

# Sistema automatizado de monitoramento para fotobiorreatores de microalgas

Álamo Conrado Monteiro Junior<sup>1</sup>, Wellington Rangel dos Santos<sup>2</sup>, Lúcio Scartezini Lopes<sup>3</sup>, Samuel Nunes Limberger<sup>4</sup>, Luiz Fernando Roncaratti Junior<sup>5</sup>, Letícia Jungmann Cançado<sup>6</sup>

## Resumo

O presente artigo apresenta e discute a construção de um sistema de monitoramento e gerenciamento de dados automatizado para fotobiorreatores de microalgas destinados à produção de biomassa. A montagem do projeto de automação fez uso de hardware de baixo custo destinado à prototipagem rápida, adaptado para atender às condições do ambiente laboratorial no intuito de monitorar inicialmente o pH dentro do sistema fechado, porém criando bases sólidas para a integração de monitoramento de outros parâmetros de interesse à produção, como temperatura, iluminação e oxigenação. O presente trabalho explora aspectos dessa implementação, como os protocolos de comunicação, implementação de *datalogger*, instalação de calibração de sensores e desenvolvimento de código para microcontrolador Arduino. Os resultados obtidos neste trabalho permitem concluir que o emprego do sistema automatizado fornece previsões otimistas em relação ao uso desse tipo de tecnologia no ambiente de cultivo de microalgas, reduzindo a carga de trabalho repetitivo e manual do operador, aumentando a produtividade e contribuindo para a viabilização dos processos industriais que envolvem a produção da biomassa de microalgas.

**Termos para indexação:** fotobiorreatores, automação, *datalogger*, monitoramento, Arduino.

## Introdução

O cultivo de biomassa a partir de microalgas, além de atender a uma demanda industrial consistente por seus produtos, pode promover benefícios ambientais importantes, uma vez que os processos de produção de biomassa podem ser feitos com o consumo de CO<sub>2</sub> e a energia solar. A taxa de fotossíntese (RP) de organismos fototróficos, como diversas microalgas, atinge de 10 a 50 vezes a taxa das plantas terrestres (Suali; Sarbatly, 2012), e, com isso, além dos benefícios econômicos, a prática está alinhada com os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS), estabelecidos pela ONU em 2015.

No entanto, a produtividade atual de biomassa de microalgas ainda não é alta o suficiente para que seja competitiva no mercado, principalmente por causa do uso ineficiente da energia solar, aliado aos demais fatores de produção (Cho et al., 2019). Por isso, a importância de se investir nas alternativas de energia renovável (Carrasco et al., 2006), pois reduzem o uso de CO<sub>2</sub> no processo.

As tecnologias que envolvem a automação têm grande relevância no cultivo de microalgas, por viabilizarem a coleta automatizada de informações e gerenciarem dispositivos para otimizar o processo (Naghdi et al., 2014), permitindo um cultivo bem-sucedido de microalgas, que requerem controle e monitoramento precisos das condições ambientais, o que é assegurado pela automação. As seguintes vantagens podem ser observadas:

<sup>1</sup> Graduando em Engenharia Mecatrônica, Universidade de Brasília, alamoconrado.am@gmail.com

<sup>2</sup> Cientista da computação, mestre em Educação Física, Embrapa Agroenergia, wellington.santos@embrapa.br

<sup>3</sup> Cientista da computação, mestrando em Agroenergia, Embrapa Agroenergia, lucio.lopes@embrapa.br

<sup>4</sup> Químico, mestrando em Química Inorgânica, Universidade de Brasília, samuel.n.limberger@gmail.com

<sup>5</sup> Físico, doutor em Química, professor da Universidade de Brasília, roncaratti@unb.br

<sup>6</sup> Bióloga, doutora em Genética e Biologia Molecular, Embrapa Agroenergia, leticia.jungmann@embrapa.br

**Monitoramento em tempo real.** Dispositivos integrados aos biorreatores e sistemas de cultivo monitoram parâmetros essenciais. A coleta de dados em tempo real permite ajustes imediatos para garantir condições ideais de crescimento.

**Controle automatizado.** Com sensores e atuadores, os sistemas de cultivo podem ser automatizados para, por exemplo, ajustar a dosagem de nutrientes ou regular a exposição à luz com base nos requisitos de crescimento da microalga e informações coletadas no sistema.

**Gerenciamento remoto.** Tecnologias IoT (*Internet of Things*), ou internet das coisas, que representam a integração de dispositivos de uso diário em uma rede de internet, e permitem o monitoramento e gerenciamento remoto de instalações de cultivo de microalgas. Esse recurso é particularmente útil em fazendas de grande escala ou geograficamente dispersas, permitindo que os operadores acessem e controlem o sistema de qualquer lugar.

**Eficiência de recursos.** Ao controlar com precisão as condições ambientais, as tecnologias de automação ajudam a minimizar o desperdício de recursos, como água e nutrientes. Isso aumenta a sustentabilidade geral dos processos.

**Controle de qualidade.** Sistemas equipados com automação garantem condições consistentes e padronizadas, levando a um maior rendimento de microalgas e qualidade do produto. Isso é particularmente crítico quando as microalgas são cultivadas para produtos de alto valor, como nutracêuticos ou compostos bioativos.

O objetivo deste trabalho, portanto, foi desenvolver um sistema automatizado de coleta de dados que agregue esses benefícios e possa ser integrado a fotobiorreatores utilizados para cultivo e produção de biomassa de microalgas, visando à obtenção de dados robustos e de forma sistemática, bem como maiores autonomia aos sistemas de cultivo e controle dos processos de produção de biomassa.

## Materiais e métodos

O trabalho foi realizado a partir da integração dos seguintes componentes:

- a) Arduino Mega 2560 R3 Ch340.
- b) Eletrodo hidropônico, tipo sonda, da marca Atlas Scientific.
- c) Módulo de controle da marca Atlas Scientific.
- d) Módulo *Real Time Clock*–RTC DS1307.
- e) Módulo leitor micro SD.
- f) *Jumpers*.

Foi realizada, a princípio, a implementação da sonda de pH, para a visualização dos dados em monitor serial, que é uma ferramenta presente na interface de desenvolvimento do Arduino e que permite acompanhar qualquer impressão ou transferência de dados, de modo a possibilitar a calibração do sensor e atestar a funcionalidade dele sem a necessidade de armazenamento de dados.

Portanto, foram utilizados os módulos de controle dispostos no esquemático eletrônico presente na Figura 1. A sonda de pH é do tipo prata/cloreto de prata de junção dupla. A faixa de medição está entre 0 e 14 com uma resolução de 0,001. A sonda pode suportar a pressão máxima de 100 psi e funciona na faixa de temperatura entre -5 °C e 99 °C.

A Figura 1 apresenta a ligação do módulo de controle utilizando o protocolo de comunicação i2c (*inter-integrated circuit*), que é um protocolo que descreve o barramento de comunicação serial utilizando apenas dois fios. Nessa mesma figura, pode-se ver o módulo de controle que faz a intermediação com o Arduino, sendo conectado através dos pinos de alimentação, 5v e gnd (*ground*), e os pinos tx (transmissor), e rx (receptor) nas portas do Arduino 3 e 2, respectivamente. O modo de comunicação i2c foi escolhido pelo artifício da comunicação síncrona, o que significa que os dispositivos conectados ao barramento compartilham um relógio comum (linha *Serial Clock Line*–SCL), permitindo uma sincronização de dados precisa.

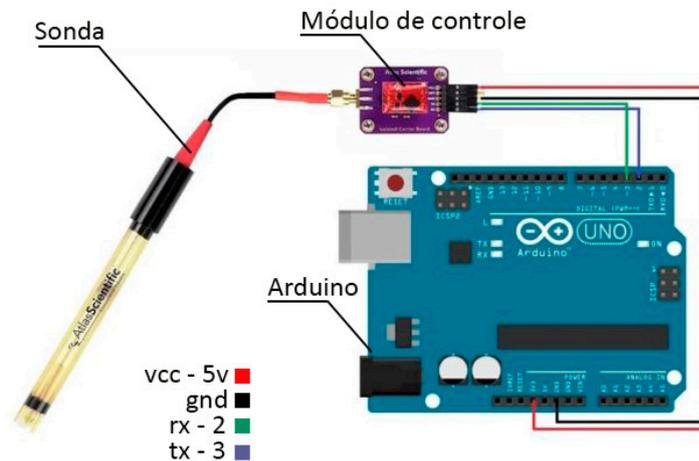


Figura 1. Esquemático eletrônico.

A calibração do sensor é realizada mediante o uso de soluções padrão de pH 4, 7 e 10. O prompt de comando é um programa que emula o campo de entrada em uma tela de interface do usuário baseada em texto, tendo sido utilizado para chamar as funções que referenciam os valores exatos de pH, os quais são armazenados como referência pelo microcontrolador. A sonda foi mantida por 10 minutos em cada solução antes da chamada das funções, para a devida estabilização dos valores lidos.

O módulo leitor SD foi então implementado para permitir o microcontrolador Arduino ler e gravar dados em cartões de memória SD. Esse método é comumente utilizado como uma solução de armazenamento externo para projetos que exigem a coleta e o registro de dados, como um *datalogger*, possibilitando que o módulo funcione sem conexão a microcomputador. Portanto, para facilitar a comunicação entre o Arduino e o módulo leitor SD, foram utilizadas bibliotecas específicas que permitem essa comunicação do leitor com o Arduino, e a montagem física se dá na Figura 2.

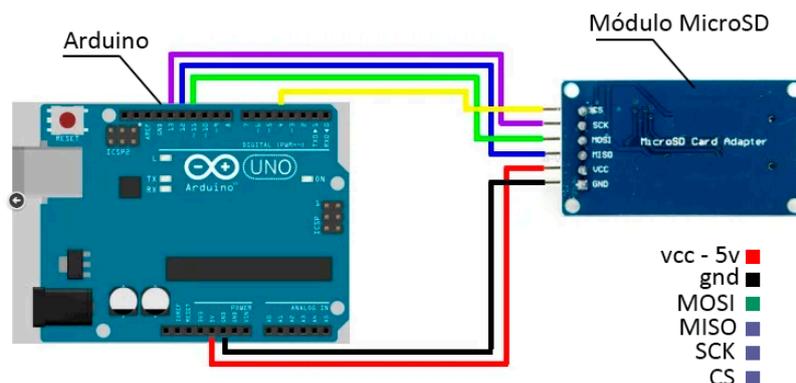


Figura 2. Esquemático com leitor SD para *datalogger*.

A representação esquemática mostrada na Figura 2 ilustra a conexão do módulo micro SD, com suas ligações para alimentação, e as respectivas ligações MOSI, MISO, SCK e CS, que são portas de arquitetura mestre-escravo, em que um dos dispositivos (mestre) comanda a alocação de tarefas para os demais dispositivos (escravos), dessa forma, tornando possível a comunicação.

O módulo de relógio indica o tempo real (RTC) para a devida atribuição dos dados cronológicos. Esse módulo fornece ao microcontrolador a capacidade de manter e acompanhar data e hora em tempo real, sendo utilizado para manter o registro preciso de data e hora, mesmo quando o sistema é desligado ou reiniciado, porque possui bateria própria. A Figura 3 mostra a implementação do módulo RCT.

Na Figura 3 é possível ver a ligação do módulo RTC por protocolo i2c com o Arduino. A linha SCL (*Serial Clock Line*) é usada para sincronizar a informação entre os dispositivos, e a linha SDA (*Serial Data Line*) é usada para a transmissão dos dados. As linhas SCL e SDA se encontram nas portas analógicas 4 e 5 do Arduino. Dessa forma, foi possível registrar os dados com carimbo de tempo, associando a data e a hora a cada medição feita, o que é de fundamental importância para qualquer análise referente ao cultivo das microalgas.

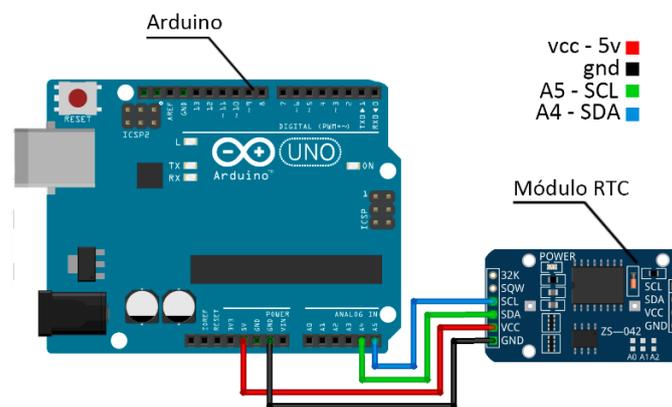


Figura 3. Esquemático RTC.

## Resultados e discussão

Com o devido sistema implementado, foi possível realizar a tomada de dados de um experimento que mostrou a variação de acidez na água para atestar o funcionamento do sistema. Portanto, primeiramente foi montado o sistema em água destilada, no qual foi borbulhado  $\text{CO}_2$  a uma vazão de  $200 \text{ cm}^3/\text{min}$ . O sistema foi ajustado para realizar medições a cada segundo, rodando dessa forma por 20 minutos. A Figura 4 mostra o valor de pH analisado pelo sistema em função do tempo.

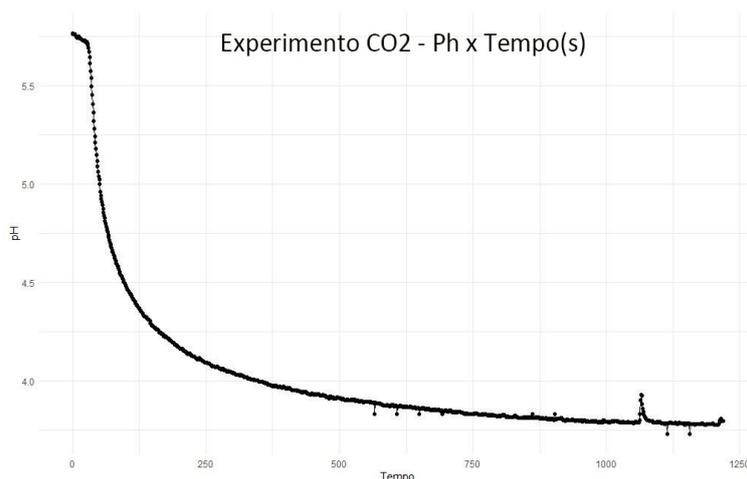


Figura 4. pH x Tempo.

As leituras foram realizadas com sucesso pelo módulo de pH conectado ao Arduino, mostrando a já esperada acidificação da água em forma de curva logarítmica causada pelo CO<sub>2</sub>.

Os dados foram tomados a cada segundo para um melhor ajuste de curva. No entanto, é importante ressaltar que o intervalo de leitura pode ser facilmente ajustado para atender a diferentes demandas e necessidades específicas de outras aplicações.

## Conclusão

O sistema desenvolvido demonstrou ser eficiente e confiável para o monitoramento de pH ao longo do tempo. A implementação do código permitiu a leitura automática do pH no intervalo de tempo especificado, e as leituras apresentam valores condizentes para o experimento proposto. É possível notar, a partir da análise gráfica da curva gerada, alguns pontos de desvio que se diferem do comportamento típico esperado, porém não são preocupantes, e já eram de se esperar, em razão da característica de protótipo eletrônico do sistema. Vale a pena salientar que, em um teste real em funcionamento contínuo por vários dias, esses valores seriam desprezíveis em razão da magnitude dos dados.

Além disso, o sistema foi capaz de armazenar os dados de pH em um cartão micro SD. As leituras foram registradas em um arquivo de *log* com a devida marcação temporal, possibilitando a posterior análise dos dados coletados, e criando uma base sólida para a implementação dessa tecnologia e de parâmetros que auxiliem o trabalho de pesquisa. A próxima etapa será a implantação desse sistema nos processos de cultivo de diferentes cepas de microalgas que são utilizadas no Laboratório de Genética e Biotecnologia Microbiana da Embrapa Agroenergia, para o desenvolvimento de biocombustíveis e bioprodutos. Serão adicionadas também sondas de medição de oxigênio dissolvido, nesse mesmo sistema e seguindo o mesmo padrão de implementação, de modo que sejam tomados dados tempo real dos cultivos dos microrganismos e se possa inferir a eficiência fotossintética das cepas de microalgas quando submetidas a diferentes condições de crescimento.

## Referências bibliográficas

CARRASCO, J. M.; FRANQUELO, L. G.; BIALASIEWICZ, J. T.; GALVAN, E.; PROTILO GUIASADO, R. C.; PRATS, M. A. M.; LEON, J. I.; MORENO-ALFONSO, N. Power-electronic systems for the grid integration of renewable energy sources: a survey. *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, v. 53, n. 4, p. 1002-1016, 2006.

CHO, C.; NAM, K. S.; SEO Y. H.; KIM, K.; PARK, Y.-K.; HAN, J.-I.; LEE, J.-Y. Study of optical configurations for multiple enhancement of microalgal biomass production. **Scientific Reports**, v. 9, n. 1, 2019. Article 1723. Disponível em: <https://www.nature.com/articles/s41598-018-38118-w>. Acesso em: 2 Ago. 2023.

DERNER, R. B.; OHSE, S.; VILELLA, M.; CARVALHO, S. M. de; FETT, R. Microalgas, produtos e aplicações. **Ciência Rural**, v. 36, n. 6, p. 1959-1967, 2006. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/cr/a/PYnJkQqkcTfNqmrCTthMdS/>. Acesso em: 4 Ago. 2023.

NAGHDI, F. G.; DURAIRATNAM, R.; SKY, R. T. Comparative effects of biomass pre-treatments for direct and indirect transesterification to enhance microalgal lipid recovery. 2. Vol. China: **Frontiers in Energy Research**, 2014.

SUALI, E.; SARBATLY, R. Conversion of microalgae to biofuel. **Renewable & Sustainable Energy Reviews**, v. 16, n. 6, p. 4316-4342, 2012. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2012.03.047>. Acesso em: 4 Ago. 2023.