

Projeto de proteção de bombas contra funcionamento a seco

Project for the protection of pumps against dry running operation

Ederson Damião Torres Manfrim¹
Isabele dos Santos de Moraes²
Ramon Souto Paranhos³
Alexandre Imperatore Ribeiro⁴

RESUMO

O presente trabalho apresenta o desenvolvimento de um sistema automatizado para controle de nível de água e proteção de bombas contra o funcionamento a seco, voltado para condomínios e outras instalações com alto consumo hídrico. O estudo enfatiza a importância do uso racional da água e da automação como estratégias para reduzir desperdícios, falhas operacionais e custos de manutenção. A solução proposta utiliza sensores ultrassônicos, microcontrolador Arduino e Controlador Lógico Programável (CLP) para monitorar continuamente os níveis de água e acionar as bombas de forma segura e eficiente. A metodologia adotada envolveu pesquisa teórica, construção de um protótipo e testes simulando o funcionamento real em um condomínio. O sistema foi avaliado nos modos automático e manual, incluindo a função de bypass para situações emergenciais. Os resultados demonstraram que a automação reduz o risco de queima das bombas, evita o funcionamento a seco e proporciona economia significativa de energia e manutenção. Conclui-se que o projeto é tecnicamente viável, de baixo custo e facilmente adaptável a diferentes contextos, promovendo uma gestão hídrica mais eficiente, sustentável e confiável.

Palavras-chave: Automação; Arduino; CLP; Controle de nível; Economia de energia; Sustentabilidade.

¹automacaomanfrim@gmail.com

²isadosantos100@gmail.com

³ramon.souto.par@hotmail.com

⁴imperatore@ymail.com

ABSTRACT

This paper presents the development of an automated system for water level control and pump dry-run protection, designed for condominiums and other high water consumption facilities. The study emphasizes the importance of rational water use and automation as strategies to reduce waste, operational failures, and maintenance costs. The proposed solution uses ultrasonic sensors, an Arduino microcontroller, and a Programmable Logic Controller (PLC) to continuously monitor water levels and activate pumps safely and efficiently. The methodology involved theoretical research, prototype construction, and tests simulating real condominium operation. The system was evaluated in both automatic and manual modes, including a bypass function for emergency situations. Results demonstrated that automation reduces the risk of pump burnout, prevents dry-run operation, and provides significant savings in energy and maintenance. It is concluded that the project is technically viable, low-cost, and easily adaptable to different contexts, promoting more efficient, sustainable, and reliable water management.

Keywords: Automation; Arduino; PLC; Level control; Energy efficiency; Sustainability.

1 INTRODUÇÃO

O uso consciente de água e consumo de energia, são essenciais com o crescimento populacional, a crescente urbanização e o uso excessivo dos recursos hídricos. Em ambientes que demandam grande volume de abastecimento, como condomínios, escolas e empresas, a adoção de sistemas automatizados de controle é uma alternativa cada vez mais necessária para garantir eficiência, economia e sustentabilidade.

A automação no controle nos abastecimentos de reservatórios permite um monitoramento preciso e contínuo, reduzindo falhas humanas e prevenindo situações críticas, como o funcionamento a seco das bombas. Segundo Grundfos (2024), “a proteção contra funcionamento em seco para bombas de água é uma das funções de monitorização mais importantes, uma vez que os rolamentos e o empanque podem ser danificados se as bombas de pressurização funcionarem a seco”. Dessa forma, a instalação de mecanismos de proteção é fundamental para evitar danos aos equipamentos, desperdício de energia e interrupções no abastecimento.

Nesse contexto, a aplicação de tecnologias como sensores de nível, controladores lógicos programáveis (CLPs) e microcontroladores se mostra uma solução eficaz para promover o controle inteligente do consumo de água. Além de

aumentar a confiabilidade do sistema, essas ferramentas contribuem para a redução de custos operacionais e para o uso sustentável dos recursos naturais. Assim, estudar e implementar sistemas automatizados de controle hídrico é essencial para garantir não apenas a eficiência técnica, mas também a preservação ambiental e a segurança operacional.

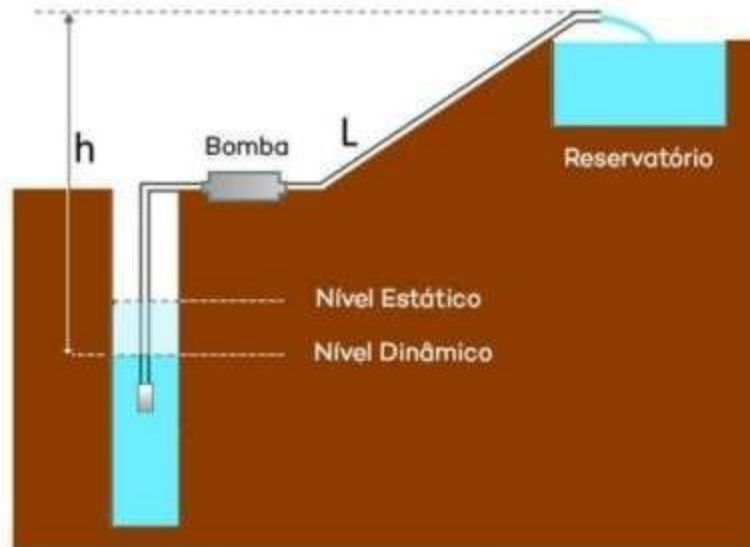
2. FUNDAMENTOS TEÓRICOS

O abastecimento de água em grandes sistemas prediais e industriais, tais como condomínios, escolas, shoppings e pequenas comunidades, apresenta desafios significativos relacionados ao controle eficiente do consumo e à proteção dos equipamentos de bombeamento. A automação desses sistemas torna-se fundamental para garantir o fornecimento contínuo de água, otimizar o consumo energético e proteger os investimentos em equipamentos.

2.1 CARACTERÍSTICAS E COMPORTAMENTO DE POÇOS TUBULARES

Conforme apresentado por Alves et al. (2025), os poços tubulares são tecnologias estratégicas e imprescindíveis para minimizar os efeitos de periódicas estiagens, sendo amplamente utilizados na região Nordeste como alternativa para suprimento de pequenas comunidades. O comportamento hidráulico de um poço tubular é caracterizado por parâmetros fundamentais que determinam sua capacidade operacional.

Figura 1 – Esquematização do poço tubular



Fonte: (Perfurarte, 2021)

O nível estático (NE) corresponde à altura da lâmina de água acima do fundo do poço quando este se encontra em repouso, sem bombeamento. Já o nível dinâmico (ND) é atingido quando o conjunto motobomba está em funcionamento e o nível se estabiliza em relação à sucção fornecida pela bomba.

Para o cálculo da área referente à abertura do poço, utiliza-se a equação:

$$S = \frac{\pi D^2}{4}$$

Onde D representa o diâmetro em metros e S a área em m².

A vazão do poço é calculada através da fórmula:

$$Q = \frac{S \times a}{t}$$

Em que Q representa a vazão em m³/h, S a área em m², a = (NE - ND) em metros, e t o tempo de recarga em horas.

2.2 PROTEÇÃO DE SISTEMAS DE BOMBEAMENTO

A proteção de bombas centrífugas contra funcionamento a seco constitui aspecto crítico em sistemas de abastecimento a partir de poços tubulares. A proteção contra

funcionamento em seco para bombas de água é uma das funções de monitorização mais importantes, uma vez que os rolamentos e o empanque podem ser danificados se as bombas de pressurização funcionarem a seco (Grundfos, 2024).

O monitoramento contínuo do nível do poço permite implementar sistemas de segurança que impedem a operação da bomba quando o nível está abaixo do limite seguro. Adicionalmente, sistemas de temporização são fundamentais para respeitar o tempo de recarga natural do lençol freático, evitando ciclos de bombeamento que possam comprometer tanto a bomba quanto a disponibilidade hídrica do poço.

Figura 2 – Bomba danificada por funcionamento a seco.



Fonte: (Inácio, 2013)

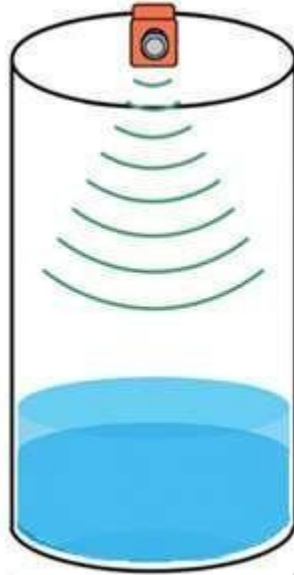
2.3 SENSORIAMENTO DE NÍVEL POR ULTRASSOM E AUTOMAÇÃO

Os sensores ultrassônicos representam uma solução eficaz para monitoramento de nível em reservatórios e poços, operando através da emissão de ondas sonoras de alta frequência e medição do tempo de retorno do eco refletido pela superfície da água. Esta tecnologia oferece vantagens como ausência de contato direto com o fluido, alta precisão e facilidade de integração com sistemas de controle.

Palhano (2018) desenvolveu um sistema de controle automático de nível para reaproveitamento de água utilizando a plataforma microcontrolador Arduino. Em seu trabalho, sensores ultrassônicos são utilizados para medir o nível de água nos

reservatórios, enviando sinais para o Arduino, informando no display a quantidade de nível nos reservatórios e realizando o processo de controle.

Figura 3 – Funcionamento de um sensor medindo o nível de água



Fonte: (Autor, 2025)

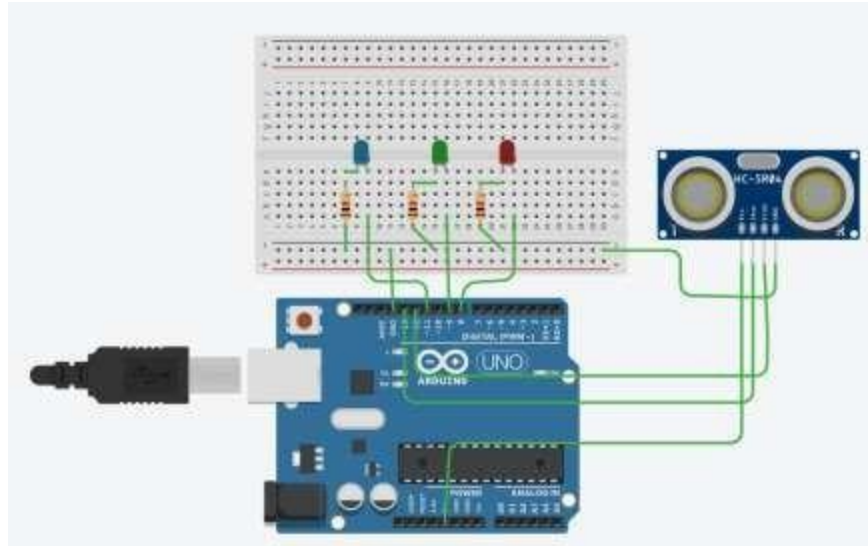
O princípio de funcionamento baseia-se na equação:

$$\text{Distância} = (\text{Velocidade do som} \times \text{Tempo}) / 2$$

A divisão por dois é necessária, pois o tempo medido corresponde ao trajeto de ida e volta da onda sonora.

A utilização de microcontroladores, como o Arduino, em sistemas de automação predial tem crescido significativamente devido à sua facilidade de programação, baixo custo e versatilidade. Segundo Palhano (2018), o Arduino é um pequeno computador que você pode programar para processar entradas e saídas entre o dispositivo e os componentes externos conectados a ele, possibilitando a melhoria da qualidade de vida das pessoas no sentido de economia, permitindo que haja menos desperdício de água.

Figura 4 – Circuito de medição de distância 3 níveis



Fonte: (Autor, 2025)

Em aplicações de controle de nível, o microcontrolador pode processar sinais de sensores ultrassônicos, implementar lógicas de controle com histerese para evitar acionamentos desnecessários, e gerar sinais de comando para outros dispositivos de automação.

2.4 CONTROLADORES LÓGICOS PROGRAMÁVEIS EM SISTEMA HIDRÁULICOS

Os Controladores Lógicos Programáveis (CLPs) são dispositivos industriais projetados para operar em ambientes adversos, oferecendo alta confiabilidade e robustez. Conforme Embarcados (2021), os CLPs foram desenvolvidos na década de 60, com a finalidade de substituir painéis de relés que eram utilizados nas indústrias automobilísticas para executar controles baseados em lógicas combinacional e sequencial.

Em sistemas de bombeamento, os CLPs podem integrar múltiplas variáveis de processo, implementar intertravamentos de segurança e executar lógicas complexas de controle. Entre suas principais características estão a alta confiabilidade, capacidade de programação, imunidade a ruídos e interferências, isolamento elétrica de entradas e saídas, e operação em condições ambientais severas (Embarcados, 2021).

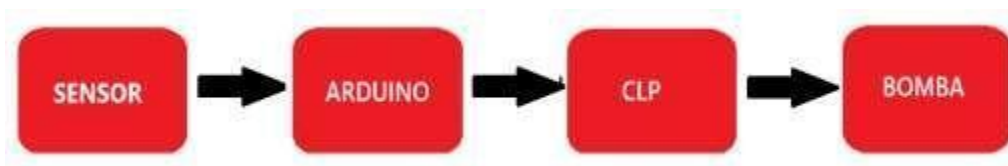
Os CLPs são aplicados em processos como controle de turbomáquinas, controle de processos e malhas de controle como vazão, nível, pressão e temperatura, controle de motores elétricos e bombas (Embarcados, 2021). Sua aplicação também se estende à automação de prédios e residências para controlar bombas de água, iluminação programada e sistemas de proteção.

A integração entre microcontroladores e CLPs permite criar sistemas híbridos que aproveitam a flexibilidade dos microcontroladores para processamento de sinais e a robustez dos CLPs para controle de potência e segurança operacional.

2.5 INTEGRAÇÃO DE SISTEMAS DE CONTROLE

A automação completa de sistemas de abastecimento requer a integração harmoniosa entre diferentes tecnologias: sensoriamento preciso de níveis, processamento inteligente de informações, controle seguro de equipamentos de potência e interfaces adequadas para monitoramento e intervenção manual.

Figura 5– Diagrama de bloco



Fonte: (Autor, 2025)

Sistemas integrados permitem implementar estratégias avançadas de controle, como temporização inteligente baseada nas características específicas de cada poço, otimização do consumo energético através de acionamentos programados, e registro de dados operacionais para manutenção preditiva.

Baseado nos estudos apresentados, o desenvolvimento de um sistema automatizado para controle de abastecimento de água a partir de poços tubulares representa uma solução tecnicamente viável e economicamente vantajosa para aplicações que demandam alto grau de confiabilidade e eficiência operacional.

3 METODOLOGIA

A metodologia adotada foi de caráter experimental e aplicada. Inicialmente, foi realizado um levantamento teórico sobre o funcionamento de bombas centrífugas, sensores de nível e sistemas de automação industrial, além da análise do sistema de abastecimento de um condomínio real. Essa análise serviu de base para compreender as condições reais de operação e os principais problemas enfrentados.

Com base nesse levantamento, foi construído o protótipo do sistema, utilizando um microcontrolador Arduino, um sensor ultrassônico e um Controlador Lógico Programável (CLP). O Arduino processava os sinais do sensor e os transmitia ao CLP, que liberava o acionamento da bomba apenas quando havia detecção segura de água no poço. Para simular o funcionamento real, foram utilizados dois baldes representando o poço artesiano e a caixa d'água.

O sistema foi testado em dois modos de operação: automático e manual, incluindo a função de bypass para situações emergenciais. Os dados obtidos foram analisados com base nas condições reais do condomínio estudado.

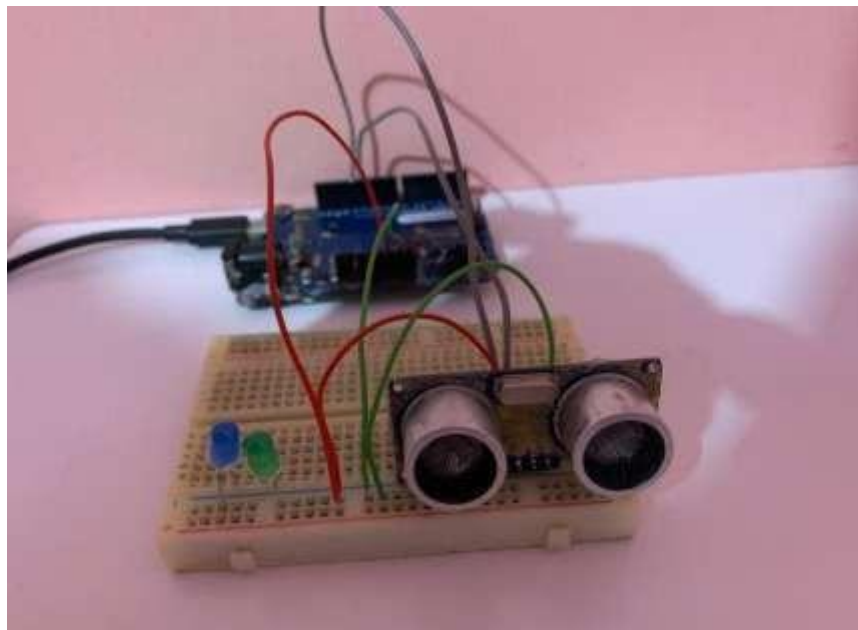
4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 PROTEÇÃO DE BOMBAS D'ÁGUA CONTRA FUNCIONAMENTO A SECO.

Nosso projeto tem como objetivo principal a proteção das bombas d'água contra o funcionamento a seco, que pode gerar diversos problemas, como sobretensão, sobrecorrente ou ressecamento/danificação do selo mecânico da bomba. Em seu funcionamento primário, o sistema impede que a bomba seja ativada sem água. Para isso, é implantado um sensor ultrassônico na caixa d'água, responsável por monitorar a necessidade de água e o nível da caixa, em dois pontos: nível alto e nível baixo.

Quando o sensor identifica o nível baixo, ele envia um sinal solicitando água para a bomba. Esse sinal é interrompido somente quando o sensor detecta que a água atingiu o nível alto, voltando a ser enviado novamente apenas quando o nível retornar ao ponto baixo. No projeto, utilizamos um sensor de distância (representando o sensor ultrassônico) e um Arduino, responsável pela telemetria.

Figura 6 – Diagrama de bloco



Fonte: (Autor, 2025)

O sinal captado pelo sensor é processado pelo Arduino e enviado ao CLP, que só permite o acionamento da bomba caso detecte água no poço artesiano.

Essa detecção é feita por três eletrodos:

O primeiro, instalado na altura da bomba ou abaixo dela, representa o “nível seco”. Ele envia uma tensão (via CLP) à água do poço, gerando condutividade.

O segundo eletrodo, posicionado mais acima (distância definida conforme o local de instalação), ao ser atingido pela água, cria um “curto” entre os dois primeiros, sinalizando “nível baixo”.

O terceiro eletrodo, colocado no ponto mais alto alcançado pela água, também gera um curto quando submerso, enviando ao CLP o sinal de “nível alto”.

Para simular o sistema, utilizamos dois baldes, representando o poço e a caixa d’água.

Figura 7 – Protótipo do projeto



Fonte: (Autor, 2025)

O CLP recebe as informações sobre a necessidade de abastecimento da caixa e só liga a bomba se o poço estiver com nível baixo ou alto, garantindo assim a proteção contra funcionamento a seco. Instalamos dois disjuntores — um para o circuito de potência e outro para o de comando — e uma contatora que recebe o sinal do CLP para acionar a bomba, junto com um relé térmico. Temos também um relé temporizado e um conjunto de relés que faz ponte entre o sinal do Arduino e sinal do CLP.

Figura 8– Imagem Interno do Painel Elétrico



Fonte: (Autor, 2025)

O sistema possui dois modos de operação:

- Automático: todo o processo ocorre conforme a lógica descrita anteriormente.
- Manual: permite acionar a bomba manualmente, ignorando os valores dos sensores. No entanto, se o CLP identificar nível seco no poço, mesmo o modo manual não permitirá o acionamento, pois o sistema conta com um relé temporizado. Esse relé só libera o acionamento após um tempo determinado, garantindo que o poço tenha se enchido o suficiente para não danificar a bomba. Se ainda assim for necessário ligar a bomba, é possível “forçar” o relé para acionamento.

O sistema também possui um botão de emergência, fazendo o desligamento imediato da bomba

Figura 9 – Imagem Painel elétrico Desligado/Ligado



Fonte: (Autor, 2025)

Figura 10 – Protótipo completo



Fonte: (Autor, 2025)

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Em um condomínio com cerca de 1.032 apartamentos, oito caixas d'água e mais de cinco mil moradores, o sistema utiliza oito bombas do modelo Submersa SGV – 2,2

kW – 3 CV para o abastecimento. Falhas no controle de nível resultam em funcionamento a seco, queima de componentes e desperdício de energia, gerando custos elevados de reparo e substituição de equipamentos, além do risco de interrupção no abastecimento de centenas de unidades.

Com o sistema de automação proposto, as bombas operam somente quando o nível da água exige, reduzindo significativamente o desperdício de energia elétrica, os custos de manutenção e aumentando a vida útil dos equipamentos.

Do ponto de vista tecnológico, o protótipo utilizou o Arduino como intermediário entre os sensores ultrassônicos e o CLP. Versões futuras do sistema poderiam eliminar essa camada, integrando sensores ultrassônicos diretamente ao CLP por meio de entradas analógicas ou protocolos industriais como Modbus RTU ou IO-Link, reduzindo pontos de falha e simplificando a manutenção.

A incorporação de conectividade Wi-Fi ou Ethernet permitiria monitoramento remoto em tempo real, com envio de alertas, visualização de histórico de acionamentos e controle das bombas via aplicativo. A integração com protocolos de automação predial, como MQTT ou BACnet, possibilitaria conectar o sistema a uma plataforma de gestão mais ampla, abrangendo outros subsistemas do condomínio.

A adição de sensores de pressão, temperatura e corrente elétrica, combinada ao armazenamento de dados operacionais no CLP, viabilizaria a implementação de manutenção preditiva, identificando padrões de desgaste antes de falhas críticas.

Conclui-se que o projeto é tecnicamente viável, de baixo custo e adaptável a diferentes contextos, com potencial de evolução modular em direção a sistemas mais inteligentes, conectados e alinhados às demandas de eficiência hídrica e energética.

REFERÊNCIAS

ALVES, Jandelson de Oliveira et al. Determinação da vazão e tempo de recarga de um poço tubular município de Serra Talhada-PE. **Universidade Federal Rural de Pernambuco/Unidade Acadêmica de Serra Talhada**, 2025.

EMBARCADOS. CLP - Controlador Lógico Programável - Parte 1. **Portal Embarcados**, 2021. Disponível em: <https://embarcados.com.br/clp-parte1/>. Acesso em: 22 set. 2025.

GRUNDFOS. Proteção contra funcionamento em seco. **Grundfos Portugal**, 2024. Disponível em: <https://www.grundfos.com/pt/learn/research-and-insights/dry-running-protection>. Acesso em: 22 set. 2025.

PALHANO, Luiz Fábio de Souza. Desenvolvimento de um Sistema de Controle de Nível para Reaproveitamento de Água. **Revista Científica Multidisciplinar Núcleo do Conhecimento**, v. 7, p. 69-85, 2018. Disponível em: <https://www.nucleodoconhecimento.com.br/ciencia-da-computacao/controle-de-nivel>. Acesso em: 22 set. 2025.

INÁCIO, Lucas. O que acontece quando usamos aditivo ruim? Bomba d'água danificada GM 1.6 8v. **YouTube**, 2013. Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=y3upbCJHv9A>. Acesso em: 22 set. 2025.

PERFURARTE. Nível estático e dinâmico: o que é e como medir. **Perfurarte**, 2021. Disponível em: <https://www.perfurarte.com.br/post/nivel-estatico-dinamico> Acesso em: 22 set0. 2025.