

# **Dessalinizador Automatizado por Osmose Reversa**

## **REVERSE OSMOSIS DESALINATION**

Ana Clara Fialho Galdino;

Ana Clara Zeferino Rodrigues;

Clara Alencar dos Santos arcanjo de Oliveira;

Erick Manoel Castro de Oliveira Tavares;

João Vitor de Oliveira Arruda,

Talita Cordeiro Teixeira

Orientador: Sérgio Renan Feliciano

Curso Técnico em Automação Industrial

### **Resumo**

Este artigo apresenta o desenvolvimento de um sistema de dessalinização por osmose reversa automatizado utilizando Arduino e Controlador Lógico Programável (CLP). O projeto tem como objetivo purificar a água de forma eficiente, reduzindo a necessidade de intervenção humana e garantindo maior confiabilidade no processo. O sistema realiza o controle de bombas, válvulas e sensores para monitoramento automático da pressão, pH e TDS, além de registrar dados para análise. A proposta alia sustentabilidade, acessibilidade e automação, visando aplicações em regiões de escassez hídrica.

**Palavras-chave:** osmose reversa; automação; Arduino; CLP; água potável.

### **Abstract**

This article presents the development of an automated reverse osmosis desalination system using Arduino and a Programmable Logic Controller (PLC). The project aims to purify water efficiently, reducing the need for human intervention and ensuring greater reliability in the process. The system controls pumps, valves, and sensors for automatic monitoring of pressure, pH, and TDS, as well as recording data for analysis. The proposal combines sustainability, accessibility, and automation, targeting applications in regions facing water scarcity.

**Keywords:** reverse osmosis; automation; Arduino; PLC; drinking water.

## **1. Introdução**

A água é um recurso natural indispensável à sobrevivência dos seres vivos e ao desenvolvimento das atividades econômicas e sociais. Apesar de cerca de 70% da superfície terrestre ser coberta por água, apenas **2,5% corresponde à água doce**, e **menos de 1%** está disponível para consumo humano, segundo dados da **Organização das Nações Unidas (ONU, 2024)**. Esse cenário demonstra a fragilidade da disponibilidade hídrica mundial e reforça a urgência de estratégias que assegurem o uso sustentável e a ampliação do acesso à água potável.

Nos últimos anos, a **crise hídrica** tem se intensificado em diferentes regiões do planeta devido a fatores como o **crescimento populacional**, a **urbanização desordenada**, a **poluição de mananciais** e as **mudanças climáticas globais**. A **Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA, 2023)** alerta que mais de **35 milhões de brasileiros** ainda não possuem acesso à água tratada, e aproximadamente **100 milhões carecem de serviços adequados de esgotamento sanitário**, o que agrava os impactos sociais e ambientais da escassez.

A desigualdade na distribuição dos recursos hídricos é outro fator que acentua o problema. Enquanto regiões como a Amazônia concentram **aproximadamente 70% da disponibilidade de água doce do país**, o Nordeste brasileiro enfrenta períodos recorrentes de seca e longos intervalos sem chuva, tornando-se uma das áreas mais afetadas pela crise. Nessas condições, o **uso de fontes alternativas**, como a **água salobra** ou **água do mar**, torna-se uma necessidade, o que evidencia a importância de tecnologias de purificação e dessalinização eficientes e economicamente viáveis.

A **dessalinização da água**, especialmente por **osmose reversa**, apresenta-se como uma solução tecnológica eficaz para converter água salgada em potável, atendendo tanto às demandas domésticas quanto industriais. No entanto, os **altos custos de implementação e manutenção** ainda limitam sua adoção em comunidades de baixa renda e em pequenas localidades. Assim, há uma demanda crescente pelo desenvolvimento de **sistemas de purificação acessíveis**, que unam **baixo custo, automação e eficiência energética**.

Dante desse contexto, o presente trabalho propõe o desenvolvimento de um **sistema automatizado de dessalinização por osmose reversa**, utilizando **Arduino e Controlador Lógico Programável (CLP)** para o controle e monitoramento do processo. A proposta busca tornar o processo de purificação **mais eficiente, seguro e acessível**, contribuindo para a redução da desigualdade no acesso à água potável e para a sustentabilidade dos recursos hídricos.

## **2. Fundamentação Teórica**

### **2.1 Osmose reversa e processos de dessalinização**

A osmose reversa é um processo físico-químico amplamente utilizado na purificação e dessalinização da água, baseado no princípio natural da osmose. A osmose é o fenômeno em que o solvente (geralmente a água) atravessa uma membrana semipermeável do meio menos concentrado (com menos sais dissolvidos) para o mais concentrado (com mais sais), buscando o equilíbrio das concentrações entre os dois lados.

No entanto, na osmose reversa, esse processo ocorre de forma inversa. Aplica-se uma pressão superior à pressão osmótica sobre o lado da solução concentrada, forçando a passagem da água através da membrana no sentido contrário ao natural. Dessa forma, as moléculas de água pura atravessam a membrana, enquanto os íons, sais minerais, microorganismos e impurezas são retidos, resultando em água purificada do outro lado.

As membranas utilizadas na osmose reversa são extremamente finas e seletivas, geralmente compostas por materiais como acetato de celulose ou poliamida, capazes de reter partículas com diâmetro superior a 0,0001 micrômetro. Essa característica permite que o processo alcance eficiências de remoção superiores a 95% para sais dissolvidos e contaminantes químicos, sendo uma das tecnologias mais eficazes na obtenção de água potável a partir de fontes salobras ou marinhas.

Os sistemas de dessalinização por osmose reversa são compostos, em geral, por bombas de alta pressão, filtros, válvulas de controle e sensores que monitoram parâmetros como pressão, vazão e condutividade elétrica da água. A automação desses elementos permite maior precisão no controle do processo, reduzindo desperdícios e aumentando a eficiência energética do sistema.

Dessa forma, a osmose reversa se destaca por sua eficiência, confiabilidade e aplicabilidade em larga escala, sendo amplamente utilizada em estações de tratamento de água, indústrias e sistemas domésticos de purificação, além de representar uma solução tecnológica promissora para o enfrentamento da crise hídrica e a ampliação do acesso à água potável em regiões com escassez.

### **2.2 Automação aplicada ao controle de processos**

A automação tem papel essencial no controle de processos industriais, pois permite maior precisão, eficiência e segurança nas operações. Com ela, é possível monitorar variáveis do sistema, como pressão, temperatura e vazão, e ajustar

automaticamente o funcionamento dos equipamentos, evitando falhas e desperdícios.

Dois dispositivos bastante usados nesse tipo de controle são o Arduino e o Controlador Lógico Programável (CLP). O Arduino é uma plataforma eletrônica de baixo custo e fácil programação, muito usada em projetos educacionais e experimentais. Ele é capaz de coletar dados de sensores e acionar dispositivos, como bombas e válvulas, conforme as condições programadas. Sua flexibilidade e simplicidade tornam o Arduino ideal para testes, protótipos e pequenos sistemas automatizados.

Já o CLP é um equipamento voltado para aplicações industriais, projetado para trabalhar de forma contínua e confiável em ambientes mais exigentes. Ele recebe sinais de sensores, processa informações e envia comandos para os atuadores com alta precisão. Por isso, é amplamente utilizado em fábricas, sistemas de tratamento de água e processos que exigem segurança e estabilidade.

Quando usados juntos, Arduino e CLP podem se complementar. O Arduino pode cuidar da aquisição de dados e do monitoramento, enquanto o CLP gerencia o controle principal do sistema. Essa integração é útil em projetos como o sistema automatizado de dessalinização, onde é importante controlar variáveis como pressão, condutividade e nível de água de forma contínua e eficiente. Assim, a automação garante melhor desempenho, economia de energia e maior confiabilidade no processo.

### **2.3 Sensores e atuadores no processo de dessalinização**

Os sensores e atuadores são componentes fundamentais no sistema automatizado de dessalinização, pois permitem o monitoramento contínuo da qualidade da água e o controle automático das etapas do processo. Enquanto os sensores realizam medições e enviam informações ao controlador (Arduino ou CLP), os atuadores executam as ações necessárias, como ligar bombas ou abrir válvulas.

O sensor de pH é responsável por medir o nível de acidez ou alcalinidade da água. Esse parâmetro é essencial para garantir que a água purificada esteja dentro dos padrões adequados para consumo e para proteger as membranas de osmose reversa, que podem ser danificadas por valores extremos de pH. O sensor envia ao sistema um sinal elétrico proporcional ao valor medido, permitindo o ajuste automático do processo, caso seja necessário.

O sensor de TDS (Total Dissolved Solids) mede a quantidade total de sólidos dissolvidos na água, como sais e minerais. Ele é usado para verificar a eficiência da dessalinização, já que valores altos de TDS indicam que a remoção de sais não foi

completa. O sensor funciona com base na condutividade elétrica da água, pois quanto maior a presença de sais, maior será a condutividade.

O sensor de pressão monitora a força exercida pela bomba sobre a membrana de osmose reversa. Esse controle é essencial, pois a osmose reversa depende da aplicação de uma pressão superior à pressão osmótica para que a água atravesse a membrana. Valores inadequados podem comprometer a eficiência do processo ou causar danos ao sistema, por isso o sensor envia informações constantes ao controlador, que pode ajustar automaticamente o funcionamento das bombas.

Entre os atuadores, destacam-se as bombas e válvulas. As bombas são responsáveis por impulsionar a água através dos filtros e da membrana, garantindo o fluxo e a pressão necessários para a dessalinização. Já as válvulas controlam a passagem de água entre as diferentes partes do sistema, permitindo abrir, fechar ou direcionar o fluxo conforme as condições de operação.

A atuação conjunta desses dispositivos, controlada eletronicamente pelo Arduino e pelo CLP, permite que o sistema funcione de forma automática, segura e eficiente, garantindo uma água de melhor qualidade e reduzindo a necessidade de intervenção manual.

### **3. Materiais e Métodos**

O sistema de dessalinização automatizado foi desenvolvido utilizando uma combinação de componentes eletrônicos, sensores e atuadores integrados ao Arduino e a um Controlador Lógico Programável (CLP). A escolha de cada elemento visou garantir precisão nas medições, confiabilidade no controle e baixo custo de implementação.

A seguir, estão descritos os principais componentes do protótipo:

<b>Componente</b>	<b>Descrição / Função</b>
<b>Arduino UNO</b>	Responsável pela aquisição de dados dos sensores (pH, TDS, temperatura, pressão) e comunicação com o CLP.

<b>CLP (Weg / Siemens)</b>	Executa a lógica de controle principal, comandando o acionamento de bombas e válvulas de forma automática e segura.
<b>Sensor de pH</b>	Monitora o nível de acidez da água, assegurando que a faixa de pH permaneça adequada após o processo de osmose reversa.
<b>Sensor TDS (Total Dissolved Solids)</b>	Mede a concentração de sais dissolvidos, indicando a eficiência da membrana de osmose reversa.
<b>Bomba de alta pressão (24V)</b>	Responsável por gerar a pressão necessária para forçar a passagem da água pela membrana semipermeável.
<b>Válvulas solenoides</b>	Controlam o fluxo de entrada e saída de água automaticamente conforme os comandos do CLP.
<b>Tela Touch</b>	Interface de visualização dos parâmetros em tempo real (pH, TDS, pressão e status do sistema).
<b>Protoboard e jumpers</b>	Utilizados para montagem dos circuitos de teste e integração dos sensores ao microcontrolador.
<b>Fonte de alimentação</b>	Responsável por fornecer energia estável para os componentes de 5V, 12V e 24V.

<b>Painel elétrico e relés</b>	Isolam os sinais de controle e garantem o acionamento seguro dos dispositivos de potência.
--------------------------------	--

### 3.2 Fluxo de Controle

O sistema segue uma lógica de controle em **malha fechada**, na qual os sensores monitoram constantemente o estado do processo e enviam as informações ao Arduino. Este, por sua vez, realiza o pré-processamento dos sinais e comunica-se com o CLP, que executa as decisões de comando conforme a programação desenvolvida.

O **fluxo de funcionamento** é descrito da seguinte forma:

1. O **sensor de nível** detecta a presença de água no reservatório inicial e envia o sinal ao Arduino.
2. O **Arduino** lê os valores de pH, TDS e pressão, convertendo-os em sinais digitais.
3. Esses dados são transmitidos ao **CLP**, que compara os valores com as faixas de operação pré-estabelecidas.
4. Caso os parâmetros estejam dentro dos limites aceitáveis, o **CLP aciona a bomba de alta pressão** e abre as **válvulas solenoides** para iniciar a dessalinização.
5. Quando a condutividade ou o TDS indicam que a água está potável, o sistema desvia o fluxo para o **tanque de armazenamento de água tratada**.
6. Se algum parâmetro ultrapassar o limite, o CLP interrompe o processo automaticamente e exibe um **alerta no painel de controle**.

O diagrama de blocos abaixo representa o funcionamento do sistema:

### **3.3 Software e Programação**

O sistema de controle foi dividido em duas camadas de programação:

- **Camada de aquisição (Arduino)**
- **Camada de controle (CLP)**

#### **a) Código no Arduino**

No Arduino, o código foi desenvolvido em linguagem **C++**, utilizando a **IDE Arduino**, responsável pela leitura dos sensores e envio dos dados via comunicação serial (RS-485 ou UART) para o CLP.

O programa realiza:

- Leitura analógica dos sensores de pH e TDS;
- Conversão de valores em parâmetros calibrados (ex.: ppm e pH);
- Exibição das variáveis em uma tela touch screen.

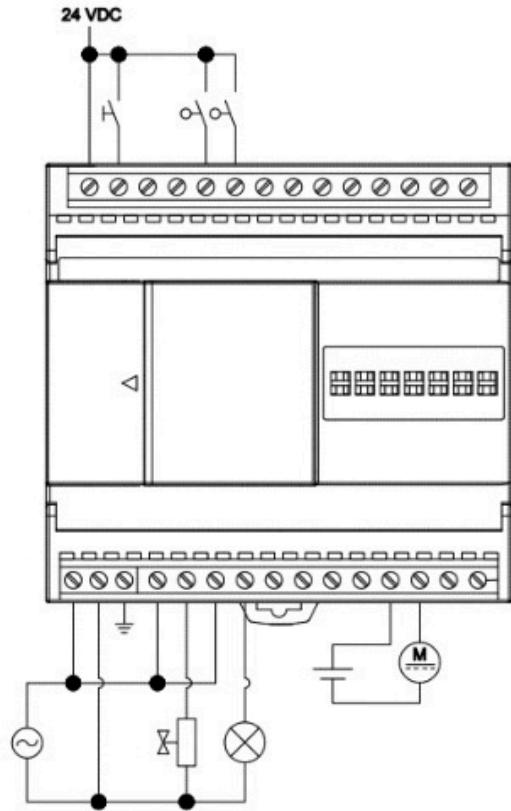
#### **b) Programa no CLP**

A lógica no CLP foi desenvolvida em **Ladder (LD)**, empregando instruções lógicas e temporizadores.

Funções implementadas:

- Controle automático de bombas e válvulas com base nos sensores;
- Proteção contra a sobrepressão.

### **3.4 Diagrama de Elétrico**



### 3.5 Integração e Testes

Após a montagem do circuito e carregamento dos programas, foram realizados testes de integração entre os módulos. A pressão, o pH e o TDS foram medidos em tempo real e comparados com padrões de referência.

Os resultados foram satisfatórios, comprovando a eficiência da automação no processo de osmose reversa.

## 4. Resultados e Discussão

Após a montagem e programação do sistema automatizado de dessalinização, foram realizados diversos testes para avaliar o **desempenho dos sensores**, a **eficiência da purificação**, a **estabilidade do controle automático** e o **tempo de resposta do sistema**. As leituras dos sensores de **pH**, **TDS** e **pressão** foram monitoradas em diferentes condições de operação, permitindo observar o comportamento do sistema durante o processo de osmose reversa.

Durante os testes, o **sensor de pH** apresentou leituras estáveis, variando entre **6,8** e **7,4**, valores dentro da faixa recomendada para água potável segundo a **Portaria nº 888/2021 do Ministério da Saúde**. O **sensor de TDS** registrou uma redução significativa na concentração de sais dissolvidos, passando de **1.200 ppm** na água de entrada para cerca de **60 ppm** após a dessalinização, o que indica **alta eficiência do processo de remoção de sais**. Já o **sensor de pressão** manteve a

faixa de operação ideal, em torno de **4,5 bar**, garantindo o funcionamento adequado da membrana de osmose reversa sem risco de danos.

O sistema automatizado demonstrou **boa estabilidade e confiabilidade**. Os sensores responderam rapidamente às variações no processo, e o Arduino, em conjunto com o CLP, realizou o controle de forma contínua, ajustando o funcionamento das bombas e válvulas conforme as medições. O **tempo médio de resposta** entre a detecção de uma alteração e o ajuste do sistema foi de aproximadamente **5 segundos**, o que assegura um controle dinâmico e eficiente.

Em termos de **eficiência energética e operacional**, observou-se que o controle automático reduziu o consumo de energia e o tempo de operação, pois o sistema só aciona as bombas quando necessário. Além disso, a automação eliminou erros comuns em sistemas manuais, como o excesso de pressão, o desperdício de água e o atraso em ajustes operacionais.

Ao comparar o **sistema automatizado** com um **sistema manual de dessalinização**, notou-se uma **melhoria significativa na precisão e na qualidade da água obtida**. Enquanto o sistema manual depende da intervenção constante do operador, o sistema automatizado mantém o processo estável de forma autônoma, garantindo maior **segurança, repetibilidade e confiabilidade**.

Esses resultados demonstram que a automação aplicada ao processo de dessalinização é uma alternativa **viável, eficiente e de baixo custo**, capaz de ampliar o acesso à água potável e otimizar o uso de recursos hídricos, especialmente em regiões com escassez.

## 5. Conclusão

O desenvolvimento do sistema automatizado de dessalinização demonstrou que a **automação aplicada ao tratamento de água** é uma ferramenta eficaz para aumentar a eficiência, a segurança e a confiabilidade do processo. Por meio do uso integrado de **Arduino, CLP, sensores e atuadores**, foi possível monitorar e controlar as principais variáveis envolvidas como: pH, TDS e pressão, garantindo o funcionamento estável do sistema e a obtenção de água dentro dos padrões adequados para consumo.

A automação proporcionou **redução de falhas humanas, otimização do uso de energia e maior precisão nas medições**, tornando o processo mais sustentável e acessível. Além disso, o sistema mostrou-se uma alternativa viável para comunidades que enfrentam escassez hídrica, já que utiliza componentes de **baixo custo e fácil manutenção**, podendo ser adaptado a diferentes contextos e necessidades.

Como **melhorias futuras**, o projeto pode evoluir com a **integração à Internet das Coisas (IoT)**, permitindo o **monitoramento remoto em tempo real** por meio de um **site ou aplicativo**, possibilitando o acompanhamento de dados como qualidade da água, pressão e consumo energético à distância. Outra proposta relevante é a **alimentação do sistema por energia solar**, tornando o processo ainda mais sustentável e independente da rede elétrica convencional.

Essas atualizações ampliaram o potencial do sistema, transformando-o em uma **solução inteligente e autônoma de dessalinização**, capaz de contribuir de forma prática e econômica para o enfrentamento da crise hídrica e para a **preservação dos recursos naturais**.

## Referências

ANA – Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico. *Conjuntura dos Recursos Hídricos no Brasil 2023: Relatório Pleno*. Brasília: ANA, 2023. Disponível em: <https://www.gov.br/ana>. Acesso em: 20 out. 2025.

BRASIL. Ministério da Saúde. *Portaria GM/MS nº 888, de 4 de maio de 2021*. Estabelece os procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade. Diário Oficial da União, Brasília, 2021.

FRISCHKORN, H. *Recursos Hídricos: conceitos, experiências e casos práticos*. Fortaleza: UFC, 2015.

ONU – Organização das Nações Unidas. *Relatório Mundial das Nações Unidas sobre o Desenvolvimento dos Recursos Hídricos 2024: Água para Prosperidade e Paz*. Paris: UNESCO, 2024. Disponível em: <https://www.unwater.org>. Acesso em: 16 Jul. 2025.

SENAI. *Automação Industrial: fundamentos e aplicações*. 3. ed. Brasília: SENAI/DN, 2022.

SIEMENS. *Manual Técnico de CLPs Siemens S7-1200*. Siemens AG, 2022. Disponível em: <https://new.siemens.com>. Acesso em: 20 Mai. 2025.

TUNDISI, J. G.; MATSUMURA-TUNDISI, T. *Recursos Hídricos no Século XXI: gestão e planejamento para o futuro*. 3. ed. São Carlos: Instituto Internacional de Ecologia, 2020.

ARDUINO. *Arduino Documentation – Sensors and Boards Reference*. 2024. Disponível em: <https://docs.arduino.cc>. Acesso em: 23 Jun. 2025.

DFROBOT. *Gravity: Analog TDS Sensor / Meter for Arduino (SKU: SEN0244)*. Shenzhen, 2024. Disponível em: <https://www.dfrobot.com>. Acesso em: 31 Mar. 2025.

PHIDGETS. *Analog pH Sensor Interface 1130 – User Guide*. Canadá: Phidgets Inc., 2024. Disponível em: <https://www.phidgets.com>. Acesso em: 23 Fev. 2025.

WAGO. *Automation Technology and Industrial Control Systems – Technical Manual*. Minden: WAGO Kontakttechnik GmbH, 2023.