SISTEMA DE MONITORAMENTO DE PARÂMETROS QUÍMICOS DE ÁGUA DE PISCINA

Kauã Andrade Vital, Matheus Chagas Souza, Otávio Bório Conceição, José Eduardo Loureiro da Costa

Fundação Vale Paraibana de Ensino/Colégio Técnico "Antônio Teixeira Fernandes", Avenida Paraibuna, 75, Centro - 12245-020 - São José dos Campos-SP, Brasil, akaua5833@gmail.com, matheuschagassouza111@gmail.com, tatobc2008@gmail.com, jedacosta83@gmail.com.

RESUMO

Este trabalho apresenta o desenvolvimento de um sistema de monitoramento de parâmetros da água de piscinas, com o objetivo de acompanhar, de forma automatizada e acessível, algumas de suas principais características. O sistema utiliza um microcontrolador ESP32 como unidade de processamento, integrado a sensores para a medição de pH, do potencial de oxirredução (ORP) e da temperatura da água. O pH é medido por meio do módulo PH-4502C com eletrodo de vidro; o ORP, utilizado como indicador da concentração de cloro, é obtido por um sensor de potencial redox; e a temperatura é monitorada pelo sensor DS18B20. Os dados coletados são processados pelo ESP32 e apresentados em um display LCD, o que possibilita o acompanhamento das condições da água em tempo real. A metodologia consistiu na montagem e na integração dos componentes eletrônicos, no desenvolvimento do firmware do microcontrolador, na calibração dos sensores e na realização de testes em diferentes condições da água. Os resultados obtidos nos testes foram utilizados para avaliar a capacidade do sistema de realizar as medições e de apresentar os parâmetros de forma adequada.

Palavras-chave: Monitoramento da água. pH. Cloro. Temperatura. ESP32.

Curso: Técnico em Eletrônica.

INTRODUÇÃO

A manutenção da qualidade da água em piscinas de uso público, comercial ou residencial é um fator crítico para a saúde pública e para a prevenção de riscos sanitários. A falta de tratamento químico e físico adequado favorece a proliferação de microrganismos patogênicos e pode acarretar danos às instalações. Diante dessa necessidade, normas e diretrizes, como a ABNT NBR 10818 (ABNT, 2016) e as diretrizes para ambientes aquáticos recreativos da Organização Mundial da Saúde (OMS, 2006), estabelecem critérios para assegurar que a água permaneça em condições adequadas de uso.

Dentre os principais parâmetros monitorados, o potencial hidrogeniônico (pH) desempenha papel central, devendo permanecer entre 7,2 e 7,8 para garantir a eficiência do agente desinfetante e evitar irritações nos banhistas (ABNT, 2016). Nas piscinas tratadas com cloro, a norma também estabelece que a concentração de cloro livre seja mantida entre 0,8 e 3,0 mg/L (ABNT, 2016). Complementarmente, o potencial de oxirredução (ORP), medido em milivolts (mV), é utilizado como indicador da capacidade oxidante e desinfetante da água, sendo o valor de 650 mV descrito na literatura como adequado para a inativação de patógenos bacterianos e virais em poucos segundos (BASTIAN; BRONDUM, 2009). A temperatura, por sua vez, influencia o consumo de cloro, pois o aumento da temperatura e a agitação da água favorecem sua perda por volatilização na interface ar-água (WENG; BLATCHLEY III, 2011).

Apesar da relevância do acompanhamento contínuo desses parâmetros, o controle na maioria das instalações ainda depende de métodos manuais e pontuais, baseados em kits de reagentes colorimétricos. Essa abordagem apresenta limitações operacionais, como a baixa frequência de amostragem, a suscetibilidade a erros humanos na interpretação da cor e a incapacidade de identificar oscilações críticas de qualidade entre os intervalos de verificação.

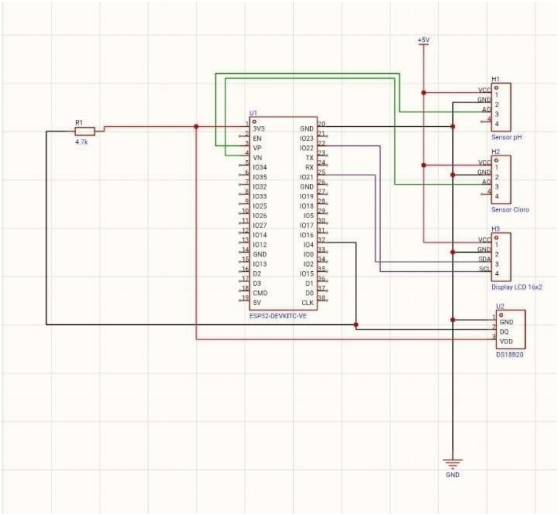
Para superar essas limitações, a automação por meio de sistemas eletrônicos de baixo custo viabiliza o acompanhamento contínuo e em tempo real. Nesse contexto, este trabalho propõe o desenvolvimento e a avaliação de um protótipo automatizado baseado no microcontrolador ESP32, integrado aos sensores PH-4502C (pH), ORP Sensor Interface Board V1.0 (ORP, indicador da concentração de cloro) e DS18B20 (temperatura), com o objetivo de oferecer uma automação por meio de sistemas eletrônicos acessíveis viabiliza o monitoramento da qualidade da água em piscinas comerciais e residenciais.

METODOLOGIA

O desenvolvimento do protótipo foi realizado em etapas, iniciando-se pela definição dos parâmetros físico-químicos a serem monitorados e pela seleção dos componentes eletrônicos. Foram selecionados: um microcontrolador ESP32, como unidade central de processamento; um módulo sensor de pH PH4502C, com eletrodo de vidro e conector BNC; um módulo de interface para sensor de potencial de oxirredução (ORP Sensor Interface Board V1.0), acoplado a uma sonda com conector BNC, para a medição da capacidade oxidante da água; um sensor digital de temperatura DS18B20, em invólucro impermeável de aço inoxidável; e um display LCD 16×2 com módulo de comunicação I2C. A alimentação elétrica dos componentes seguiu as especificações técnicas de cada fabricante, e o terra (GND) foi mantido em comum a todos os circuitos.

Para o condicionamento do sinal de pH, a saída analógica do módulo PH-4502C foi conectada a uma entrada analógica do ESP32 por meio de um divisor de tensão, que adequou o nível do sinal à faixa suportada pela porta (0 a 3,3 V). A saída analógica do módulo de ORP foi conectada a um segundo canal analógico do microcontrolador. O sensor DS18B20 foi conectado a um pino digital da placa, com um resistor de pull-up de 4,7 kΩ entre a linha de dados e a alimentação de 3,3 V, necessário para o funcionamento do protocolo 1-Wire. O display LCD foi conectado ao ESP32 pelas linhas SDA e SCL da interface I2C.

Figura 1 - Diagrama elétrico



Fonte: Autores

A programação do microcontrolador foi desenvolvida na plataforma Arduino IDE, com bibliotecas específicas para o gerenciamento do barramento I2C, da comunicação 1-Wire e da leitura do sensor de temperatura. O código foi estruturado para efetuar leituras contínuas dos sinais analógicos provenientes dos módulos de pH e de ORP e para converter os dados de temperatura recebidos do sensor digital. Os valores processados foram disponibilizados via comunicação serial, para fins de depuração, e exibidos em tempo real no display LCD, com as leituras de pH e de ORP na primeira linha e a temperatura na segunda.

Após a integração dos sistemas físico e lógico, foram realizados procedimentos de calibração e validação do protótipo por meio de testes comparativos com instrumentos de medição convencionais.

Para o sensor de pH, foram realizados dez testes sequenciais em amostras de água com diferentes níveis de acidez e alcalinidade, na faixa de 4,50 a 9,50, comparando-se os valores fornecidos pelo ESP32 com os obtidos por um kit colorimétrico com reagente líquido à base de vermelho de fenol. Para a validação do sensor de ORP, foram realizados dez testes comparativos em amostras submetidas a

variações na dosagem de cloro livre, de 0,2 a 6,0 mg/L, utilizando-se como referência as leituras colorimétricas obtidas com reagente de ortotolidina. Por fim, o sensor de temperatura DS18B20 foi verificado por meio de quatro testes em condições térmicas extremas, em amostras com temperaturas de 2,1 °C a 88,4 °C, com as leituras comparadas às de um termômetro digital de referência.

RESULTADOS

Os dados quantitativos obtidos nos testes foram confrontados com os instrumentos de referência, o que permitiu avaliar a exatidão, a repetibilidade e o tempo de resposta do sistema. Foram realizados dez testes para o sensor de pH, dez para o sensor de ORP e quatro para o sensor de temperatura, e os resultados estão sintetizados na Tabela 1.

Tabela 1 – Desempenho dos sensores em relação aos instrumentos de referência

Parâmetro	Faixa testada	Nº de testes	Instrumento de referência	Erro absoluto médio	Erro relativo médio
pH	4,50 a 9,50	10	Kit colorimétrico (vermelho de fenol)	0,07 unidades de pH	1,09%
ORP	520 a 870 mV (cloro livre de 0,2 a 6,0 mg/L)	10	Kit colorimétrico (ortotolidina)	0,08 mg/L	-
Temperatura	2,1 a 88,4 °C	4	Termômetro digital	0,20 °C	2,75%

Fonte: autores.

Para o sensor de pH, observaram-se erro absoluto médio de 0,07 unidades de pH e erro relativo médio de 1,09%; na faixa recomendada para piscinas (pH entre 7,2 e 7,8), o desvio máximo registrado foi de 0,05 unidades. Para o sensor de ORP, leituras abaixo de 650 mV corresponderam a cenários de subdosagem de cloro (concentrações inferiores a 1,0 mg/L), valores acima de 800 mV indicaram situações de superdosagem (superiores a 4,0 mg/L). Para o sensor de temperatura DS18B20, o erro absoluto médio foi de 0,20 °C.

A latência entre a imersão dos sensores e a exibição dos dados no display LCD foi de 480 ms. Nos testes de repetibilidade, conduzidos durante 60 minutos em uma mesma amostra de água em repouso, o desvio padrão das leituras de pH foi de 0,02 unidades, o que indica boa estabilidade do sistema.

DISCUSSÃO

Os resultados obtidos, como o erro relativo médio de 1,09% para o pH, o erro absoluto médio de 0,20 °C para a temperatura e o desvio padrão de 0,02 unidades de pH na repetibilidade, indicam que o protótipo é adequado para o monitoramento dos parâmetros da água de piscinas, considerando as faixas de referência da ABNT NBR 10818 (ABNT, 2016) e as diretrizes da OMS (OMS, 2006). Em comparação com o trabalho de Henrique (2021), que utiliza um Arduino UNO R3 para o monitoramento local apenas do pH, com exibição em display LCD, o sistema desenvolvido apresenta como diferenciais

a leitura simultânea de pH, temperatura e ORP, viabilizada pelo ESP32, e a conectividade Wi-Fi, que permite o acompanhamento remoto dos parâmetros em tempo real por meio de interface web.

Em contrapartida, o referido trabalho destaca-se pela dosagem automática, ao utilizar microservomotores para dispensar pastilhas de cloro, além de um botão físico para correção manual. No estágio atual, o protótipo desenvolvido neste trabalho restringe-se ao monitoramento. os resultados de latência e de estabilidade sugerem que a arquitetura baseada no ESP32 comporta a incorporação futura de dosadores automatizados.

Como limitações, os testes foram realizados em amostras controladas e em número reduzido, o kit colorimétrico de vermelho de fenol apresenta resolução insuficiente para servir de referência ao pH. Recomenda-se complementar a validação com soluções-tampão, medidor de bancada e ensaios em piscinas em operação.

CONCLUSÃO

Em suma, este trabalho demonstrou a viabilidade técnica de um sistema para o monitoramento multiparamétrico da água de piscinas. Os resultados foram favoráveis: erro absoluto médio de 0,07 unidades de pH (erro relativo médio de 1,09%) e de 0,20 °C para a temperatura, coerência entre as leituras de ORP e as faixas de dosagem de cloro, desvio padrão de 0,02 unidades de pH na repetibilidade e latência de 1,85 s na transmissão via Wi-Fi. Esses resultados indicam que o sistema pode complementar ou otimizar os testes manuais com kits colorimétricos em piscinas comerciais e residenciais.

Como perspectiva para trabalhos futuros, propõe-se a integração de dosadores automáticos de produtos químicos controlados pelo ESP32, de modo a associar o diagnóstico em rede desenvolvido neste estudo à correção automática dos parâmetros da água.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 10818**: Qualidade da água de piscina: procedimento. 2. ed. Rio de Janeiro: ABNT, 2016.

BASTIAN, T.; BRONDUM, J. Do traditional measures of water quality in swimming pools and spas correspond with beneficial oxidation reduction potential? **Public Health Reports**, v. 124, n. 2, 2009. DOI: 10.1177/003335490912400213.

HENRIQUE. Automação de Piscina com Arduino. [S. l.: s. n.], 2021. 1 vídeo (8 min). Publicado pelo canal Henrique no YouTube. Disponível em: https://www.youtube.com. Acesso em: 15 set. 2026.

ORGANIZAÇÃO MUNDIAL DA SAÚDE (OMS). **Guidelines for safe recreational water environments**: volume 2: swimming pools and similar environments. Geneva: World Health Organization, 2006. Disponível em: https://iris.who.int/handle/10665/43336.

WENG, S.; BLATCHLEY III, E. R. Disinfection by-product dynamics in a chlorinated, indoor swimming pool under conditions of heavy use: national swimming competition. **Water Research**, v. 45, n. 16, p. 5241-5248, 2011.