTA DIDÁTICA PARA MONITORAMENTO E CONTROLE DE NÍVEL EM TANQUES ACOPLADOS COM SENSORES DE BAIXO CUSTO

Trabalho de Conclusão de Curso

São Cristóvão - SE

2025

ADSON ANDRADE BARROS

**PLANTA DIDÁTICA PARA MONITORAMENTO E CONTROLE DE
NÍVEL EM TANQUES ACOPLADOS COM SENSORES DE BAIXO
CUSTO**

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado ao Departamento de
Engenharia Agrícola da Universidade
Federal de Sergipe, como requisito parcial
para a obtenção do título de Bacharel em
Engenharia Agrícola.

Orientador: Dr. Mário Cupertino da Silva
Júnior

Trabalho de Conclusão de Curso

São Cristóvão - SE

2025

BANCA EXAMINADORA

Avaliador (Dr. Douglas Romeu da Costa)

Avaliador (Dr. Cícero Renê Almeida Barboza Júnior)

Avaliador (Dr. Ariovaldo Antônio Tadeu Lucas)

Orientador (Dr. Mário Cupertino da Silva Júnior)

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, por ter me dado coragem e forças para não desistir diante das dificuldades que surgiram ao longo da minha trajetória acadêmica.

Aos meus pais, por toda a educação que me proporcionaram e por sempre me mostrarem o melhor caminho a seguir. Sem o apoio e os valores que me ensinaram, essa conquista não seria possível.

À minha esposa, por saber lidar comigo nos momentos de sobrecarga, por sua paciência, compreensão e apoio incondicional. Sua presença foi essencial para que eu mantivesse o equilíbrio e seguisse em frente.

Aos meus amigos, que sempre torceram pelo meu sucesso e me incentivaram nos momentos mais desafiadores. A amizade e o companheirismo de vocês foram combustíveis para seguir adiante.

Agradeço a todos os professores do Departamento de Engenharia Agrícola da Universidade Federal de Sergipe pela excelência e qualidade técnica, que foram fundamentais para o meu desenvolvimento profissional e pessoal.

Em especial, gostaria de agradecer aos professores Douglas Romeu da Costa e ao meu orientador Mário Cupertino da Silva Júnior, pela contribuição acadêmica, pela relação de amizade construída e pelo apoio emocional que generosamente me ofereceram nos momentos mais difíceis.

Ao professor Cícero Renê Almeida Júnior, pela incrível didática, pela dedicação e pela paixão com que transmite seus conhecimentos.

Ao professor Ariovaldo Antônio Tadeu Lucas, pela paciência e pela constante disposição em compartilhar sua experiência de forma generosa e acessível, contribuindo significativamente para minha formação.

Ao professor Raimundo Rodrigues Gomes Filho, pela dedicação em compartilhar seus conhecimentos de forma tão excepcional, sempre com clareza, sensibilidade e compromisso com o aprendizado dos alunos.

Aos técnicos Wendel Massaranduba (Engenheiro Agrônomo) e Thiago Herbert (Engenheiro Civil), pelo entusiasmo em transmitir seus conhecimentos e pela colaboração prática e enriquecedora durante minha jornada acadêmica.

Por fim, agradeço a todos que, direta ou indiretamente, contribuíram para que minha trajetória universitária se concretizasse na realização de um grande sonho.

RESUMO

O monitoramento e controle de nível de líquidos é uma ação importante para processos automatizados em sistemas agrícolas, como irrigação e fertirrigação, evitando problemas como transbordamentos, paradas imprevistas de produção e garantindo a continuidade segura das operações. Este trabalho apresenta o desenvolvimento de uma planta didática para monitoramento de nível entre dois tanques, utilizando sensores de nível digitais, do tipo chave boia, sensores de nível analógicos, do tipo ultrassônicos e três atuadores, sendo duas bombas de 19W e 12Vcc e uma válvula solenoide também de 12Vcc. Utilizou-se um microcontrolador arduino UNO para efetuar toda a gestão de comunicação entre os dispositivos, calibração da instrumentação e automação para controle do nível entre os dois tanques. Também foi desenvolvida uma interface gráfica, em um software do tipo SCADA, para favorecer a visualização automática e controle da planta didática, por um operador humano. A proposta deste trabalho teve como objetivo principal criar uma planta didática de comunicação entre dois tanques de forma a favorecer o monitoramento e controle dos níveis de um fluido nos dois tanques, de modo a evitar o transbordamento de líquido e o funcionamento das bombas a vazio. A ideia é que a planta didática sirva para observações teóricas e práticas, em escala de bancada, da dinâmica de fluidos entre 2 tanques com diferentes alturas, sendo os fluxos de líquido gerados por bombas. Diversos testes foram realizados e os resultados mostraram que a integração de todos os componentes e sistemas funcionou, possibilitando estudo prático da dinâmica de fluidos. Os intertravamentos programados evitaram os transbordos nos dois tanques e não deixaram a bomba trabalhar a seco, ou seja, sem água na tubulação, na condição abaixo do nível mínimo. O protótipo construído mostrou seu potencial e utilidade, abrindo caminhos para vários trabalhos futuros, seja na diversificação da automação, seja nas ações de controle nível e/ou de vazão entre os dois tanques, promovendo uma condição favorável de testes práticos, para observações de estudos teóricos, principalmente, no que tange a dinâmica de fluidos entre dois tanques. Espera-se que esses estudos e implementações, possam no futuro, ajudar na busca por maior eficiência no uso da água e segurança no gerenciamento de líquidos.

ABSTRACT

Liquid level monitoring and control is an important action for automated processes in agricultural systems, such as irrigation and fertigation, avoiding problems such as overflows and unexpected production shutdowns, and ensuring the safe continuity of operations. This work presents the development of a teaching system for level monitoring between two tanks, using digital float switch level sensors, analog ultrasonic level sensors, and three actuators: two 19W, 12V DC pumps and a 12V DC solenoid valve. An Arduino UNO microcontroller was used to manage all communication between the devices, calibrate the instrumentation, and automate level control between the two tanks. A graphical interface was also developed in SCADA software to facilitate automatic visualization and control of the teaching system by a human operator. The main objective of this work was to create a teaching system for communication between two tanks to facilitate the monitoring and control of fluid levels in both tanks, thus preventing liquid overflow and pumps from running dry. The idea is that the teaching system will serve as a bench-scale tool for theoretical and practical observations of fluid dynamics between two tanks of different heights, with the liquid flows generated by pumps. Several tests were performed, and the results showed that the integration of all components and systems worked, enabling practical study of fluid dynamics. The programmed interlocks prevented overflows in both tanks and prevented the pump from running dry—that is, without water in the piping, below the minimum level. The prototype demonstrated its potential and usefulness, paving the way for several future projects, whether in the diversification of automation or in level and/or flow control between the two tanks. It provides a favorable environment for practical testing and for observing theoretical studies, particularly regarding fluid dynamics between two tanks. It is hoped that these studies and implementations will, in the future, contribute to the pursuit of greater water efficiency and safety in liquid management.

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	9
2	OBJETIVOS.....	11
2.1	OBJETIVO GERAL.....	11
2.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	11
3	MATERIAL E MÉTODOS.....	12
3.1	PLANTA DIDÁTICA.....	12
3.2	SENSORES E ATUADORES.....	16
3.3	MICROCONTROLADOR.....	20
3.4	SOFTWARES – IDE ARDUINO E ELIPSE E3.....	21
3.5	AJUSTES DE ESCALAS E CALIBRAÇÕES.....	25
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	31
4.1	COMPARAÇÃO COM OUTROS TRABALHOS.....	36
5	CONCLUSÕES.....	38
6	SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS.....	39
7	REFERÊNCIAS.....	40
8	ANEXOS.....	44
8.1	ANEXO I: CÓDIGO DA PROGRAMAÇÃO NO ARDUINO.....	44

1 INTRODUÇÃO

O controle e o monitoramento de níveis de líquidos são essenciais para otimizar processos industriais e garantir segurança, especialmente no uso eficiente da água. Em contextos agrícolas, a boa gestão hídrica contribui para aumentar a produtividade e diminuir os custos operacionais (KANG; ZHANG, 1998).

Em sistemas industriais, o controle adequado do nível de líquidos é fundamental para evitar transbordamentos, garantir a eficiência operacional e minimizar os desperdícios. Em processos contínuos, como a produção de produtos químicos ou o tratamento de água, manter o nível de líquidos dentro de uma faixa específica evita interrupções e mantém a operação estável, evitando o risco de falhas no sistema e aumentando a eficiência geral (MEGGA INSTRUMENTOS, 2025).

Nepin (2023) observou, em estudo da dinâmica de fluidos, que o controle de nível é um fator que não deve ser subestimado em processos industriais, pois com o monitoramento adequado se previnem transbordamentos, paradas imprevistas da produção e se garante que as etapas do processo ocorram de forma segura e eficaz.

Nas engenharias, entender como os fluidos se comportam ajuda a projetar e controlar sistemas que envolvam o transporte ou armazenamento desses líquidos, com segurança, eficiência e economia. Estudar esse comportamento possibilita a modelagem matemática do sistema, o que é indispensável para a automação e o controle em tempo real.

A análise dos fluxos entre reservatórios envolve variáveis como a diferença de altura (carga hidráulica), a vazão, a pressão e as características do fluido, que influenciam diretamente o desempenho do sistema. Portanto, o domínio desse conhecimento é indispensável para os engenheiros que atuam em áreas como saneamento, indústria, agropecuária e energia, onde o transporte e o armazenamento de fluidos são atividades recorrentes e críticas para o funcionamento eficiente das instalações.

Estudos evidenciam a aplicação prática do monitoramento de nível de líquidos em sistemas agrícolas e industriais. Um exemplo é o caso da Heineken, que implementou um sistema de monitoramento de nível utilizando sensores de pressão

em seus tanques de produção. Essa tecnologia permitiu otimizar o controle do processo produtivo, aumentando a eficiência e reduzindo os desperdícios (ENDRESS+HAUSER, s.d.). Também foi possível observar a importância de sistemas de monitoramento em redes de distribuição de água, fundamentais para detectar vazamentos, otimizar o uso de recursos hídricos e melhorar a eficiência das operações (OICS, 2020).

No contexto agrícola, o monitoramento de líquidos é vital para o controle eficaz do consumo de água, ajudando a otimizar os recursos hídricos, a melhorar a qualidade das culturas e a reduzir os custos operacionais. Os sistemas de monitoramento agrícola contribuem para o melhor gerenciamento de recursos ao fornecer dados em tempo real sobre as condições do campo, auxiliando os produtores na definição do momento mais adequado para a supervisão, o controle de diretrizes e o planejamento da colheita (ARABLE, s.d.). Além disso, a medição precisa do nível de líquidos permite avaliar os estoques dos tanques de armazenamento e executar processos contínuos de controle, como amortecimento, mistura, resistência e acumulação temporária (WIKI DO BRASIL, s.d.).

Sendo assim, este trabalho teve como objetivo principal o desenvolvimento de um sistema para o monitoramento de nível de líquidos em dois tanques acoplados, compondo uma planta didática para estudo prático. O sistema foi projetado para monitorar de forma contínua o nível entre esses dois tanques, para estudo e entendimento da dinâmica dos fluidos. A construção dessa planta se deu pela facilidade em obtenção dos componentes, permitindo a integração de sensores de baixo custo, permitindo o estudo prático da dinâmica dos fluidos.

Plantas didáticas são instrumentos de ensino que aproximam alunos e professores da realidade, em menor escala, trazendo controle dos processos. Felcher, Dias e Bierhalz (2015) afirmaram que a maquete física pode ser utilizada como ferramenta didática em qualquer nível de ensino, beneficiando professores e alunos.

Além de monitoramento e o controle do nível de líquidos, este protótipo também servirá para futuros estudos em dinâmica de fluidos, podendo ser utilizado para demonstrações em sala de aula.

2 OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

- Objetivou-se, com esse trabalho, desenvolver uma planta didática integrada com sensores para o monitoramento e o controle do nível de líquidos entre dois tanques comunicantes. Além de permitir com que a planta didática sirva como base para aplicações educacionais, favorecendo o aprendizado, e para futuras pesquisas em automação e controle de processos, favorecendo o uso eficiente de recursos hídricos em contextos industriais e agrícolas.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Desenvolver uma ferramenta prática e acessível para o estudo da dinâmica de fluidos entre tanques acoplados, permitindo que informações dos níveis nos tanques sejam geradas em tempo real e plotadas de forma gráfica e numérica para o operador, facilitando a gestão e o controle da planta;
- Integrar os sensores analógicos e digitais, junto com atuadores para efetuar o monitoramento dos níveis dos tanques, de forma segura e a contínua;
- Utilizar um microcontrolador de baixo custo que possibilite a integração entre a instrumentação e a interface gráfica;
- Desenvolver uma interface gráfica que reproduza a planta didática e permita a comunicação desta com toda a instrumentação e controlador, continuamente, de forma a possibilitar a visualização gráfica e remota do processo;
- Implementar uma lógica de funcionamento, que permita automatizar o monitoramento, evitando transbordamentos e o funcionamento das bombas a seco;

3 MATERIAL E MÉTODOS

A metodologia adotada envolveu a construção de um protótipo utilizando galões de água mineral simulando os tanques e um suporte de MDF para compor toda a estrutura. Sensores medidores de nível foram instalados nos tanques e integrados a um microcontrolador do tipo Arduíno. Utilizou-se bombas de água, para encher e esvaziar os tanques, sendo estas então responsáveis por manterem os níveis adequados dos mesmos. Além disso, foi desenvolvida uma interface gráfica para monitoramento do nível dos tanques e acionamento manual ou automático das bombas.

3.1 PLANTA DIDÁTICA

O primeiro passo para o desenvolvimento do sistema foi a construção da estrutura física, que foi feita em MDF (Medium Density Fiberboard), material de fácil manipulação e baixo custo. A estrutura foi projetada para acomodar dois tanques, em diferentes alturas, onde o tanque de baixo, denominado de tanque 2, é acoplado ao tanque de cima, denominado de tanque 1, por meio de mangueiras conforme ilustrado pela Figura 1.

Tanto a estrutura quanto os tanques foram perfurados para possibilitarem a instalação dos sensores e das mangueiras, assim como os componentes elétricos necessários, como os bornes de alimentação das bombas e os bornes de alimentação e comunicação dos sensores. Essa construção foi feita de modo a garantir a fixação adequada dos sensores e permitir a circulação do líquido nos galões. A Figura 2 apresenta uma imagem real resultante da estrutura após todas as instalações.

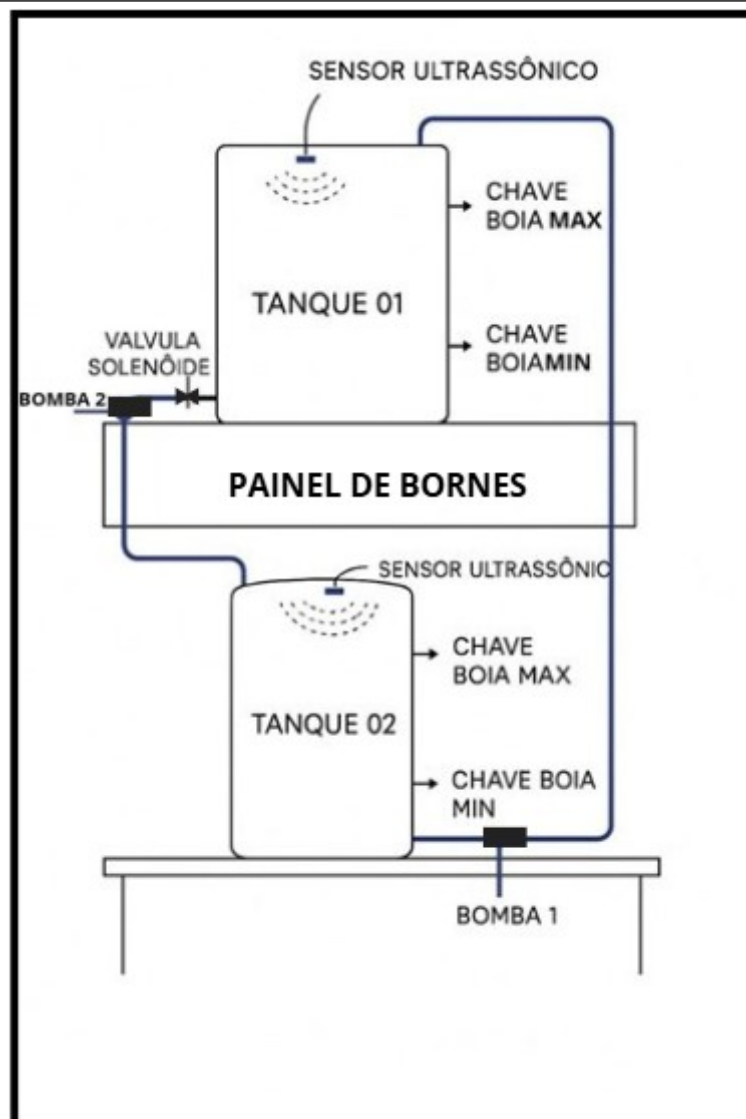


Figura 1: Croqui da planta didática.

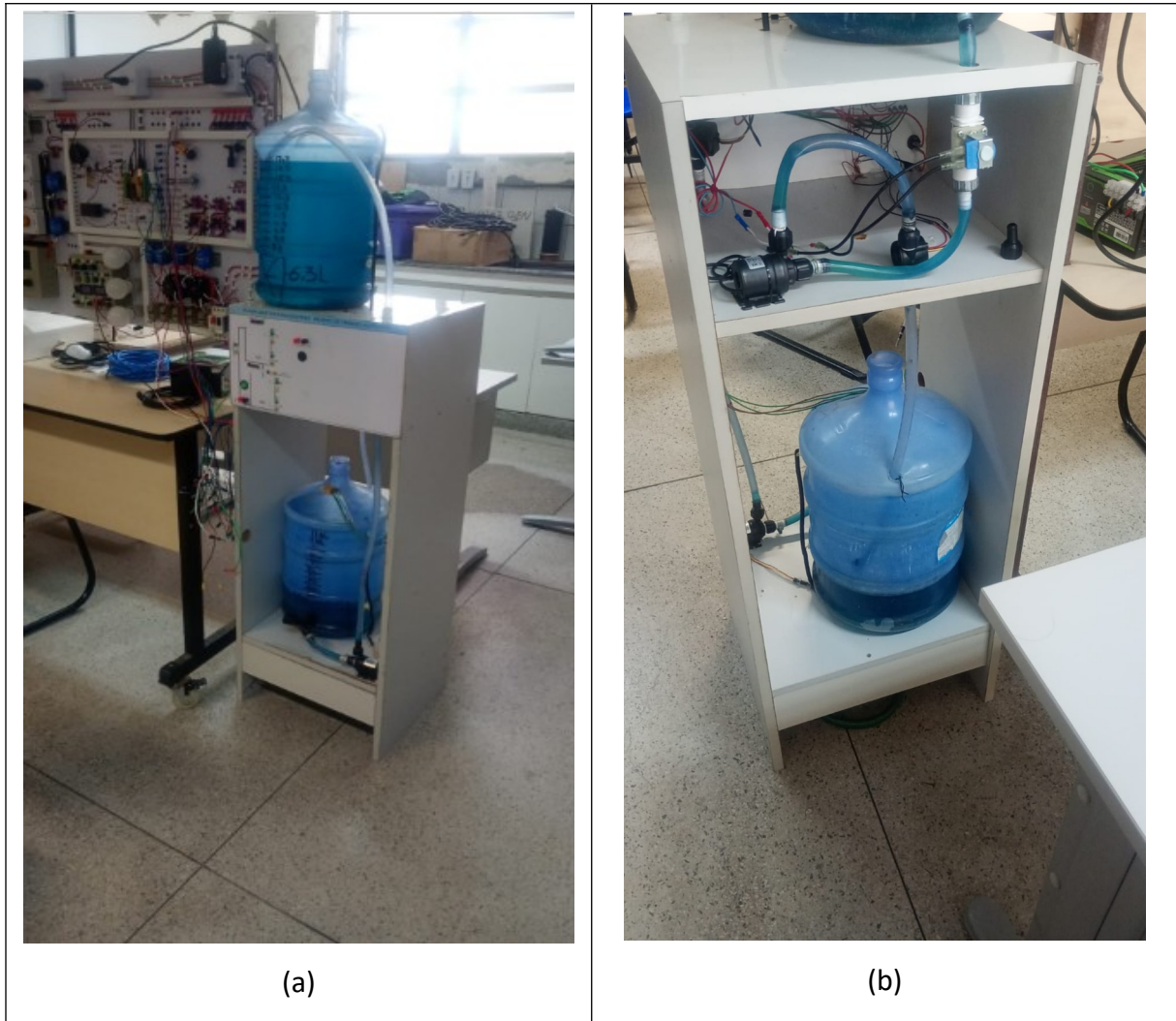


Figura 2: Imagens da planta didática completa. (a) vista frontal e (b) vista traseira.

O microcontrolador Arduino, responsável pela integração e comunicação dos sensores da planta com a interface gráfica, bem como acionamento manual ou automático das bombas e válvula solenoide, pertencem a uma bancada experimental de automação já existente no laboratório, conforme ilustram as Figuras 3 e 4. Todas as conexões entre os dispositivos da planta didática com a bancada experimental, se deram por meio de bornes do tipo pino banana de 2mm.

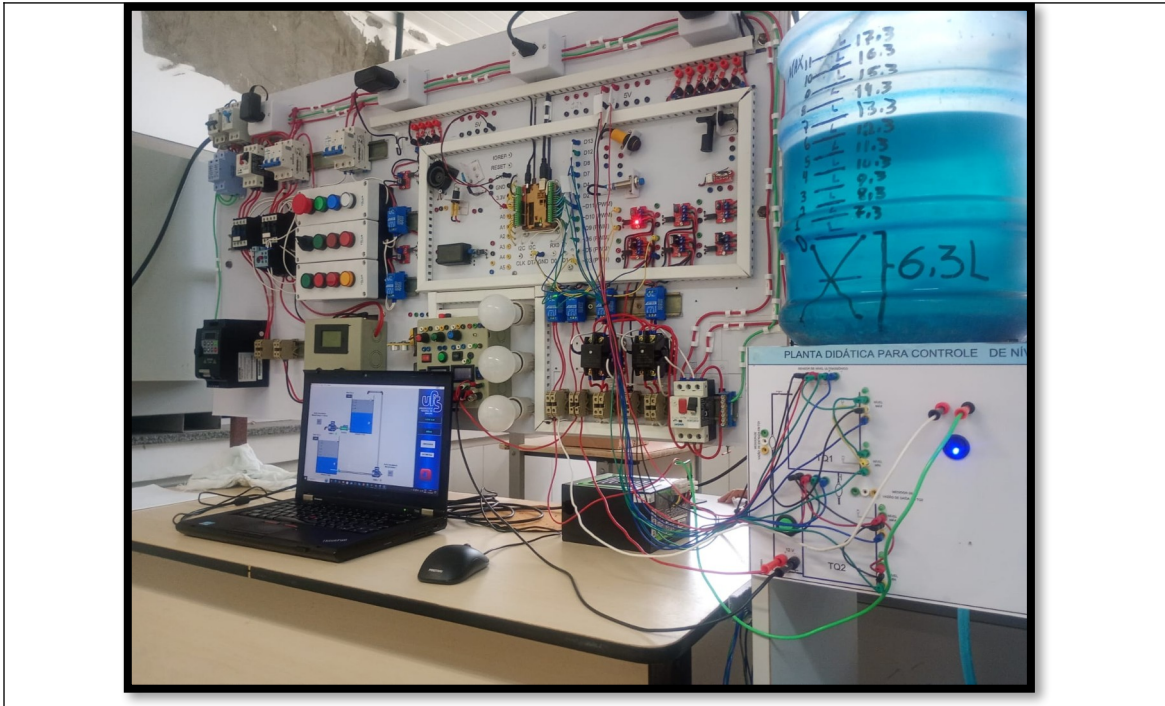


Figura 3: Bancada Experimental de Automação.

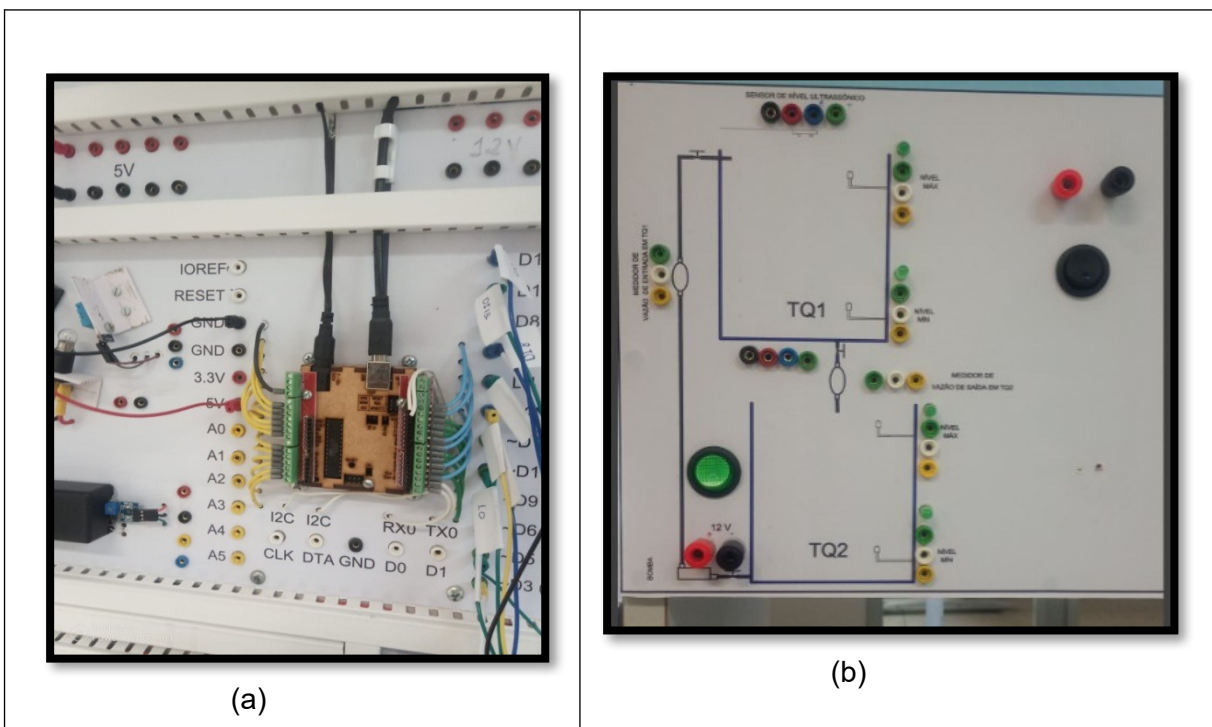


Figura 4: Destaque na imagem (a) para o microcontrolador Arduino presente na bancada experimental com suas entradas e saídas dispostas em bornes no painel. A imagem (b) destaca o painel de bornes da planta didática.

3.2 SENSORES E ATUADORES

O monitoramento do nível dos líquidos foi realizado por meio de dois diferentes tipos de sensores, um analógico e outro digital. O analógico foi representado pelo sensor ultrassônico que mediu o nível, em cada tanque, de forma contínua ao longo do tempo. Já o digital foi representado pela chave-boia, cuja função é ser acionada quando o nível a atinge.

Em todo sistema foram utilizados dois sensores ultrassônicos e quatro chaves-boia, sendo um ultrassônico e duas chaves-boia instalados em cada tanque. O sensor ultrassônico fornecia informações em tempo real sobre o nível em cada tanque, enquanto as chaves-boia indicavam os níveis máximo e mínimo. Além disso, essas chaves eram utilizadas para o intertravamento das bombas, de modo que, ao serem acionadas, os atuadores (bombas e válvula solenoide) eram ligados ou desligados conforme necessário.

Sensores Ultrassônicos: Sensores ultrassônicos, como o modelo Hc-SR05, que foi utilizado na planta didática, funcionam emitindo ondas sonoras que, ao refletirem em objetos, retornam ao sensor. O tempo de retorno dessas ondas é usado para calcular a distância até o objeto, possibilitando a medição precisa de níveis de líquidos em tanques e reservatórios (ELEKTRA, 2022).

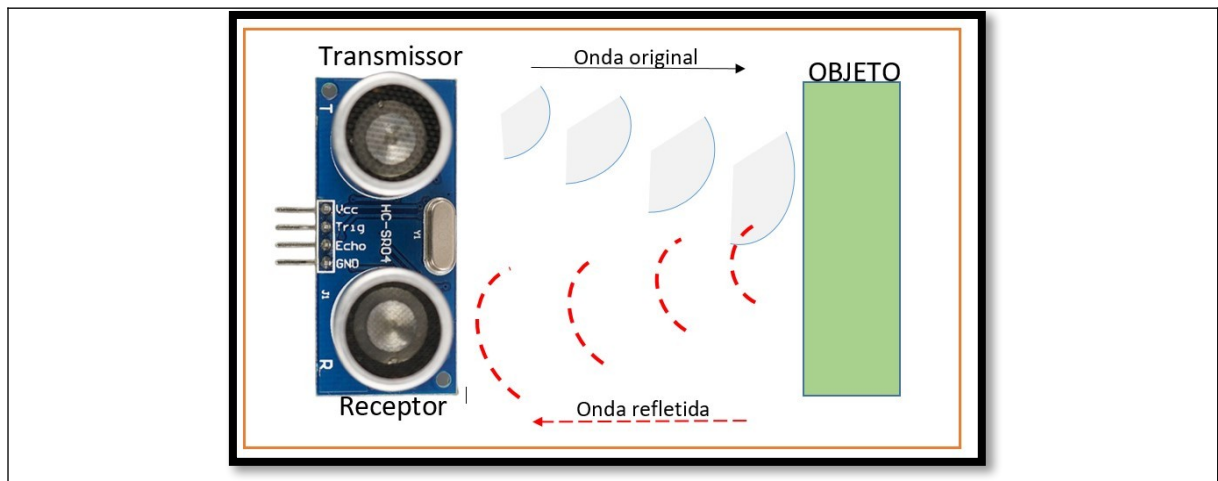


Figura 5: Funcionamento de Sensor Ultrassônico. Fonte: STA SISTEMAS E TECNOLOGIA, S.D.

De acordo com a Baumer (s.d.), os sensores ultrassônicos desempenham um papel importante no monitoramento de níveis de líquidos em sistemas agrícolas,

como no controle de altura das barras de pulverização, ajustando-se ao terreno e à cultura, o que otimiza a aplicação de fertilizantes e pesticidas.

Chave Boia: É um sensor simples, mas eficaz, que atua como um interruptor para controlar o nível de líquidos. Ele é amplamente utilizado em sistemas de controle de nível em reservatórios e tanques. A chave boia é uma solução de baixo custo, mas muito eficiente, para o controle de nível básico, sendo muito usada em sistemas de menor escala. No presente estudo foi utilizado um modelo de chave-boia com contato normalmente aberto do tipo Reed Switch, que é um contato aberto constituído por duas lâminas metálicas dentro de um corpo hermeticamente selado por vidro. A parte móvel da chave-boia, ou seja, a parte da boia, tem em seu interior um pequeno ímã, e quando este se aproxima das lâminas metálicas, por conta do nível que está subindo, o contato aberto do Reed Switch se fecha e uma corrente elétrica do circuito de alimentação flui então através destas lâminas fechadas e, assim, um sinal de comutação é promovido e pode ser enviado a um microcontrolador para comprovar sua detecção e ser percebido por ele. A chave-boia pode então ser utilizada para detectar o nível máximo do reservatório, como neste caso supracitado e ilustrado pela Figura 6(a). Mas, a mesma chave-boia, também pode ser utilizada para detectar o nível mínimo, bastando apenas inverter a posição da chave e colocá-la como ilustrada pela Figura 6(b).

De forma a elucidar o posicionamento das chaves boia, as mesmas foram posicionadas nos tanques de modo que fosse permitido captar os níveis mínimo e máximo de cada tanque. Para identificar os níveis máximos dos tanques 1 e 2 as chaves foram posicionadas conforme a Figura 6(a) e para identificar os níveis mínimos dos tanques 1 e 2 as chaves foram posicionadas conforme a Figura 6(b).

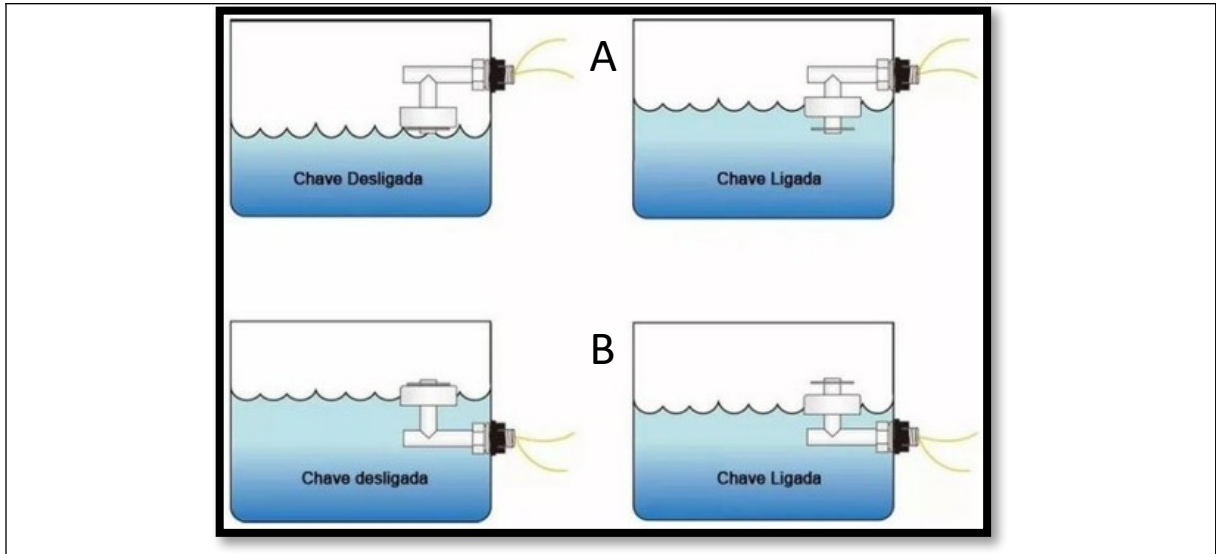


Figura 6: Exemplo de funcionamento da Chave Boia para detectar (a) nível máximo e (b) nível mínimo. Fonte: COMPEL

Válvula solenoide: A válvula solenoide nada mais é do que uma válvula eletromecânica controlada, que funciona através de um campo eletromagnético gerado por uma bobina eletrizada, que abre e fecha o embolo mecânico, permitindo ou não a passagem de fluido pela tubulação a qual estiver conectada. É uma válvula que abre ou fecha mediante alimentação de 12Vcc em seus terminais. A válvula solenoide pode ser normalmente aberta, e ao ser energizada tem a passagem de fluido obstruída, ou de forma inversa, pode ser normalmente fechada, e ao ser energizada permite a passagem do fluido. A Figura 7(a) ilustra um exemplo de válvula solenoide parecida com a utilizada na planta didática e a Figura 7(b) ilustra a válvula solenoide instalada na planta didática.

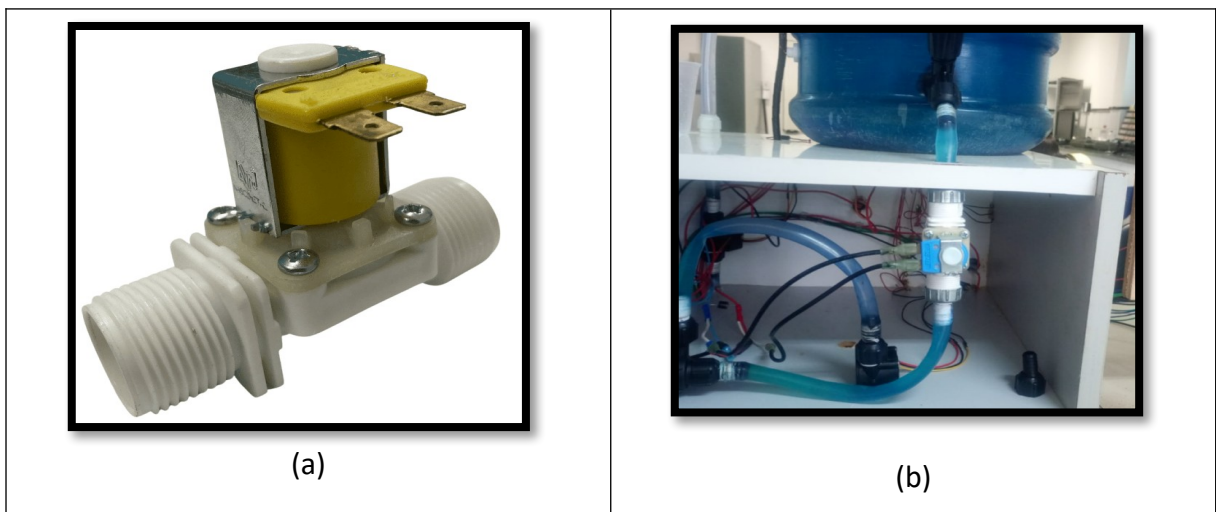


Figura 7: (a) Exemplo de Válvula solenoide e (b) Válvula solenoide instalada na planta didática.

A válvula solenoide da planta didática teve o importante papel de impedir que o fluido escoe do tanque 1 para o tanque 2 por gravidade. Assim, só há comunicação entre os tanques, ou melhor, só existe abastecimento de água entre eles quando uma das bombas ou as duas estão em pleno funcionamento.

Bomba D'agua: A bomba d'agua utilizada neste estudo é uma bomba elétrica de 19W, acionada por um motor elétrico de corrente contínua de 12Vcc. Esse motor tem seu rotor acoplado a um disco de aletas, que ao ser acionado, é capaz de sugar o fluido conectado em uma parte inferior e ejetar com pressão a um ponto superior. Assim, torna-se possível abastecer reservatórios em diferentes alturas de posicionamento, dentro do limite estabelecido pelo fabricante. No caso das bombas utilizadas nesse estudo, a altura máxima informada pelo fabricante é de 6 metros. Foram utilizadas duas bombas d'agua, idênticas, sendo uma responsável por transportar o fluido do tanque 2, que está em uma posição inferior, para o tanque 1, que está em uma posição superior. E a outra bomba é responsável por transportar a água de retorno, do tanque 1 para o tanque 2.



Figura 8: Bomba D'água instalada na planta didática: (a) responsável por abastecer o tanque 1 e (b) responsável por abastecer o tanque 2.

3.3 MICROCONTROLADOR

O uso de microcontroladores, especialmente o Arduino, tem se popularizado devido ao seu custo acessível, facilidade de programação e versatilidade. O Arduino pode ser integrado a uma ampla gama de sensores para coletar dados e controlar dispositivos, como bombas e válvulas, permitindo a comunicação entre o mundo

físico e o mundo digital, através de pinos de entrada e saída, de sinais analógicos e digitais.

A escolha do microcontrolador Arduino se deu por ser uma plataforma de fácil acesso, custo reduzido e adequação às necessidades do projeto, além de sua flexibilidade para integração com diversos sensores e atuadores, como sensores ultrassônicos e chaves-boia, além de atuadores como motores elétricos e válvulas solenoides. A Figura 9 ilustra um Arduino e suas partes integrantes em destaque.

O microcontrolador Arduino utilizado neste estudo pertence a uma bancada experimental de automação do Laboratório de Energia e Automação (LEAUT) do Departamento de Engenharia Agrícola (DEAGRI) da UFS, conforme pode ser visualizado pelas imagens das Figuras 3 e 4. Nesta bancada, todos os pinos de entrada e saída do Arduino estão disponíveis por meio de bornes do tipo banana de 2 mm, facilitando assim sua integração com qualquer outra planta contendo dispositivos, disponibilizados no mesmo formato.

Para efetuar a comunicação entre todos os dispositivos e o microcontrolador utilizou-se bibliotecas gratuitas, disponibilizadas pelos próprios fabricantes, além do protocolo ModBus RTU, para que a interface gráfica criada pudesse operar e monitorar todas as ações dos respectivos dispositivos.

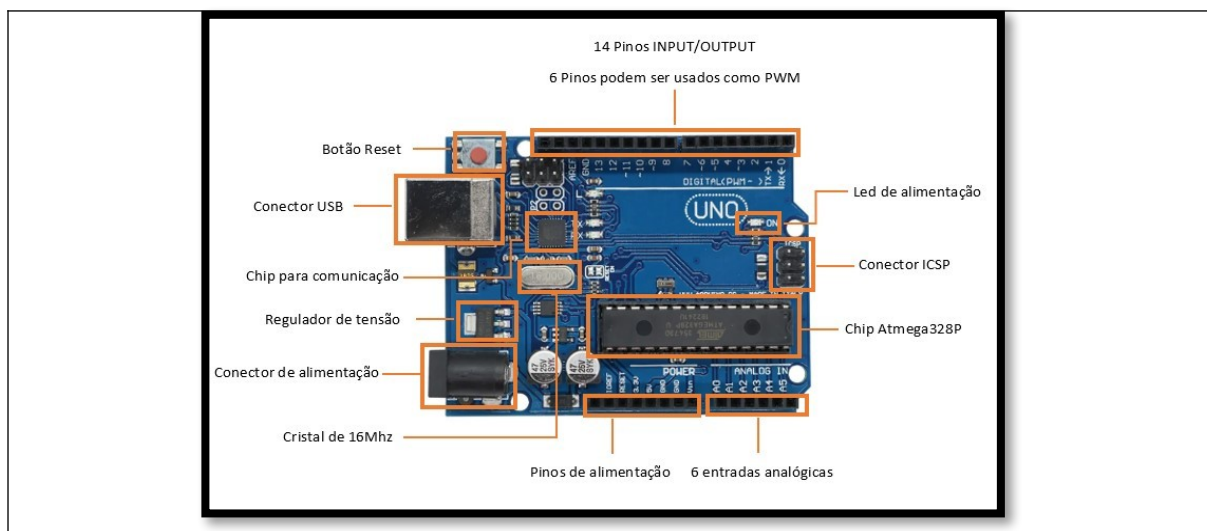


Figura 9: Apresentação de um microcontrolador Arduino. Fonte: STA SISTEMAS E TECNOLOGIA, s.d.

3.4 SOFTWARES – IDE ARDUINO E ELIPSE E3

O Arduino foi programado utilizando a linguagem C, no ambiente Arduino IDE (Figura 10(a)), que permite a leitura e processamento dos dados gerados pelos sensores. O código desenvolvido no Arduino (Anexo I), tem a função de coletar os dados dos sensores ultrassônicos e da chave boia, processá-los e enviar os sinais de atualização das saídas (bombas d'água e válvula solenoide), além de enviar também as informações em tempo real para o software Elipse E3, permitindo o acompanhamento remoto do sistema de forma gráfica.

O Arduino utiliza as informações das medições para enviar sinais de acionamento às bombas e válvula solenoide e manter os níveis dentro dos limites aceitáveis nos tanques.

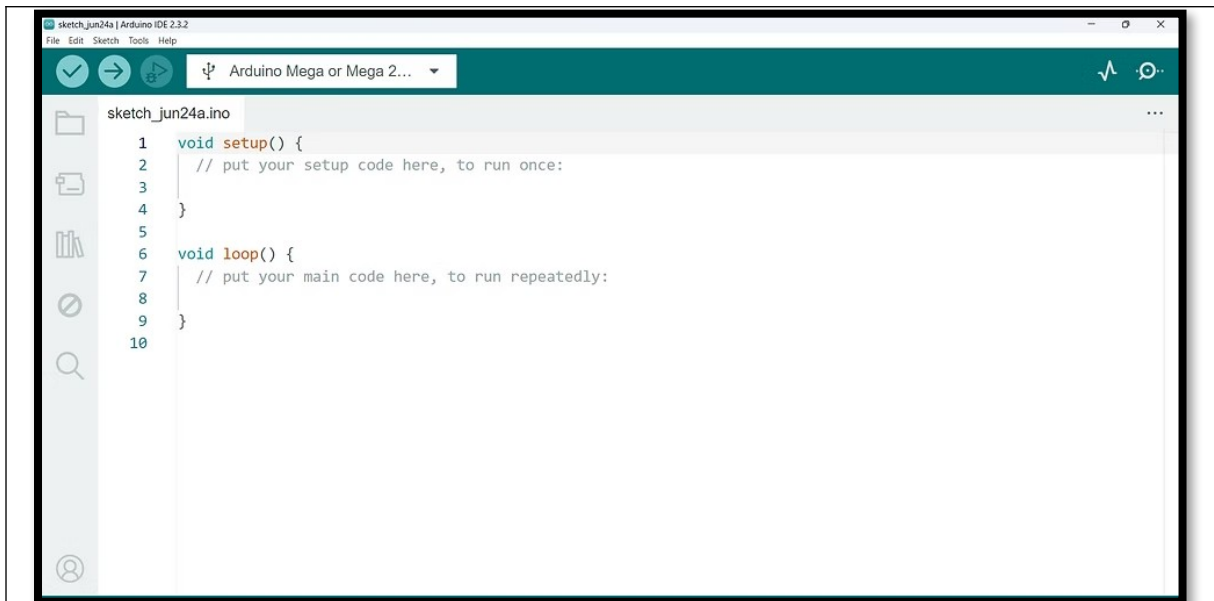
A integração de softwares de monitoramento, como o Elipse E3, com sistemas microcontrolados como o Arduino, proporcionam uma interface gráfica completa para visualização e gestão dos dados em tempo real.

O Elipse E3 é um software de SCADA (Supervisory Control and Data Acquisition) amplamente utilizado em sistemas de automação industrial e monitoramento remoto de processos. Sistemas SCADA, como o Elipse E3, permitem que os operadores monitorem e gerenciem processos complexos de forma remota e em tempo real, facilitando a tomada de decisões rápidas e a manutenção preventiva. A integração de sensores de nível e microcontroladores com plataformas de SCADA tem o potencial de melhorar a eficiência e a segurança dos sistemas de monitoramento.

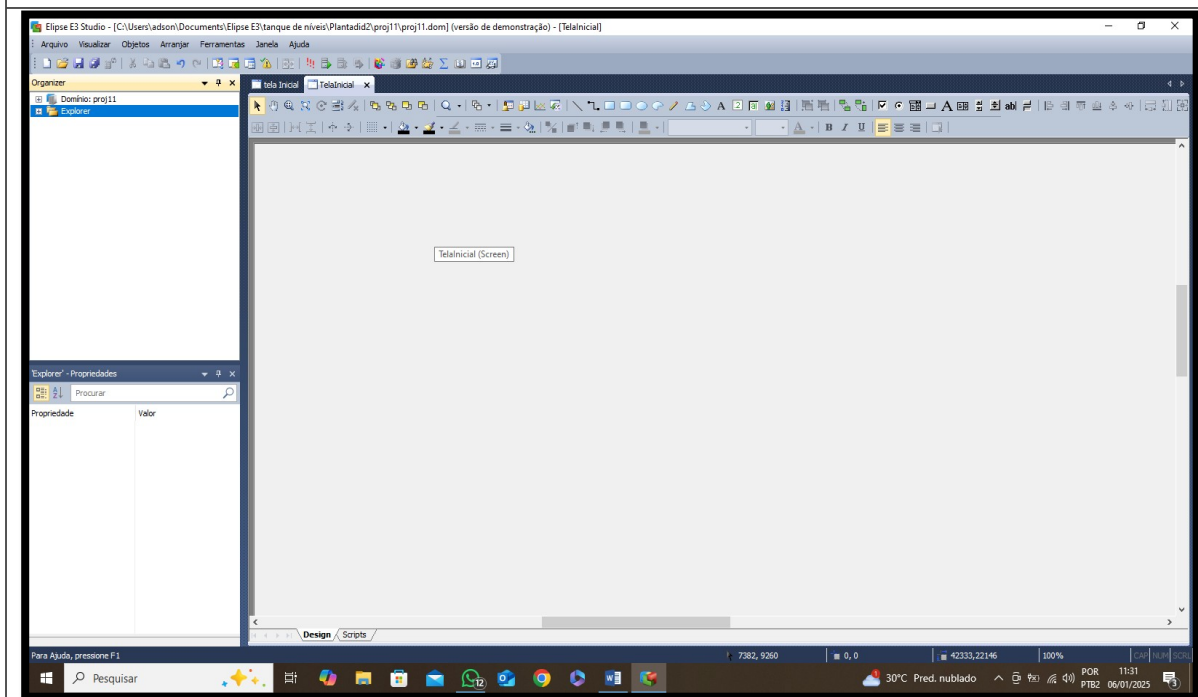
A planta didática foi redesenhada no Elipse E3, como forma de reproduzir a mesma em uma interface gráfica amigável, capaz de monitorá-la e controlá-la de forma mais eficiente. Desenhou-se o fluxo do processo, incluindo a animação dos movimentos do fluido, o controle de nível e as interações dos sensores com o líquido dos tanques. Essa animação foi projetada para fornecer uma visualização clara e intuitiva de todo o processo de monitoramento.

A interface gráfica do Elipse E3 foi configurada para exibir em tempo real os dados recebidos dos sensores, como o nível do líquido nos tanques.

Na Figura 10(b), pode-se observar a interface de trabalho do Elipse E3 utilizado para criar a interface gráfica de gestão dos dados coletados no sistema de monitoramento de nível.



(a)



(b)

Figura 10: (a) IDE do Arduino – ambiente de programação e (b) ambiente de criação da interface gráfica no Elipse E3.

Para a comunicação entre o software e hardware, foi utilizado o protocolo de comunicação Modbus RTU, por ser de fácil implementação e garantir a entrega segura dos dados. Trata-se de um protocolo amplamente utilizado em sistemas de automação industrial. Segundo Cravo (2024), esse protocolo realiza a comunicação entre dispositivos no modelo mestre-escravo ou cliente-servidor, regulando as

solicitações e assegurando que a comunicação entre os sinais ocorra sem interferência ou modificações externas.

Ao executar o programa desenvolvido no Eclipse E3, uma tela de login é apresentada, clicando-se no ícone de acesso, uma nova janela surge solicitando as credenciais. A Figura 11 ilustra essas duas telas. Após o login realizado, a interface gráfica da planta didática é apresentada em uma janela, onde já é possível interagir com todo o sistema. Nessa tela é possível monitorar em tempo real o nível em cada tanque, como também, controlar o acionamento e desligamento das bombas d'água e válvula solenoide. A Figura 12 ilustra a tela da interface gráfica em funcionamento.



Figura 11- tela de login, acesso ao monitoramento

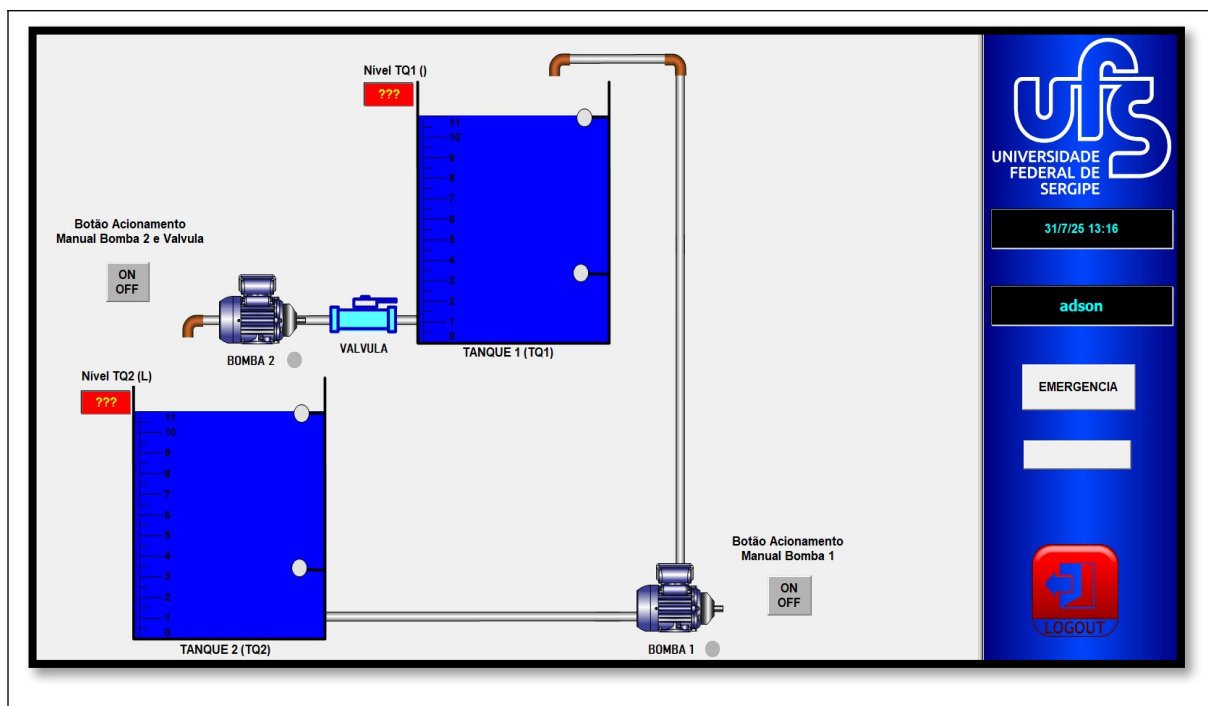


Figura 12- Interface gráfica reproduzindo a planta didática de tanques acoplados.

3.5 AJUSTES DE ESCALAS E CALIBRAÇÕES

Após a integração completa do sistema planta didática e interface, foram realizados ajustes e calibrações com o objetivo de padronizar as escalas de medição dos níveis nos tanques, quanto na interface gráfica, bem como observar os tempos de operação de enchimento (recarga) e esvaziamento (descarga) dos tanques, a fim de verificar a vazão real entre o funcionamento de abastecimento do tanque 1 e do tanque 2. Para isso, foram executadas três repetições de testes em cada tanque, tanto para recarga quanto para descarga. Foram anotados os volumes e os tempos parciais (intervalares) em cada litro do nível do fluido, possibilitando o cálculo da vazão média em litros por segundo (L/s).

Os dados do experimento são apresentados na Tabela 1, como a média que mostra os tempos de recarga e descarga, medidos em três repetições distintas. Os volumes foram registrados de litro em litro, de 0 a 11 litros. A recarga do tanque 1 levou, em média, 11 segundos por litro, enquanto a descarga apresentou tempo médio de 12 segundos por litro. As vazões médias foram de 0,09 L/s para recarga e 0,08 L/s para descarga.

Tabela 1: Tempos de recarga e descarga do tanque 1, com médias calculadas a partir de três repetições. Fonte: Elaboração própria.

RECARGA TANQUE 1 (MÉDIA)			DESCARGA TANQUE 1 (MÉDIA)		
VOLUME(L)	TEMPO(S)	INTERVALO(S)	VOLUME(L)	TEMPO(S)	INTERVALO(S)
0	0	0	0	0	0
1	11,4	11,4	1	12,2	12,2
2	21,7	10,3	2	25,2	13,1
3	31,5	9,8	3	41,4	16,2
4	42,6	11,1	4	54,1	12,7
5	53	10,4	5	68	13,9
6	63,2	10,2	6	81,7	13,6
7	74,1	10,9	7	94,6	13
8	84,1	10	8	108,0	13,4
9	96,7	12,6	9	120,3	12,2
10	108,3	11,5	10	133,2	12,2
11	118,5	10,2	11	144,4	11,2
VAZÃO (Q)	0,093	L\S	VAZÃO (Q)	0,076	L\S

Da mesma forma, o tanque 2 passou pelos mesmos três testes de recarga e descarga, tendo seus dados médios registrados na Tabela 2. Os valores da escala em litros dos tanques foram discretizados de litro em litro, do valor 0 litro ao máximo de 11 litros. O tempo médio para cada litro adicionado ao tanque 2 foi por volta de 13 segundos no processo de recarga e de aproximadamente 11 segundos no processo de descarga, perfazendo uma vazão média de 0,07 L/s na recarga do tanque 2 e uma vazão média de 0,09 L/s na descarga do mesmo tanque.

Tabela 2: Tempos de recarga e descarga do tanque 2, com médias calculadas a partir de três repetições. Fonte: Elaboração própria.

RECARGA TANQUE 2 (MÉDIA)			DESCARGA TANQUE 2 (MÉDIA)		
VOLUME (Litro)	TEMPO (Segundo)	INTERVALO (Segundo)	VOLUME (Litro)	TEMPO (Segundo)	INTERVALO (Segundo)
0	0	0	0	0	0
1	12,9	12,9	1	10,3	10,3
2	25,2	12,3	2	20,6	10,3
3	39,0	13,8	3	30,7	10,1
4	52,4	13,5	4	40,5	9,8
5	65,6	13,2	5	52,6	12,1
6	79,7	14,1	6	63,9	11,4
7	93,3	13,6	7	75	11,1
8	106,9	13,6	8	85,8	10,9
9	118,9	12,0	9	97,9	11,4
10	133,4	14,6	10	108,3	11
11	147,9	14,5	11	119,3	11
VAZÃO (Q)	0,074	L\S	VAZÃO (Q)	0,092	L\S

Além dos testes de vazão, foi desenvolvida uma tabela de conversão entre distância (entre o sensor ultrassônico e o nível da água no reservatório) e volume de água (litros) para os dois tanques do sistema. Essa conversão foi realizada com o auxílio dos sensores ultrassônicos. Com esses dados, foi possível relacionar os valores de distância (em centímetros), medidos pelos sensores, com o volume real de água no interior dos tanques. A partir dessa relação, foi elaborada a Tabela 3 e, posteriormente, os gráficos presentes nas Figuras 13(a) e 13(b), que geraram equações matemáticas de regressão linear para cada tanque.

A Tabela 3 apresenta a correspondência entre a distância medida (em cm) e a quantidade total de água (em litros) em cada tanque. A quantidade total em litros mostra o volume considerando a região de zona morta, que constitui o espaço no tanque entre a chave-boia indicadora do nível mínimo e a base do tanque. No entanto, para o levantamento das equações, não foi utilizada essa numeração integral, e sim a escala de litro em litro, iniciando de 0 a 11.

Tabela 3: Conversão entre distância (cm) e volume total de água (L) nos tanques 1 e 2. Fonte: Elaboração própria.

RELAÇÃO VOLUME\DISTÂNCIA TQ-1			RELAÇÃO VOLUME\DISTÂNCIA TQ-2		
Distância (cm)	Volume (litros)	Intervalo (S)	Distância (cm)	Volume (litros)	Intervalo (S)
26	0	6,3	26	0	6,6
24	1	7,3	24	1	7,6
23	2	8,3	22	2	8,6
22	3	9,3	21	3	9,6
19	4	10,3	20	4	10,6
17	5	11,3	17	5	11,6
16	6	12,3	16	6	12,6
14	7	13,3	15	7	13,6
13	8	14,3	13	8	14,6
12	9	15,3	11	9	15,6
10	10	16,3	10	10	16,3
7	11	17,3	7	11	17,3

A leitura da Tabela 3 mostra, por exemplo, que no Tanque 1 (TQ1), quando o sensor indica uma distância de 26 cm, há aproximadamente 6,3 litros de fluido, enquanto a uma distância de 7 cm, o volume é de 17,3 litros, considerando o volume morto de fluido no tanque. Já no Tanque 2 (TQ2), a distância de 26 cm corresponde a 6,6 litros, e a de 7 cm, a 17,6 litros, também considerando o volume morto de fluido no tanque.

Com base nos dados da Tabela 3, foi construído um gráfico para cada tanque e ajustado um modelo, permitindo assim a visualização da tendência de comportamento da relação litros x distância.

Essas equações foram implementadas no Arduíno para automatizar o processo de conversão dos valores de distância medidos pelos sensores ultrassônicos, em volume de fluido em litros, facilitando o monitoramento do nível dos tanques nas unidades convencionais.

O alto valor de R^2 , em ambas as equações, indicam que os modelos lineares ajustados, representam os dados em 99%, no comportamento real dos tanques, o que favorece a confiabilidade dos dados gerados pelo sistema como um todo.

Os gráficos e equações foram construídos e gerados pelo software Excel.

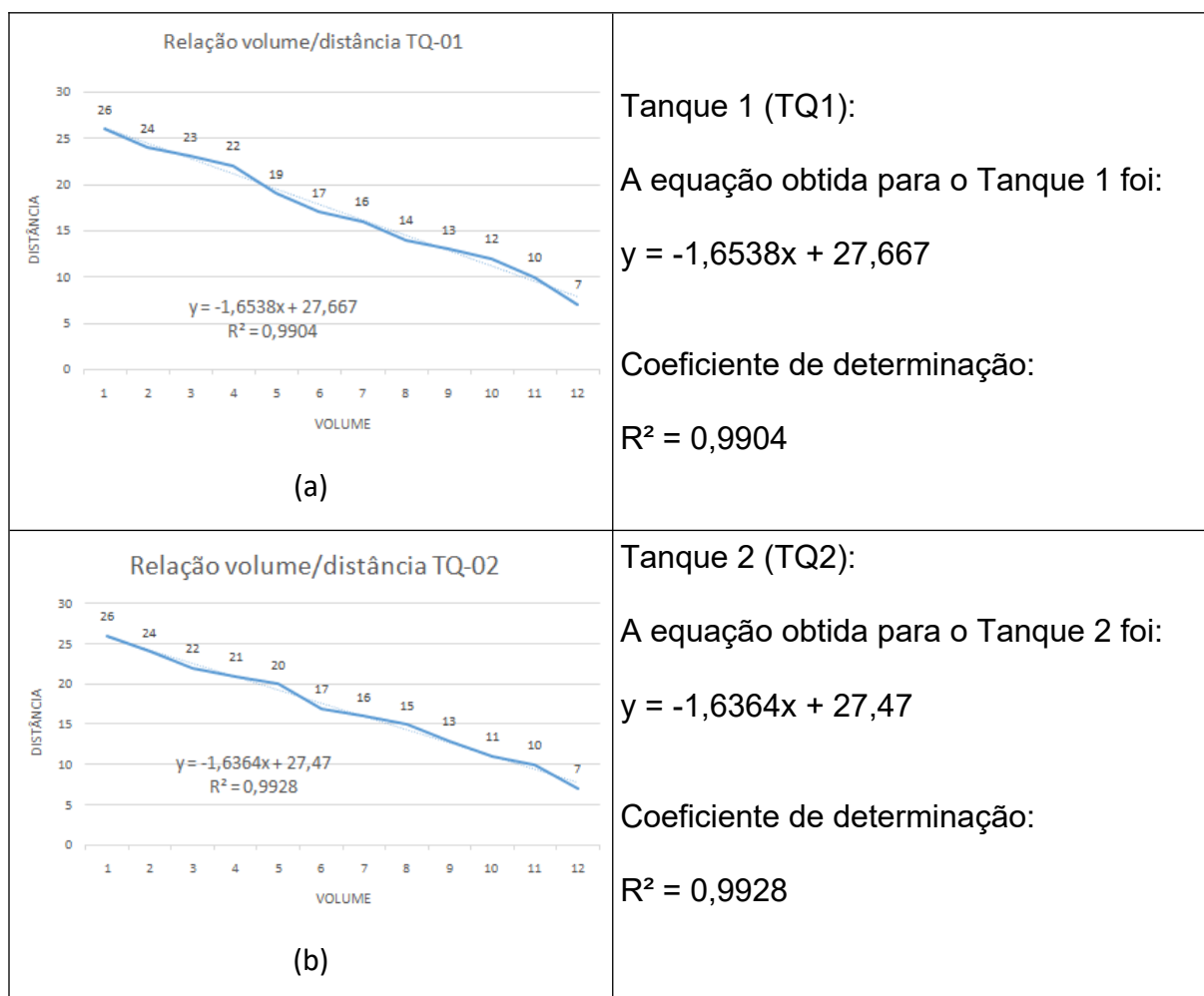


Figura 13: Gráficos e modelos gerados pela relação volume x distancia para o (a) tanque 1 e (b) tanque 2.

As medições mostraram consistência entre as repetições, o que contribui para a confiabilidade de monitoramento de todo o processo. A diferença de vazão entre os tanques pode estar relacionada a fatores como a altura de recalque ou variações no comprimento, pequenas torções e deformações ao longo das tubulações.

Essas observações, calibrações e ajustes foram fundamentais para o correto funcionamento do sistema, possibilitando ajustar os tempos de acionamento das bombas, no modo automático, de acordo com a vazão real observada caso seja de interesse, o controle de nível por tempo.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Após a construção e integração do sistema, testes práticos foram realizados para observar o funcionamento dos sensores, do microcontrolador e da interface no Elipse E3. O sistema foi colocado em operação, e as medições de nível foram monitoradas para efeito de comparação dos dados medidos com os observados na planta real.

Criou-se um botão na interface gráfica de nome “MOD0”, com intuito do usuário escolher o modo de operação do sistema, podendo este ser “AUTOMÁTICO” ou “MANUAL”. No modo “AUTOMÁTICO” o funcionamento da dinâmica do fluido entre os tanques, assim que acionado, opera de forma cíclica, ou seja, ocorre a intercalação de acionamento das bombas, mediante a detecção dos níveis de máximo e mínimo entre os tanques. A bomba 1, que é a bomba que tira o fluido do tanque 2 e joga no tanque 1, será acionada automaticamente somente quando o nível mínimo do tanque 1 ou nível máximo do tanque 2 for atingido. De forma análoga, a bomba 2, que é a bomba que transporta fluido do tanque 1 para o tanque 2, só será acionada quando o nível mínimo do tanque 2 for detectado e o tanque 1 não estiver no seu nível mínimo. A bomba 1 será desligada quando o nível máximo do tanque 1 for atingido ou o nível mínimo do tanque 2 for detectado ou quando o botão de “EMERGÊNCIA” for acionado. A bomba 2 será desligada quando o nível máximo do tanque 2 for atingido ou o nível mínimo do tanque 1 for detectado ou quando o botão de “EMERGÊNCIA” for acionado. O botão de “EMERGÊNCIA”, presente também na interface, foi implantado com intuito de desligar todos os atuadores quando acionado, supondo uma situação emergencial. A ideia em se programar esse “MOD0 AUTOMÁTICO” em loop, deve-se apenas a uma estratégia para observação de funcionamento da planta. Mas esse modo deve ser reprogramado mediante o uso que se deseja fazer e a observação do estudo que se deseja efetuar na planta didática.

No modo “MANUAL” tanto a bomba 1 quanto a bomba 2 são acionadas por meio de botões criados na própria interface do Elipse E3, como pode ser observado pelas Figuras 14 e 15. Na Figura 14 é possível visualizar o acionamento manual da bomba 1, pelo botão inserido ao lado direito da mesma e também, observar o desligamento do botão da bomba 2, posicionado ao lado esquerdo do desenho da

bomba na Figura. Já na Figura 15 nota-se o inverso, bomba 2 acionada e bomba 1 desligada.

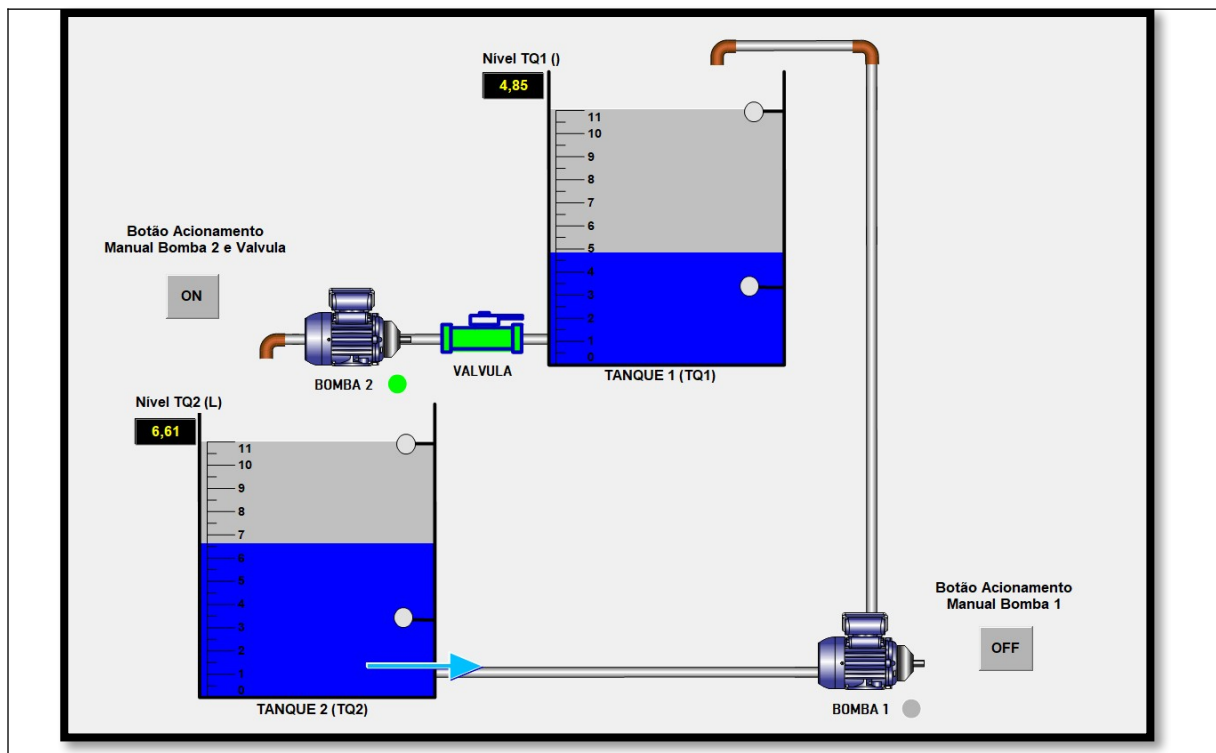


Figura 14: Acionamento manual da Bomba 2 e enchimento do tanque 2.

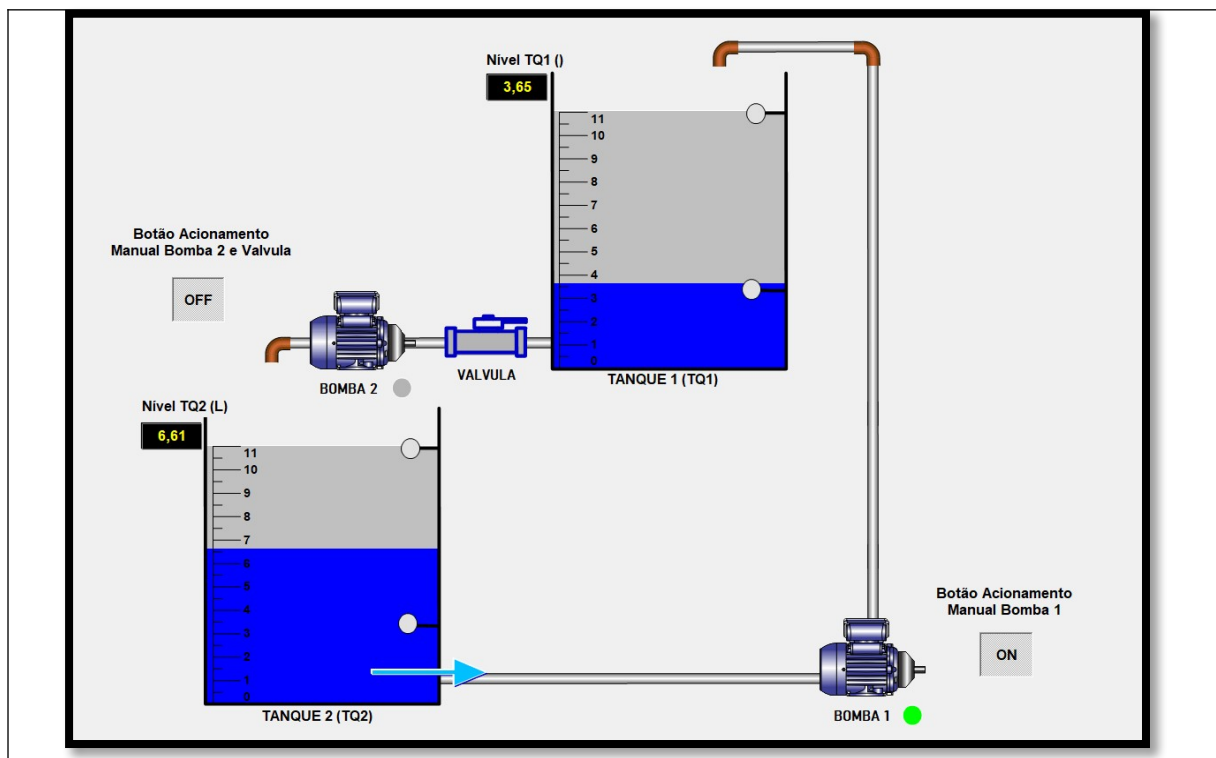


Figura 15: Acionamento manual da Bomba 1 e enchimento do tanque 1.

Note que ao acionar a bomba 2, a válvula solenoide também é acionada. Por limitações de hardware, no caso, relés, foi necessário optar pela ligação elétrica da válvula solenoide em paralelo com a bomba 2, uma vez que ambas possuem o mesmo valor de tensão de alimentação em corrente contínua de 12 Vcc. Na interface gráfica a válvula solenoide também é representada acionada junto com a bomba 2, mudando sua coloração para de cinza para verde ao ser acionada.

Abaixo da representação de cada bomba na interface, também existe um led indicativo de acionamento. Este led assume a cor verde quando a bomba estiver acionada e tem sua cor trocada para cinza quando ela estiver desligada. Esses indicadores luminosos são muito úteis e importantes na facilitação do monitoramento das bombas.

Além da representação gráfica e contínua do nível de cada tanque, pelo preenchimento da cor azul, dentro de cada recipiente, simulando um fluido do tipo água, por exemplo, existe um display posicionado no lado superior esquerdo de cada tanque, com o valor medido pelo sensor ultrassônico, exposto em formato decimal na unidade de litros (L). Assim, é possível verificar em tempo real se o valor apresentado na interface gráfica condiz com o observado no tanque real da planta didática, como pode ser visualizado pela Figura 16.

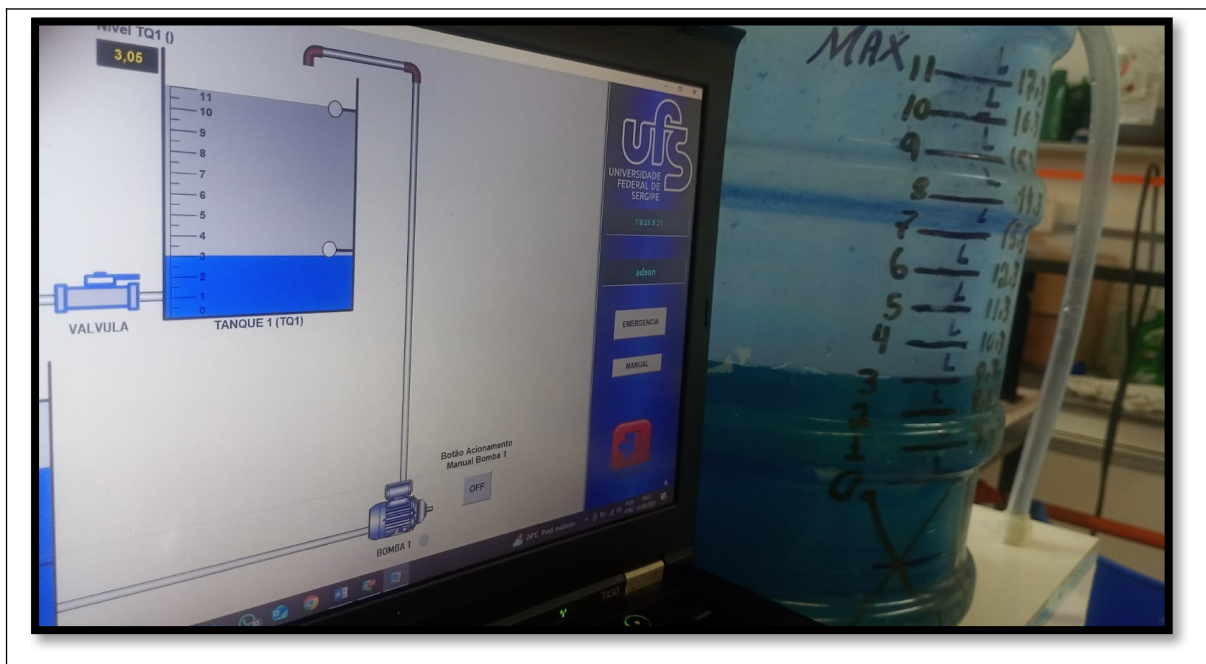


Figura 16: Na imagem é possível observar o sincronismo entre a planta e a interface gráfica. Fonte: Elaboração própria.

As chaves-boia também foram representadas na interface gráfica e estas estão dispostas na lateral direita de cada tanque. Elas possuem suas cores alteradas para verde, indicando mudança de status, quando os níveis de máximo ou mínimo de cada tanque for atingido. A Figura 17 ilustra o acionamento das chaves-boia tanto na planta, indicada por meio de leds no painel da planta quando sua representação na interface gráfica.

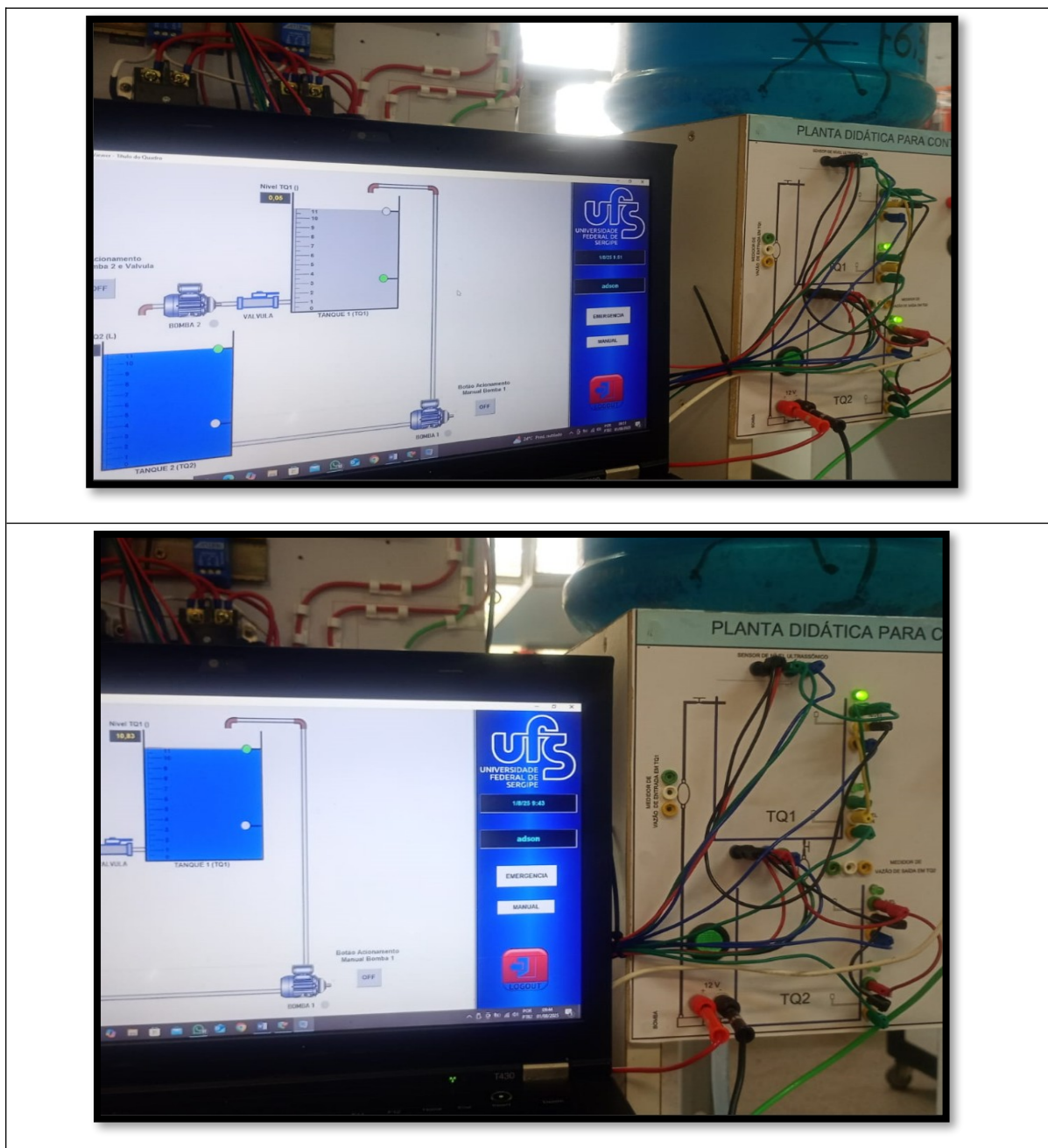


Figura 17: Sincronia de acionamento das chaves boia. Fonte: Elaboração própria.

Futuras melhorias podem incluir a utilização de outros protocolos de comunicação, como forma de evitar os atrasos no envio e recebimento dos dados, bem como a inserção de sensores de fluxo, de pressão e temperatura, para uma análise mais completa da dinâmica dos fluidos entre os tanques.

4.1 COMPARAÇÃO COM OUTROS TRABALHOS

Embora os resultados tenham mostrado a eficiência do protótipo, é importante situar este trabalho frente a outras pesquisas semelhantes.

Reis e Baptista (2015) desenvolveram um sistema de controle de nível em tanques utilizando Arduino e lógica simples de liga/desliga. O estudo demonstrou viabilidade em termos de baixo custo e aplicabilidade educacional, mas não contemplou integração com sistemas SCADA. Comparado a esse, o presente trabalho amplia as possibilidades ao incluir supervisão via Elipse E3, oferecendo uma interface mais próxima do ambiente industrial.

Já Buschini e Rapanello (2018) propuseram a automação de uma planta didática com CLP Siemens e supervisório Indusoft, aplicando controle PID. Apesar de mais robusto, esse tipo de solução apresenta custos significativamente mais elevados. A alternativa desenvolvida neste trabalho, baseada em Arduino, se mostra acessível e adequada para fins didáticos, democratizando o acesso ao ensino de automação.

Gonçalves (2019) apresentou uma planta de três tanques utilizando CLP e programação em Ladder, com sensores ultrassônicos e chaves-boia. Tal abordagem possui similaridades ao sistema aqui descrito, porém sem interface gráfica interativa. Neste ponto, a integração com o Elipse E3 mostra-se um diferencial do presente estudo, permitindo ao usuário uma visualização em tempo real dos níveis e acionamentos.

Na UTFPR, um trabalho de 2013 implementou o controle de nível com Arduino UNO, sensor ultrassônico HC-SR04 e interface desenvolvida no MATLAB GUIDE. Embora semelhante em simplicidade e aplicabilidade acadêmica, o uso do SCADA neste estudo amplia a aderência a cenários reais de supervisão industrial.

Ferreira (2023), na UFRJ, desenvolveu um sistema integrando Arduino com sensores de pressão, ultrassônicos e de fluxo, utilizando comunicação OPC para supervisão. O trabalho destaca a robustez da integração de protocolos industriais, mas não explorou uma interface gráfica como a do Elipse E3, aspecto no qual o presente protótipo se diferencia.

Além disso, estudos recentes implementaram controle de nível utilizando algoritmos PID em sistemas físicos de tanques (SANTOS et al., 2025). Tais abordagens apresentam maior estabilidade dinâmica, reduzindo oscilações. Embora o presente sistema tenha adotado apenas lógica de intertravamento e controle discreto, o uso de controle proporcional-integral-derivativo representa uma perspectiva futura para aumentar a precisão.

5 **CONCLUSÕES**

O sistema desenvolvido para o controle e monitoramento de nível de fluidos, integrado com sensores ultrassônicos e chaves-boia, controlado pelo microcontrolador Arduino e monitorado via o software Elipse E3, demonstrou ser capaz de promover o monitoramento dos níveis nos dois tanques, em tempo real. A programação realizada no microcontrolador manteve os níveis do fluido, dentro das faixas limítrofes definidas, evitando transbordamentos e interrupções, além de evitar o funcionamento das bombas sem a presença de fluido.

A escolha do Arduino provou ser adequada, oferecendo uma solução acessível e de baixo custo para a implementação de um sistema de monitoramento, enquanto o Elipse E3 contribuiu significativamente para a visualização e análise dos dados em tempo real, tornando o sistema ainda mais funcional e intuitivo para o usuário, facilitando o acompanhamento e a tomada de decisões.

Os testes realizados mostraram que os dados de níveis capturados pelos sensores foram compatíveis com os valores dos níveis observados nas marcações dos tanques da própria planta didática. No entanto, algumas dificuldades foram identificadas, como a necessidade de calibração manual dos sensores e a conversão de escalas de distância para litros. Além disso, observou-se momentos de atrasos na atualização dos dados, pela interface gráfica, frutos do processo de comunicação entre Arduino e o software Elipse E3.

6 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Pode-se concluir que o sistema tem grande potencial para ser ampliado e adaptado para diversas outras aplicações, como em sistemas de monitoramento remoto e integração com outras plataformas de controle de processos. Esse trabalho também serve como base para futuras pesquisas e inovações na área de automação de processos e sustentabilidade no uso de recursos naturais, especialmente em sistemas agrícolas e industriais, onde o controle de nível de líquidos é crucial para garantir a eficiência e segurança das operações. Acredita-se que a forma didática como o sistema foi construído favorecerá ao aprendizado e estudo em aulas que envolvam a observação da dinâmica de fluidos.

7 **REFERÊNCIAS**

ARABLE. *Quatro maneiras pelas quais o monitoramento da cultura no campo pode ajudar a determinar o*. [S. l.]: [s. n.], [s. d.]. Disponível em:

<https://www.arable.com/blog/quatro-maneiras-pelas-quais-o-monitoramento-da-cultura-no-campo-pode-ajudar-a-determinar-o/>. Acesso em: 31 jul. 2025.

BAUMER. *Sensores para equipamentos agrícolas*. [S. l.]: [s. n.], [s. d.]. Disponível em: <https://www.baumer.com/br/pt/solucoes/maquinas-moveis/sensores-para-tecnologia-agricola-i-maquinas-moveis/a/sensors-agriculture-equipment?>. Acesso em: 31 jul. 2025.

COMPANHIA ELETRÔNICA DE JUNDIAÍ. *Sensor de nível de água lateral*. Jundiaí, 2025. Disponível em: <https://compeljundiai.com.br/produto/sensor-de-nivel-de-agua-lateral/>. Acesso em: 31jun. 2025.

CRAVO, Edilson. *Modbus: como funciona o protocolo, exemplos, fundamentos e mais*. Kalatec Automação, 2024. Disponível em:

<https://blog.kalatec.com.br/protocolo-modbus/>. Acesso em: 01 ago. 2025.

ELEGRAS. *Sensor de nível ultrassônico industrial*. [s. d.]. Disponível em:

<https://www.elegraz.com.br/sensor-nivel-ultrassonico-industria>. Acesso em: 01 ago. 2025.

ELEKTRA. *Sensor ultrassônico: veja quais são as principais aplicações na indústria*.

Tipo Temporário, 2022. Disponível em:

<https://tipotemporario.com.br/elektra/blog/sensor-ultrassonico-veja-quais-sao-as-principais-aplicacoes-na-industria/>. Acesso em: 31 jul. 2025.

ENDRESS+HAUSER. *Medição de nível precisa em cervejarias*. Disponível em:

<https://www.br.endress.com/pt/endress-hauser-grupo/industria-aplicacao-artigo/case-heineken>. Acesso em: 24 fev. 2025.

FELCHER, Carla Denize Ott; DIAS, Lisete Funari; BIERHALZ, Crisna Daniela Krause. Maquete física: uma ferramenta didática de ensino-aprendizagem. *EaD em Foco*, Rio de Janeiro, v. 5, n. 2, p. 149–174, 2015. Fundação Cecierj. DOI: <https://doi.org/10.18264/eadf.v5i2>. Acesso em: 30jul. 2025.

FERREIRA, L. M. Sistema supervisorio de monitoramento com Arduino e sensores múltiplos. Rio de Janeiro: UFRJ, 2023. Disponível em: <https://pantheon.ufrj.br/bitstream/11422/20766/1/LMFerreira.pdf>. Acesso em: 23 ago. 2025.

GONÇALVES, M. R. Controle de nível de planta didática usando controlador lógico programável. Monografia (Bacharelado em Engenharia Elétrica) – Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2019. Disponível em: https://www.monografias.ufop.br/bitstream/35400000/2384/1/MONOGRAFIA_Control eNivelPlanta.pdf. Acesso em: 22 ago. 2025.

HENRIQUE, B. C. M.; HENRIQUE, L. C. M.; HENRIQUE, H. M. *Arduino Based Platform for Process Control Learning / Plataforma Baseada em Arduino para Aprendizado de Controle de Processos. The Journal of Engineering and Exact Sciences (JCEC)*, Uberlândia, v. 6, n. 5, p. 0585-0593, dez. 2020. DOI: 10.18540/jcecvl6iss5pp0585-0593. Disponível em: <https://doi.org/10.18540/jcecvl6iss5pp0585-0593>. Acesso em: 26 fev. 2025.

BUSCHINI, E.; RAPANELLO, R. M. Automação e controle de uma planta didática. *Revista Inovação, Tecnologia e Sustentabilidade na Engenharia Elétrica*, Bebedouro, v. 1, n. 1, p. 1-25, 2018. Disponível em: <https://unifafibe.com.br/revistasonline/arquivos/revistaeletrica/sumario/69/28012019212354.pdf>. Acesso em: 25 jun. 2025.

KANG, S.; ZHANG, L. *Irrigação controlada para melhorar a eficiência do uso da água na agricultura*. 1998.

MEGGA INSTRUMENTOS. *Por que medir o nível de líquidos e como isso impacta os processos industriais*. 2025. Disponível em:

https://meggainstrumentos.com.br/por-que-medir-o-nivel-de-liquidos-e-como-isso-impacta-os-processos-industriais/?utm_source=chatgpt.com. Acesso em: 24 fev. 2025.

NEPIN. *Fundamentos do controle de nível na indústria*. Publicado em: 14 jun. 2024.

Disponível em: <https://www.nepin.com.br/blog/industria/controle-de-nivel-na-industria/>. Acesso em: 09 fev. 2025.

NEPIN. *Monitoramento e controle de líquidos, gases e vapor na indústria*. Publicado em: 24 out. 2023. Disponível em: <https://nepin.com.br/monitoramento-e-controle-de-liquidos-gases-e-vapor-na-industria/>. Acesso em: 15 dez. 2024.

OICS – Observatório de Inovações para Cidades Sustentáveis. *Sistema de gestão e monitoramento em redes de distribuição de água*. Atualizado em 2024. Disponível em: <https://oics.cgee.org.br/pt/-/solu%C3%A7%C3%B5es-em-foco-16-sistema-de-gest%C3%A3o-e-monitoramento-em-redes-de-distribui%C3%A7%C3%A3o-de-%C3%A1gua>. Acesso em: 26 fev. 2025.

REIS, L. S.; BAPTISTA, R. O. Controle e monitoramento de tanques via Arduino. Monografia (Engenharia de Controle e Automação) – Centro Universitário de Barra Mansa, Barra Mansa, 2015. Disponível em:

<https://periodicos.newsciencepubl.com/editoraimpacto/article/download/4752/6577/18691>. Acesso em: 23 ago. 2025.

SANTOS, Ana Clara Moreira de Santana; IEROLINO, Júlia Gimenez; SANTOS, Luiza Vasconcelos; NATIVIDADE, Michel Cardoso; CRUZ, Pedro Henrique.

Implementação de controle automático de nível em sistema físico de um tanque. *ResearchGate*, 2025. Disponível em:

https://www.researchgate.net/publication/393804778_IMPLEMENTACAO_DE_CONTROLE_AUTOMATICO_DE_NIVEL_EM_SISTEMA_FISICO_DE_UM_TANQUE. Acesso em: 23 ago. 2025.

SANTOS, João; SILVA, Maria; PEREIRA, Carlos. Desenvolvimento de um sistema de monitoramento e controle de tanques industriais. *Revista SEES*, [S.l.], v. 10, n. 3, p. 1-15, ago. 2024. Disponível em:

<https://ojs.studiespublicacoes.com.br/ojs/index.php/sees/article/download/13087/7322/35275>. Acesso em: 24 ago. 2025.

SANTOS, Wendel da silva et al. Monitoramento automatizado do nível e viscosidade na preparação de cola na indústria gráfica com Arduino. *RevistaFT*, 2021. Disponível em:<https://revistaft.com.br/monitoramento-automatizado-do-nivel-e-viscosidade-na-preparacao-de-cola-na-industria-grafica-com-arduino/>. Acesso em: 26 fev. 2025

STA SISTEMAS E TECNOLOGIA. *Sensor ultrassônico HC-SR04*. [S. l.]: [s. n.], [s. d.]. Disponível em: <https://www.sta-eletronica.com.br/artigos/arduinos/sensor-ultrassonico-hc-sr04>. Acesso em: 31 jul. 2025.

UTFPR. Desenvolvimento de módulo de controle de nível. Curitiba: Universidade Tecnológica Federal do Paraná, 2013. Disponível em: https://riut.utfpr.edu.br/jspui/bitstream/1/5644/3/CP_COELT_2013_2_07.pdf. Acesso em: 21 ago. 2025.

WIKA DO BRASIL IND. E COM. LTDA. Medição de nível industrial: o que você precisa saber. [S. l.]: [s. n.], [s. d.]. Disponível em: <https://blog.wika.com/pt/produtos/produtos-nivel/medicao-de-nivel-industrial-o-que-voce-precisa-saber/>. Acesso em: 24 fev. 2025.

8 **ANEXOS**

8.1 **ANEXO I: CÓDIGO DA PROGRAMAÇÃO NO ARDUINO**

```
// Programa: Monitoramento do nível da caixa d'água com Arduino
//
//Bibliotecas do Protocolo Modbus
#include <modbus.h>
#include <modbusDevice.h>
#include <modbusRegBank.h>
#include <modbusSlave.h>
#include <SimpleModbusSlave.h>
//
modbusDevice regBank;
modbusSlave slave;
//
// Declaração variáveis de Entrada para as Chaves Boia de TQ1 e TQ2
byte DI12=0; //Chave Boia Nivel Minimo TQ1
byte DI13=0; //Chave Boia Nivel Máximo TQ1
byte DI14=0; //Chave Boia Nivel Minimo TQ2
byte DI18=0; //Chave Boia Nivel Máximo TQ2
// Declaração das variáveis de Entrada para os sensores ultrassonicos de TQ1 e TQ2
// Define os pinos do sensor ultrassonico do TQ1
const int trigPin = 7;
const int echoPin = 6;
// Define os pinos do sensor ultrassonico do TQ2
const int trigPin2 = 11;
const int echoPin2 = 10;
//
// Define os pinos das Chaves Boia de maximo e minimo de TQ1 e TQ2
#define Superior_Maximo 13 // Define o pino do nivel maximo de TQ1
#define Superior_Minimo 12 // Define o pino do nivel minimo de TQ1
#define Inferior_Maximo 8 // Define o pino do nivel maximo de TQ2
#define Inferior_Minimo 4 // Define o pino do nivel minimo de TQ2
#define StatusBomba 5 // Define o pino do status da bomba1
// Define variáveis para armazenar o tempo de duração do pulso para o sensor ultrassonico do TQ1
long duration;
int distance;
double y1;
```

```

// Define variáveis para armazenar o tempo de duração do pulso para o sensor ultrassônico do TQ2
long duration2;
int distance2;
double y2;
// Define variáveis para as saídas digitais (DO)
byte DO9;
byte DO8;
byte DO7;
byte DO6;
byte DO5;
byte DO3;
// Fim das declarações de Variáveis e definições de pinos no Arduino
//
void setup() {
//Set Slave ID
regBank.setId(1); // ajusta o valor do Id de (1) para o slave (parâmetro N1)
//
//Add Digital Input registers
regBank.add(10003); // Adiciona o registrador 10004 (4) no Modbus (parâmetro N4)
regBank.add(10004); // Adiciona o registrador 10004 (4) no Modbus (parâmetro N4)
regBank.add(10005); // Adiciona o registrador 10005 (5) no Modbus (parâmetro N4)
regBank.add(10006); // Adiciona o registrador 10006 (6) no Modbus (parâmetro N4)
regBank.add(10007); // Adiciona o registrador 10007 (7) no Modbus (parâmetro N4)
regBank.add(10008); // Adiciona o registrador 10008 (8) no Modbus (parâmetro N4)
//
//Add Digital Output registers
regBank.add(3); // Adiciona o registrador (3) no Modbus (parâmetro N4)
regBank.add(5); // Adiciona o registrador (5) no Modbus (parâmetro N4)
regBank.add(6); // Adiciona o registrador (6) no Modbus (parâmetro N4)
regBank.add(7); // Adiciona o registrador (7) no Modbus (parâmetro N4)
regBank.add(8); // Adiciona o registrador (8) no Modbus (parâmetro N4)
regBank.add(9); // Adiciona o registrador (9) no Modbus (parâmetro N4)
//
//Add Analog Input registers
regBank.add(30002); // Adiciona o registrador 30002 (2) no Modbus (parâmetro N4)
regBank.add(30003); // Adiciona o registrador 30003 (3) no Modbus (parâmetro N4)
regBank.add(30004); // Adiciona o registrador 30004 (4) no Modbus (parâmetro N4)
regBank.add(30005); // Adiciona o registrador 30005 (5) no Modbus (parâmetro N4)
//
slave._device = &regBank;

```

```

//Set BaudRate
slave.setBaud(9600); // Ajusta o BaudRate para 9600 bps
// Configuração dos pinos
pinMode(Superior_Maximo, INPUT); // Configura o pino do nivel maximo de TQ1 como entrada
pinMode(Superior_Minimo, INPUT); // Configura o pino do nivel minimo de TQ1 como entrada
pinMode(Inferior_Maximo, INPUT); // Configura o pino do nivel maximo de TQ2 como entrada
pinMode(Inferior_Minimo, INPUT); // Configura o pino do nivel minimo de TQ2 como entrada
//
pinMode(trigPin, OUTPUT);
pinMode(echoPin, INPUT);
pinMode(trigPin2, OUTPUT);
pinMode(echoPin2, INPUT);
//
pinMode(5, OUTPUT);
pinMode(3, OUTPUT);
//
Serial.begin(9600); // Inicializa a comunicação serial
}
void loop() {
//
slave.run(); // Inicializa o modo de comunicação dos escravos
// Canal DI08 - Status da Chave Boia TQ2 Nivel Maximo (ON/OFF)
byte DI8 = digitalRead(Inferior_Maximo); // Leitura digital da porta 8 (Sinal da Chave Boia Nivel
// Maximo 2)
if (DI8 >= 1)regBank.set(10005,1); // Carrega no Registrador 10005 o valor 1 (HIGH)
if (DI8 <= 0)regBank.set(10005,0); // Carrega no Registrador 10005 o valor 0 (LOW)
// Canal DI04 - Status Chave Boia TQ2 Nivel Mínimo (ON/OFF)
byte DI4 = digitalRead(Inferior_Minimo); // Leitura digital da porta 4 (Sinal Sensor Capacitivo)
if (DI4 >= 1 )regBank.set(10006,1); // Carrega no Registrador 10006 o valor 1 (HIGH)
if (DI4 <= 0)regBank.set(10006,0); // Carrega no Registrador 10006 o valor 1 (LOW)
// Canal DI13 - Status da Chave Boia TQ1 Nivel Maximo (ON/OFF)
byte DI13 = digitalRead(Superior_Maximo); // Leitura digital da porta 8 (Sinal da Chave Boia Nivel
Maximo 2)
if (DI13 >= 1)regBank.set(10007,1); // Carrega no Registrador 10005 o valor 1 (HIGH)
if (DI13 <= 0)regBank.set(10007,0); // Carrega no Registrador 10005 o valor 0 (Low)
// Canal DI12 - Status Chave Boia TQ1 Nivel Mínimo (ON/OFF)
byte DI12 = digitalRead(Superior_Minimo); // Leitura digital da porta 4 (Sinal Sensor Capacitivo)
if (DI12 >= 1 )regBank.set(10008,1); // Carrega no Registrador 10006 o valor 1 (HIGH)
if (DI12 <= 0)regBank.set(10008,0); // Carrega no Registrador 10006 o valor 1 (LOW)
//

```

```

// Gera um pulso de 10µs no pino de trigger
digitalWrite(trigPin, LOW);
delayMicroseconds(2);
digitalWrite(trigPin, HIGH);
delayMicroseconds(10);
digitalWrite(trigPin, LOW);
// Mede o tempo de duração do pulso de eco
duration = pulseIn(echoPin, HIGH);
// Calcula a distância em centímetros
distance = round(duration * 0.034 / 2);
y1 = (-0.5989*distance) + 15.631;
regBank.set(30002, y1*100); //Carrega no Registrador 30002 (Valor de distancia)
// Gera um pulso de 10µs no pino de trigger
digitalWrite(trigPin2, LOW);
delayMicroseconds(2);
digitalWrite(trigPin2, HIGH);
delayMicroseconds(10);
digitalWrite(trigPin2, LOW);
// Mede o tempo de duração do pulso de eco
duration2 = pulseIn(echoPin2, HIGH);
// Calcula a distância em centímetros
distance2 = round(duration2 * 0.034 / 2);
y2 = (-0.6067*distance2) + 15.713;
regBank.set(30003, y2*100); //Carrega no Registrador 30003 (Valor de distancia)
// Botao liga a bomba 1 pelo Sistema SCADA
byte DO9=regBank.get(9); // Busca no registrador 9 o status (0 ou 1) da variável Botaoliga1 (SCADA)
// Botao liga a bomba 2 pelo Sistema SCADA
byte DO8=regBank.get(8); // Busca no registrador 8 o status (0 ou 1) da variável Botaoliga2 (SCADA)
// Botao seleciona o MODO do Sistema SCADA: Automático ou Manual
byte DO7=regBank.get(7); // Busca no registrador 7 o status (0 ou 1) da variável MODO (SCADA)
// Botao EMERGE CNIA do Sistema SCADA: efetua o desligamento das bombas e valvula
byte DO6=regBank.get(6); // Busca no registrador 6 o status (0 ou 1) da variável MODO (SCADA)
//
////////// AÇÕES de Automação e Controle dos Níveis dos Tanques na Planta Didática //////////
//
// Condições para ligar e desligar as bombas 1 e 2 de forma automatica e manual
// MODO AUTOMÁTICO
if(DO7>=1){
    if((DI12==1) || (DI8==1))digitalWrite(5,HIGH);
    if((DI13==1) || (DI4==1) || (DO6>=1))digitalWrite(5,LOW);
}

```

```

    if((DI4==1) && (DI12==0))digitalWrite(3,HIGH);
    if((DI12==1) || (DI8==1) || (DO6>=1))digitalWrite(3,LOW);
  }
  // MODO MANUAL
  if(DO7<=0){
    if(DO9>=1)digitalWrite(5,HIGH);
    if((DO9<=0)||((DO6>=1))digitalWrite(5,LOW);
    if(DO8>=1)digitalWrite(3,HIGH);
    if((DO8<=0)||((DO6>=1))digitalWrite(3,LOW);
  }
  // Canal DI05 - Status da bomba 1
  DO5 = digitalRead(5);
  regBank.set(10004, DO5); //Carrega no Registrador 30005 (Valor de fluxo da entrada do TQ1)
  // Canal DI03 - Status da bomba 2
  DO3 = digitalRead(3);
  regBank.set(10003, DO3); //Carrega no Registrador 30003 (Valor de fluxo da entrada do TQ2)
  delay (1000);
}

```